



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



Il Presidente

Disposizione n. 465/2022/PRES

**Autorizzazione procedura di selezione di soggetti pubblici
aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca,
dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative,
con i quali collaborare nell'ambito del PNRR POR H2
tramite Avviso Pubblico di Manifestazione di Interesse**

IL PRESIDENTE

- **Visto** l'art. 37 della legge 23 luglio 2009, n. 99, come novellato dalla legge 28 dicembre 2015, n. 221, che istituisce l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), nonché l'art. 2, comma 6, del D. L. 1° marzo 2021, n. 22, convertito, con modificazioni, in Legge 22 aprile 2021, n. 55, che pone l'ENEA sotto la vigilanza del Ministero della Transizione Ecologica;
- **Visto** il Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare del 21 settembre 2020, registrato alla Corte dei Conti il 12 novembre 2020, con il quale è stato nominato il Consiglio di Amministrazione dell'Agenzia ENEA composto dal prof. Federico Testa, in qualità di Presidente, dal dr. Tullio Berlinghi e dal dr. Giovanni Giuliano, in qualità di Consiglieri;
- **Visto** il Decreto del Ministro della Transizione Ecologica del 27 luglio 2021, notificato all'ENEA il 29 luglio 2021, con cui l'ingegnere Gilberto Dialuce è stato nominato presidente dell'Agenzia ENEA, a decorrere dalla data del citato Decreto, in sostituzione del dimissionario presidente prof. Federico Testa;
- **Visto** il Decreto del Ministro della Transizione Ecologica n. 10 del 13 gennaio 2022, registrato presso gli organi di controllo il 18.01.2022 con comunicazione inviata all'ENEA il 2.2.2022, con cui vengono nominati due componenti del Consiglio di Amministrazione dell'Agenzia ENEA, ad integrazione della composizione attuale dello stesso, nelle persone del professor Raffaele Bifulco e della professoressa Caterina Petrillo;
- **Visto** il Decreto del Ministro della Transizione Ecologica del 7 settembre 2022 con cui l'ingegnere Gilberto Dialuce è stato nominato Presidente dell'Agenzia ENEA a decorrere dalla data del citato Decreto e fino alla scadenza del Consiglio di Amministrazione in carica;
- **Visto** il Decreto Legislativo 25 novembre 2016, n. 218 concernente la "Semplificazione delle attività degli enti pubblici di ricerca ai sensi dell'articolo 13 della legge 7 agosto 2015, n. 124";
- **Visto** lo Statuto dell'ENEA, approvato con Delibera n. 5/2017/CA e successive modifiche intervenute con Delibera n. 30/2019/CA, con Delibera n. 60/2021/CA nonché, da ultimo, con Delibera n. 44/2022/CA, pubblicato sui siti istituzionali del Ministero della Transizione Ecologica e dell'Agenzia;
- **Premesso** che l'ENEA è un Ente di diritto pubblico finalizzato alla ricerca e all'innovazione tecnologica, nonché alla prestazione di servizi avanzati alle imprese, alla pubblica

amministrazione e ai cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile;

- **Premesso che:**

Con Decreto 545 del 23/12/2021 il Ministero per la Transizione Ecologica (MiTE) ha autorizzato l'attuazione di attività di ricerca nell'ambito del PNRR - Missione M2-C2 - Investimento 3.5: "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno". Attraverso la stipula di un Accordo di programma con ENEA, il MiTE ha individuato nell'ENEA il realizzatore e nel CNR ed RSE i co-realizzatori delle attività di ricerca, dettagliate nel "Piano Operativo di Ricerca" (POR), per un contributo massimo pari a 110 milioni di euro.

L'Accordo di Programma è stato firmato dal MiTE in data 29/04/2022 e da ENEA in data 15/05/2022.

L'obiettivo generale del Progetto descritto nel Piano Operativo di Ricerca (POR) è sviluppare attività di ricerca in accordo alla strategia nazionale sull'idrogeno delineata nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) ed in linea con la posizione, diffusa a livello europeo, che identifica nell'idrogeno verde una delle soluzioni prioritarie nel medio termine per la decarbonizzazione del sistema energetico.

Il POR si articola secondo le seguenti macroaree tematiche, definiti obiettivi:

- Obiettivo 1: Produzione di idrogeno verde e pulito
- Obiettivo 2: Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels
- Obiettivo 3: Celle a Combustibile
- Obiettivo 4: Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno.

A loro volta, gli obiettivi sono declinati in Work Package (WP) e Linee di Attività (LA). Alcune LA, per lo svolgimento delle proprie attività ed il raggiungimento dei risultati previsti, prevedono la collaborazione con Università od altri Enti di Ricerca, da selezionarsi a valle di una Manifestazione di Interesse pubblicata da ENEA, su diversi temi e ambiti specifici.

- **Visti**

- La Disposizione n. 170/2022/PRES del 10/5/2022 avente per oggetto "Stipula Accordo di Programma fra MiTE ed ENEA per la regolamentazione dei rapporti in relazione allo svolgimento di attività di ricerca nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 2 "rivoluzione verde e transizione ecologica" – Componente 2 "energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile" – Investimento 3.5 "ricerca e sviluppo sull'idrogeno", finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU – Modificato in funzione della normativa PNRR (**Allegato 1**);
- L'Accordo di Programma per la regolamentazione dei rapporti in relazione allo svolgimento di attività di ricerca nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 2 "rivoluzione verde e transizione ecologica" – Componente 2 "energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile" – Investimento 3.5 "ricerca e sviluppo sull'idrogeno", finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU, sottoscritto dal MiTE e dall'ENEA (**Allegato 2**);
- Il Piano Operativo di Ricerca (POR), predisposto da ENEA Soggetto Realizzatore CNR e RSE Soggetti Co-Realizzatori, del 26 giugno 2022 (**Allegato 3**);

- La Relazione predisposta dal Dipartimento TERIN (**Allegato 4**);
 - La tabella riepilogativa delle collaborazioni da attivare con l'indicazione delle Linee di Attività coinvolte, dei Responsabili dei singoli accordi proposti e dei relativi importi (**Allegato 5**);
 - Le Schede di Attività relative agli Accordi di collaborazione da affidare (**Allegato 6**);
 - Lo schema di Avviso pubblico di Manifestazione di Interesse (**Allegato 7**);
 - Lo schema del Modulo per la Manifestazione di Interesse (**Allegato 8**);
 - Lo schema di Accordo di collaborazione da sottoscrivere tra l'ENEA e il soggetto pubblico individuato (**Allegato 9**);
 - Il documento riportante le Modalità di partecipazione alla procedura (**Allegato 10**);
 - Il documento riportante le Modalità di assegnazione degli Accordi (**Allegato 11**);
- **Considerato che**
- i temi di ricerca oggetto dei presenti Accordi di collaborazione hanno carattere di ricerca fondamentale e/o sperimentale, a totale beneficio della collettività. Pertanto, i risultati degli Accordi di collaborazioni non possono formare oggetto di alcun diritto di uso esclusivo o prioritario, né di alcun vincolo di segreto o riservatezza, così come richiesto dall'art. 158 del D.Lgs 19 aprile 2016 n. 50, "Codice degli Appalti" (CA). Pertanto al riguardo non si applica il citato CA;
 - le attività oggetto della presente disposizione sono coerenti con il mandato attribuito al Presidente con il citato decreto di nomina, in quanto connesse con attività che rientrano negli obiettivi programmatici dell'ENEA;
- **Tenuto** conto del vigente sistema di deleghe;
- **Considerato** altresì che premesse ed allegati costituiscono parte integrante e sostanziale della presente disposizione

D I S P O N E

- a) di autorizzare l'espletamento di una procedura di selezione di soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca, dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative, con i quali collaborare nell'ambito del PNRR Idrogeno;
- b) di autorizzare la pubblicazione dell'Avviso pubblico di Manifestazione di Interesse sulla piattaforma elettronica di negoziazione ENEA UBUY;
- c) di nominare quali Responsabili dei singoli Accordi, i nominativi proposti come da tabella allegata (cfr. Allegato 5) avendone verificato il possesso delle competenze richieste con riferimento ai procedimenti in oggetto;

- d) di procedere all'individuazione dei soggetti prescelti per ciascun accordo, anche in presenza di una sola proposta formalmente valida, secondo i criteri previsti nell'Allegato 11, purché il punteggio tecnico assegnato alla proposta ritenuta migliore raggiunga la soglia minima di 30/60;
- e) di dare mandato al Direttore del Dipartimento TERIN di effettuare ogni atto conseguente alla presente disposizione ivi compresa la sottoscrizione dell'Avviso pubblico di manifestazione interesse, la nomina della Commissione unica di valutazione delle manifestazioni di interesse che perverranno, l'affidamento e la sottoscrizione dei relativi Accordi con i soggetti individuati.

L'importo complessivo previsto per l'espletamento delle procedure di cui sopra di € 4.213.000,00, troverà copertura, per la corrispondente quota parte, nell'ambito degli stanziamenti dei competenti bilanci di previsione, sulla voce contabile U103021100901 (ex. Capitolo 324 “ Contratti di studio-ricerca e acquisizione risultati e conoscenze”), CUP I83C22001170006 delle commesse relative al PNRR POR H2.

Allegato 1 alla Disposizione n. 465/2022/PRES



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



Il Presidente

Disposizione n. 170/2022/PRES

**STIPULA ACCORDO DI PROGRAMMA FRA MiTE ed ENEA
PER LA REGOLAMENTAZIONE DEI RAPPORTI IN RELAZIONE ALLO
SVOLGIMENTO DI ATTIVITA' DI RICERCA NELL'AMBITO DEL PIANO
NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 2
“RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA” – COMPONENTE 2
“ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITA' SOSTENIBILE” –
INVESTIMENTO 3.5 “RICERCA E SVILUPPO SULL'IDROGENO”, FINANZIATO
DALL'UNIONE EUROPEA – *NEXT GENERATION EU* – MODIFICATO IN
FUNZIONE DELLA NORMATIVA PNRR**

IL PRESIDENTE

Visti:

- l'art. 37 della legge 23 luglio 2009, n. 99, come novellato dalla legge 28 dicembre 2015, n. 221, che istituisce l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), nonché l'art. 2, comma 6, del D. L. 1° marzo 2021, n. 22, convertito, con modificazioni, in Legge 22 aprile 2021, n. 55, che pone l'ENEA sotto la vigilanza del Ministero della Transizione Ecologica;
- il Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare del 21 settembre 2020, registrato alla Corte dei Conti il 12 novembre 2020, con il quale è stato nominato il Consiglio di Amministrazione dell'Agenzia ENEA composto dal Prof. Federico Testa, in qualità di Presidente, dal Dr. Tullio Berlenghi e dal Dr. Giovanni Giuliano, in qualità di Consiglieri;
- il Decreto del Ministro della Transizione Ecologica del 27 luglio 2021, notificato all'ENEA il 29 luglio 2021, con cui l'Ing. Gilberto Dialuce è stato nominato Presidente dell'Agenzia ENEA, a decorrere dalla data del citato Decreto, in sostituzione del dimissionario Presidente Prof. Federico Testa;
- il Decreto del Ministro della Transizione Ecologica n. 10 del 13 gennaio 2022, registrato presso gli organi di controllo il 18.01.2022 con comunicazione inviata all'ENEA il 2.02.2022, con cui vengono nominati due componenti del Consiglio di Amministrazione dell'Agenzia ENEA, ad integrazione della composizione attuale dello stesso, nelle persone del Prof. Raffaele Bifulco e della Prof.ssa Caterina Petrillo;
- il Decreto Legislativo 25 novembre 2016, n. 218 recante la “Semplificazione delle attività degli enti pubblici di ricerca ai sensi dell'articolo 13 della legge 7 agosto 2015, n. 124”
- lo Statuto dell'ENEA approvato con Delibera n. 5/2017/CA e successive modifiche intervenute con Delibera n. 30/2019/CA, pubblicato sui siti istituzionali del Ministero dello Sviluppo Economico e dell'Agenzia, nonché la successiva modifica dello stesso

intervenuta con Delibera n. 60/2021/CA, pubblicato sui siti istituzionali del Ministero della Transizione Ecologica e dell'Agenzia;

- la Circolare n. 4/2017/ AMC del 2 agosto 2017, con la quale è stato pubblicizzato il Regolamento Amministrazione, finanza e contabilità dell'ENEA, approvato dal Consiglio d'Amministrazione con Delibera n. 61/2017/CA del 14 luglio 2017, in attuazione dell'articolo 37 della legge 23 luglio 2009, n. 99, come modificato dall'articolo 4 della legge 28 dicembre 2015, n. 221;

premesse che:

- l'ENEA è un Ente di diritto pubblico finalizzato alla ricerca e all'innovazione tecnologica, nonché alla prestazione di servizi avanzati alle imprese, alla pubblica amministrazione e ai cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile;
- l'ENEA, per lo svolgimento delle predette attività e funzioni, può stipulare convenzioni, accordi e contratti con soggetti pubblici e privati, per promuovere partenariati e svolgere attività di studio, ricerca, dimostrazione e trasferimento tecnologico;
- l'ENEA, tramite il Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN), opera nel settore energetico con particolare riferimento alle fonti rinnovabili (solare a concentrazione, bioenergia e fotovoltaico), alle tecnologie, dispositivi e sistemi per le Smart City, Smart Grid, reti energetiche integrate e per l'efficientamento degli usi finali dell'energia (accumulo di energia elettrica, termia e chimica, power to gas, ICT, IoT, blockchain, etc.), all'idrogeno ed alla mobilità sostenibile, nei cui settori è punto di riferimento nazionale ed europeo nella ricerca applicata; dispone di strumentazione di eccellenza e di una consolidata esperienza e capacità di innovazione tecnologica;

premesse che:

- l'ENEA, tramite la Delibera n. 2/2022/PRES del 22/03/2022, ha autorizzato la stipula dell'Accordo di Programma tra MiTE ed ENEA avente per oggetto "LA REGOLAMENTAZIONE DEI RAPPORTI IN RELAZIONE ALLO SVOLGIMENTO DI ATTIVITA' DI RICERCA NELL'AMBITO DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 2 "RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA" – COMPONENTE 2 "ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITA' SOSTENIBILE" – INVESTIMENTO 3.5 "RICERCA E SVILUPPO SULL'IDROGENO", FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU;
- il Presidente, a seguito della citata Delibera, nella stessa data ha controfirmato il citato Accordo di Programma;

- il Consiglio di Amministrazione, con Delibera n. 18/2022/CA del 30/03/2022, ha ratificato la Delibera n. 2/2022/PRES;

considerato che:

- al testo dell'Accordo di Programma già formalizzato è stato necessario apportare modifiche di carattere prettamente formale al fine di garantirne la piena aderenza alla normativa di attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza;
- le modifiche apportate riguardano essenzialmente una migliore definizione del "Soggetto attuatore", qualificato anche come "Amministrazione titolare di intervento del PNRR" ai sensi dell'art. 1 del decreto-legge n. 80 del 2021, convertito con modificazioni in legge n. 113 del 2021 e della circolare MEF-RGS 18 gennaio 2022 n. 4" e l'introduzione/definizione del "Soggetto realizzatore" ovvero "Soggetto e/o operatore economico a vario titolo coinvolto nella realizzazione del Progetto e individuato dal Soggetto attuatore. Per il presente Accordo, ENEA e gli altri Co-realizzatori coinvolti, CNR e RSE, nella realizzazione dell'intervento";

considerato che l'AdP entra in vigore dalla data di stipula e le attività devono concludersi improrogabilmente entro il 31 dicembre 2025;

considerato che la corretta attuazione delle disposizioni contenute nell'AdP sarà assicurata da un Referente nominato formalmente da ciascuna Parte e comunicato all'altra;

visti:

- la Delibera n. 2/2022/PRES del 22/03/2022 con la quale è stato deliberato di autorizzare la stipula dell'Accordo di Programma tra MiTE ed ENEA ed indicato quale Responsabile ENEA per l'attuazione dell'Accordo l'Ing. Giorgio Graditi, Direttore TERIN (Allegato 1);
- l'Accordo di Programma controfirmato digitalmente dal Presidente dell'ENEA in data 22/03/2022 (Allegato 2);
- la Delibera n. 18/2022/CA del 30/03/2022 con la quale il Consiglio di Amministrazione ha ratificato la Delibera n. 2/2022/PRES del 22/03/22 (Allegato 3);
- la comunicazione di inoltro da parte del MiTE-DGIG del 3/05/2022 e relativo Accordo di Programma modificato in funzione della normativa PNRR e già firmato dal Direttore Generale del MiTE-DGIG di cui al Prot. n. ENEA/2022/31356/PROTGEN del 03/05/2022 (Allegati 4 e 5);
- la Nota Esplicativa a firma del Direttore TERIN, Ing. Giorgio Graditi (Allegato 6);

considerato che le attività rientrano nei fini istituzionali dell'Ente e pertanto integrano l'interesse pubblico alla relativa azione;

considerato che gli allegati costituiscono parte integrante e sostanziale della presente disposizione;

DISPONE

- di autorizzare le modifiche di carattere prettamente formale al fine di garantire la piena aderenza alla normativa PNRR dell'Accordo di Programma tra MiTE ed ENEA avente per oggetto **"LA REGOLAMENTAZIONE DEI RAPPORTI IN RELAZIONE ALLO SVOLGIMENTO DI ATTIVITA' DI RICERCA NELL'AMBITO DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 2 "RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA" – COMPONENTE 2 "ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITA' SOSTENIBILE" – INVESTIMENTO 3.5 "RICERCA E SVILUPPO SULL'IDROGENO", FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU**, già sottoscritto ed autorizzato dal Consiglio di Amministrazione dell'ENEA, e per effetto delle quali autorizzare la sottoscrizione della nuova versione dell'Accordo di Programma (cfr. Allegato 5);
- di confermare quale Responsabile ENEA per la realizzazione dell'Accordo di Programma l'Ing. Giorgio Graditi, Direttore del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN).

Allegato 2 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

ACCORDO DI PROGRAMMA

**PER LA REGOLAMENTAZIONE DEI RAPPORTI IN RELAZIONE ALLO SVOLGIMENTO DI
ATTIVITA' DI RICERCA NELL'AMBITO DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E
RESILIENZA (PNRR) - MISSIONE 2 "RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA"
– COMPONENTE 2 "ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITÀ
SOSTENIBILE" – INVESTIMENTO 3.5 "RICERCA E SVILUPPO SULL'IDROGENO",
FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – *NEXT GENERATION EU***

TRA

il Ministero della transizione ecologica (di seguito MiTE), con sede in via Cristoforo Colombo, n. 44 - 00147 Roma e Codice Fiscale 97047140583 agli effetti del presente Accordo di Programma rappresentato dall' ing. Mauro Mallone, Direttore generale della Direzione generale Incentivi Energia, da una parte

PEC: rsh2@pec.mite.gov.it

E

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (di seguito ENEA), con sede e domicilio fiscale in Lungotevere G.A. Thaon de Revel, 76 - 00123 Roma - Codice Fiscale 01320740580 e Partita I.V.A. 00985801000, agli effetti del presente Accordo di Programma rappresentata dall'ing. Gilberto Dialuce, Presidente, dall'altra parte

PEC: enea@cert.enea.it

VISTO

- il Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021, istituisce il dispositivo per la ripresa e la resilienza;
- il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) è stato valutato positivamente con decisione del Consiglio ECOFIN del 13 luglio 2021, notificata all'Italia dal Segretariato generale del Consiglio con nota LT161/21 del 14 luglio 2021;

- il Regolamento (UE) 2018/1046 del 18 luglio 2018 stabilisce le regole finanziarie applicabili al bilancio generale dell'Unione, che modifica i Regolamenti (UE) n. 1296/2013, n. 1301/2013, n. 1303/2013, n. 1304/2013, n. 1309/2013, n. 1316/2013, n. 223/2014, n. 283/2014 e la decisione n. 541/2014/UE e abroga il regolamento (UE, Euratom) n. 966/2012;
- in particolare, nel PNRR l'Investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno", prevede nell'ambito della Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica", Componente 2 "Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile" attività di ricerca e sviluppo volte a migliorare le conoscenze circa l'uso dell'idrogeno in tutte le fasi, incluse quelle di produzione, stoccaggio e distribuzione, in particolare relative alle seguenti tematiche:
 - a) produzione di idrogeno verde e pulito;
 - b) tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels;
 - c) celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità;
 - d) sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno.
- la misura richiamata deve sostenere la produzione di idrogeno elettrolitico a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 oppure dall'energia elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 tCO_{2eq}/tH₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 gCO_{2eq}/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001;
- l'articolo 17 del Regolamento UE 2020/852 definisce gli obiettivi ambientali, tra cui il principio di non arrecare un danno significativo (DNSH, "Do no significant harm"), e la Comunicazione della Commissione UE 2021/C 58/01 recante "Orientamenti tecnici sull'applicazione del principio «non arrecare un danno significativo» a norma del regolamento sul dispositivo per la ripresa e la resilienza";
- il decreto-legge 31 maggio 2021 n. 77 recante governance del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure, convertito con modificazioni con la legge di conversione 29 luglio 2021, n. 108;
- il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 luglio 2021, recante l'individuazione delle amministrazioni centrali titolari di interventi previsti dal PNRR ai sensi dell'articolo 8, comma 1, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77;
- il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 29 luglio 2021, n. 128 che disciplina l'organizzazione del Ministero della transizione ecologica;
- il decreto del Ministro della transizione ecologica del 10 novembre 2021, n. 458 recante "Individuazione e definizione dei compiti degli uffici di livello dirigenziale non generale del Ministero della transizione ecologica" – registrato dalla Corte dei conti in data 28 novembre 2021 al n. 3000;

- in particolare l'articolo 16 del citato Decreto del 10 novembre 2021 n. 458 che stabilisce che la Direzione Generale Incentivi Energia (d'ora in avanti anche MiTE DGIE o semplicemente DGIE) esercita le competenze di cui all'articolo 15 del citato DPCM 29 luglio 2021 n. 128;
- il DPCM del 26 gennaio 2022, registrato dalla Corte dei Conti in data 18 febbraio 2022 con il n. 228 con cui è stato conferito all'Ing. Mauro Mallone l'incarico di Direttore Generale della Direzione Incentivi Energia;
- il decreto del Ministro della transizione ecologica di concerto con il Ministro dell'Economia e delle Finanze, n. 492 del 29 novembre 2021 che istituisce la struttura di missione PNRR, ai sensi dell'articolo 8 del citato decreto-legge del 31 maggio 2021, n. 77;
- il decreto-legge 9 giugno 2021, n. 80, convertito con modificazioni, dalla legge 6 agosto 2021, n. 113, recante «Misure urgenti per il rafforzamento della capacità amministrativa delle pubbliche amministrazioni funzionale all'attuazione del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) e per l'efficienza della giustizia»;
- l'articolo 1, comma 1042 della legge 30 dicembre 2020, n. 178 ai sensi del quale con uno o più decreti del Ministro dell'economia e delle finanze sono stabilite le procedure amministrativo-contabili per la gestione delle risorse di cui ai commi da 1037 a 1050, nonché le modalità di rendicontazione della gestione del Fondo di cui al comma 1037;
- l'articolo 1, comma 1043, secondo periodo della legge 30 dicembre 2020, n. 178, ai sensi del quale al fine di supportare le attività di gestione, di monitoraggio, di rendicontazione e di controllo delle componenti del Next Generation EU, il Ministero dell'economia e delle finanze - Dipartimento della Ragioneria generale dello Stato sviluppa e rende disponibile un apposito sistema informatico;
- il comma 1044 dello stesso articolo 1 della legge 30 dicembre 2020, n. 178, che prevede che, con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri, su proposta del Ministro dell'economia e delle finanze, sono definite le modalità di rilevazione dei dati di attuazione finanziaria, fisica e procedurale relativi a ciascun progetto;
- la legge 16 gennaio 2003, n. 3, recante "Disposizioni ordinamentali in materia di pubblica amministrazione" e, in particolare, l'articolo 11, comma 1 che dispone che a decorrere dal 1° gennaio 2003 ogni nuovo progetto di investimento pubblico, sia dotato di un «Codice unico di progetto» (CUP), e il comma 2-bis ai sensi del quale *“Gli atti amministrativi anche di natura regolamentare adottati dalle Amministrazioni di cui all'articolo 1, comma 2, del decreto legislativo 30 marzo 2001, n. 165, che dispongono il finanziamento pubblico o autorizzano l'esecuzione di progetti di investimento pubblico, sono nulli in assenza dei corrispondenti codici di cui al comma 1 che costituiscono elemento essenziale dell'atto stesso”*;
- l'articolo 25, comma 2, del decreto-legge 24 aprile 2014, n. 66 che, al fine di assicurare l'effettiva tracciabilità dei pagamenti da parte delle pubbliche amministrazioni prevede l'apposizione del codice identificativo di gara (CIG) e del Codice unico di Progetto (CUP) nelle fatture elettroniche ricevute;
- la delibera del CIPE n. 63 del 26 novembre 2020 che introduce la normativa attuativa della riforma del CUP;
- il decreto del Ministro dell'economia e delle finanze 6 agosto 2021 e s. m. i., recante assegnazione

delle risorse finanziarie previste per l'attuazione degli interventi del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) e ripartizione di traguardi e obiettivi per scadenze semestrali di rendicontazione, che assegna al Ministero della Transizione Ecologica l'importo di euro 160.000.00,00 per l'attuazione del richiamato investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo dell'idrogeno";

- il decreto-legge 10 settembre 2021, n. 121, convertito con modificazioni dalla legge 9 novembre 2021, n. 156, recante *"Disposizioni urgenti in materia di investimenti e sicurezza delle infrastrutture, dei trasporti e della circolazione stradale, per la funzionalità del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, del Consiglio superiore dei lavori pubblici e dell'Agenzia nazionale per la sicurezza delle infrastrutture stradali e autostradali"*;
- il decreto del Ministro dell'economia e delle finanze 11 ottobre 2021, recante le procedure relative alla gestione finanziaria delle risorse previste nell'ambito del PNRR di cui all'articolo 1, comma 1042, della legge 30 dicembre 2020, n. 178;
- il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dell'Economia e delle Finanze del 15 settembre 2021 in cui sono definite le modalità di rilevazione dei dati di attuazione finanziaria, fisica e procedurale relativi a ciascun progetto, da rendere disponibili in formato elaborabile, con particolare riferimento ai costi programmati, agli obiettivi perseguiti, alla spesa sostenuta, alle ricadute sui territori che ne beneficiano, ai soggetti attuatori, ai tempi di realizzazione previsti ed effettivi, agli indicatori di realizzazione e di risultato, nonché a ogni altro elemento utile per l'analisi e la valutazione degli interventi;
- la circolare RGS-MEF del 14 ottobre 2021, n. 21, recante le istruzioni tecniche per la selezione dei progetti PNRR;
- la circolare RGS-MEF del 30 dicembre 2021, n. 32, recante *"Guida operativa per il rispetto del principio di non arrecare danno significativo all'ambiente (DNSH)"*;
- la circolare RGS-MEF del 31 dicembre 2021, n. 33, recante chiarimenti dalla richiamata circolare del 14 ottobre 2021, n. 21 in tema di addizionalità, finanziamento complementare e obbligo di assenza del c.d. doppio finanziamento;
- la circolare RGS-MEF del 18 gennaio 2022, n. 4, che chiarisce alle Amministrazioni titolari dei singoli interventi le modalità, le condizioni e i criteri in base ai quali le stesse possono imputare nel relativo quadro economico i costi per il personale da rendicontare a carico del PNRR per attività specificatamente destinate a realizzare i singoli progetti a titolarità;
- la circolare RGS-MEF del 24 gennaio 2022, n. 6 recante *"Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Servizi di assistenza tecnica per le Amministrazioni titolari di interventi e soggetti attuatori del PNRR"*;
- la circolare RGS-MEF del 10 febbraio 2022, n. 9 recante *"Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Trasmissione delle Istruzioni tecniche per la redazione dei sistemi di gestione e controllo delle amministrazioni centrali titolari di interventi del PNRR"*;
- il decreto del Ministro della Transizione Ecologica n. 545 del 23 dicembre 2021 che disciplina le modalità di attuazione delle attività di ricerca nell'ambito del PNRR - Missione M2-C2 - Investimento 3.5: "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno";

- i principi trasversali previsti dal PNRR, quali, in particolare, il principio del contributo all'obiettivo climatico (c.d. tagging), il principio di parità di genere e l'obbligo di protezione e valorizzazione dei giovani;
- gli obblighi di assicurare il conseguimento di milestone e target previsti nella Componente e nell'Investimento del PNRR, e in particolare:
- la milestone M2C2-18, in scadenza al T2 2022: *“Notifica dell'aggiudicazione di contratti di ricerca e sviluppo volti a migliorare le conoscenze circa l'uso dell'idrogeno come vettore nelle fasi di produzione, stoccaggio e distribuzione. I contratti devono perseguire almeno quattro filoni di ricerca: a) produzione di idrogeno verde e pulito; b) tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed elettrocarburi; c) celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità; d) sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno. Questa misura deve sostenere la produzione di idrogeno elettrolitico a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 t CO₂eq/t H₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO₂eq/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001”*;

il target M2C2-19, in scadenza al T2 2026: *“Svolgimento di almeno quattro progetti di ricerca e sviluppo (uno per ogni filone elencato di seguito) e ottenimento di un certificato di collaudo o pubblicazione. Devono essere perseguiti quattro filoni di attività di ricerca e sviluppo: a) produzione di idrogeno verde e pulito; b) tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed elettrocarburi; c) celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità; d) sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno. Questa misura deve sostenere la produzione di idrogeno elettrolitico a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno [che si traduce in 3 t CO₂eq/t H₂] e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO₂eq/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001”*;

CONSIDERATO CHE

il decreto del Ministro della Transizione Ecologica n. 545 del 23 dicembre 2021 relativo all'attività di ricerca nell'ambito del PNRR - Missione 2-Componente 2 - Investimento 3.5: “Ricerca e sviluppo sull'idrogeno” dispone:

- all'art. 1, che il Ministero della Transizione Ecologica provveda alla stipula di un Accordo di programma con ENEA affinché svolga attività di ricerca dettagliate nel “Piano Operativo di Ricerca” (POR) per un contributo massimo pari a 110 milioni di euro;

- che l'ENEA svolga le suddette attività di ricerca anche con il coinvolgimento di altri soggetti co-realizzatori (Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR e Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A.) al fine di integrare le competenze e conoscenze nella ricerca sull'idrogeno, già presenti nell'Ente e garantire il conseguimento degli obiettivi prefissati nel PNRR;
- che le altre linee di attività del suddetto Investimento 3.5 possano essere svolte da soggetti pubblici e privati, anche in forma di partenariato, mediante progetti da affidare attraverso bandi distinti in due tipologie:
 - a) bandi rivolti a enti di ricerca e università, finanziati al 100% con fondi pubblici, per un importo complessivo massimo pari a 20 milioni di euro; ai suddetti bandi possono partecipare anche le imprese con una percentuale di partecipazione non inferiore al 5% e non superiore al 15% del costo complessivo del progetto;
 - b) bandi rivolti a soggetti privati, in qualità di capofila, per attività di ricerca suddivisa in ricerca industriale e sviluppo sperimentale, nel rispetto della disciplina unionale degli aiuti di Stato a favore di ricerca, sviluppo e innovazione, per un importo complessivo massimo pari a 30 milioni di euro. Il bando può prevedere la partecipazione di organismi di ricerca.

RITENUTO CHE

- il decreto ministeriale del Ministro della Transizione Ecologica n. 545 del 23 dicembre 2021 prevede che l'importo di 110 milioni di euro è così ripartito:
 - a) Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile - ENEA: 75 milioni di euro;
 - b) Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR: 20 milioni di euro;
 - c) Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A: 15 milioni di euro;
- le predette somme gravano sulle risorse finanziarie previste per l'attuazione degli interventi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) assegnate alle singole Amministrazioni titolari degli interventi di cui al Decreto Ministeriale del Ministro dell'Economia e delle Finanze del 6 agosto 2021 e s.m.i. ai sensi e per gli effetti di quanto previsto dal Decreto Legge 10 settembre 2021, n. 121, convertito con modificazioni dalla legge 9 novembre 2021, n. 156, art. 10, comma 3;
- il MiTE si avvale di Invitalia, in qualità di soggetto incaricato, per le azioni di supporto alla verifica amministrativa, tecnico-economica e gestionale delle attività connesse al presente Accordo di programma, di cui all'art. 2 del decreto ministeriale n. 545;
- è necessario un organico coordinamento con gli obiettivi dell'iniziativa Mission Innovation, evitando altresì la sovrapposizione con le attività già finanziate dalla Ricerca di Sistema elettrico, al fine di perseguire con maggiore efficacia il raggiungimento degli obiettivi del Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) e del PNRR;
- l'ENEA è un ente di diritto pubblico istituito sotto la vigilanza del MiTE, finalizzato alla ricerca e all'innovazione tecnologica, nonché alla prestazione di servizi avanzati alle imprese, alla pubblica amministrazione e ai cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile;

- l'ENEA opera in piena autonomia per lo svolgimento delle funzioni istituzionali a essa assegnate, secondo le disposizioni dell'articolo 4 dalla legge 28 dicembre 2015 n. 221.

SI CONVIENE E SI STIPULA QUANTO SEGUE

Articolo 1

Definizioni

Ai fini del presente Accordo, si intende per:

- “Componente”: Elemento costitutivo o parte del PNRR che riflette riforme e priorità di investimento correlate ad un'area di intervento, ad un settore, ad un ambito, ad un'attività, allo scopo di affrontare sfide specifiche e si articola in una o più misure.
- “Corruzione”: fattispecie specifica di frode, definita dalla rilevante normativa nazionale come comportamento soggettivo improprio di un pubblico funzionario che, al fine di curare un interesse proprio o un interesse particolare di terzi, assume (o concorre all'adozione di) una decisione pubblica, deviando, in cambio di un vantaggio (economico o meno), dai propri doveri d'ufficio, cioè dalla cura imparziale dell'interesse pubblico affidatogli;
- “CUP”: il Codice Unico di Progetto (CUP) è il codice che identifica un progetto d'investimento pubblico ed è lo strumento cardine per il funzionamento del Sistema di Monitoraggio degli Investimenti Pubblici;
- “decreto 23 dicembre 2021”: il decreto del Ministro della transizione ecologica n. 545 con cui sono state fornite specifiche disposizioni per l'attuazione dell'investimento 3.5 “Ricerca e sviluppo sull'idrogeno”;
- “DiE”: Dipartimento Energia del Ministero della Transizione Ecologica;
- “frode sospetta”: irregolarità che a livello nazionale determina l'inizio di un procedimento amministrativo o giudiziario volto a determinare l'esistenza di un comportamento intenzionale e, in particolare, l'esistenza di una frode ai sensi dell'articolo 1, paragrafo 1, punto a), della convenzione del 26 luglio 1995 relativa alla tutela degli interessi finanziari dell'Unione europea;
- “frode”: comportamento illecito col quale si mira a eludere precise disposizioni di legge. Secondo la definizione contenuta nella Convenzione del 26 luglio 1995 relativa alla tutela degli interessi finanziari delle Comunità europee la “frode” in materia di spese è qualsiasi azione od omissione intenzionale relativa: (i) all'utilizzo o alla presentazione di dichiarazioni o di documenti falsi, inesatti o incompleti cui consegue il percepimento o la ritenzione illecita di fondi provenienti dal bilancio generale delle Comunità europee o dai bilanci gestiti dalle Comunità europee o per conto di esse; (ii)

alla mancata comunicazione di un'informazione in violazione di un obbligo specifico cui consegua lo stesso effetto; (iii) alla distrazione di tali fondi per fini diversi da quelli per cui essi sono stati inizialmente concessi;

- “Irregolarità”: Qualsiasi violazione del diritto dell'Unione o nazionale derivante da un'azione o un'omissione di un soggetto coinvolto nell'attuazione degli investimenti del Piano, che abbia o possa avere come conseguenza un pregiudizio al bilancio generale della Unione europea mediante l'imputazione allo stesso di spese indebite;

- “Milestone”: traguardo qualitativo da raggiungere tramite una determinata misura del PNRR (riforma e/o investimento), che rappresenta un impegno concordato con l'Unione europea o a livello nazionale (es. legislazione adottata, piena operatività dei sistemi IT, ecc.);

- “Ministero”: il Ministero della transizione ecologica;

- “Missione”: Risposta, organizzata secondo macro-obiettivi generali e aree di intervento, rispetto alle sfide economiche-sociali che si intendono affrontare con il PNRR e articolata in Componenti. Le sei Missioni del Piano rappresentano aree “tematiche” strutturali di intervento (Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura; Rivoluzione verde e transizione ecologica; Infrastrutture per una mobilità sostenibile; Istruzione e ricerca; Inclusione e coesione; Salute)

- “Misura del PNRR”: Specifici investimenti e/o riforme previste dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza realizzati attraverso l'attuazione di interventi/progetti ivi finanziati;

- “OLAF”: Ufficio europeo per la lotta antifrode;

- “Pilastro”: Uno dei sei settori di intervento del dispositivo di ripresa e resilienza di cui all'articolo 3 del Regolamento (UE) 2021/241, ossia transizione verde; trasformazione digitale; crescita intelligente, sostenibile e inclusiva, che comprenda coesione economica, occupazione, produttività, competitività, ricerca, sviluppo e innovazione, e un mercato interno ben funzionante con piccole e medie imprese (PMI) forti; coesione sociale e territoriale; salute e resilienza economica, sociale e istituzionale, al fine di rafforzare, tra l'altro, la capacità di preparazione e di risposta alle crisi; politiche per la prossima generazione, l'infanzia e i giovani, come l'istruzione e le competenze;

- “PNRR”: Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza presentato alla Commissione europea ai sensi dell'articolo 18 e seguenti del Regolamento (UE) 2021/241 e approvato definitivamente con decisione di esecuzione del Consiglio ECOFIN del 13 luglio 2021;

- “POR”: Piano Operativo di Ricerca è il programma dettagliato delle attività da sviluppare, con i relativi obiettivi e costi, e le relative modalità di attuazione e gestione nonché il cronoprogramma delle attività;

- “Principio “non arrecare un danno significativo” (DNSH)”: principio definito all'articolo 17

Regolamento UE 2020/852. Investimenti e riforme del PNRR devono essere conformi a tale principio e verificarlo ai sensi degli articoli 23 e 25 del Regolamento (UE) 2021/241;

- “Progetto o intervento”: Specifico progetto/intervento (anche inteso come insieme di attività e/o procedure) selezionato e finanziato nell’ambito di una Misura del Piano e identificato attraverso un Codice Unico di Progetto (CUP). Il progetto contribuisce alla realizzazione degli obiettivi della Missione e rappresenta la principale entità del monitoraggio quale unità minima di rilevazione delle informazioni di natura anagrafica, finanziaria, procedurale e fisica;

- “Rendicontazione delle Spese”: Attività necessaria a comprovare la corretta esecuzione finanziaria del progetto;

- “Rendicontazione dei milestone e target”: Attività finalizzata a fornire elementi comprovanti il raggiungimento degli obiettivi del Piano (milestone e target, UE e nazionali). Non è necessariamente legata all’avanzamento finanziario del progetto;

- “Rendicontazione di intervento”: Rendicontazione bimestrale al Servizio centrale per il PNRR da parte della funzione di rendicontazione e controllo dell’Amministrazione centrale titolare di intervento. Tale attività può ricomprendere la rendicontazione delle spese sostenute dai soggetti attuatori e/o la rendicontazione del conseguimento dei milestone e target associati agli interventi di competenza;

- “Servizio centrale per il PNRR”: struttura dirigenziale di livello generale istituita presso il Ministero dell’Economia e delle Finanze - Dipartimento della Ragioneria Generale dello Stato, con compiti di coordinamento operativo, monitoraggio, rendicontazione e controllo del PNRR e punto di contatto nazionale per l’attuazione del Piano ai sensi dell’articolo 22 del regolamento (UE) 2021/241;

- “Sistema ReGiS”: Sistema informatico di cui all’articolo 1, comma 1043 della legge di bilancio n. 178/2020 (legge bilancio 2021), sviluppato per supportare le attività di gestione, di monitoraggio, di rendicontazione e di controllo del PNRR e atto a garantire lo scambio elettronico dei dati tra i diversi soggetti coinvolti nella Governance del Piano;

- “Soggetto attuatore”, anche definito “Amministrazione titolare di intervento del PNRR” ai sensi dell’art. 1 del decreto-legge n. 80 del 2021, convertito con modificazioni in legge n. 113 del 2021 e della circolare MEF-RGS 18 gennaio 2022, n. 4: Soggetto responsabile dell’avvio, dell’attuazione e della funzionalità dell’intervento/progetto finanziato dal PNRR. In particolare, l’art.1, comma 4, lett. o) del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, convertito con modificazioni dalla legge 29 luglio 2021 n. 108, indica che i soggetti attuatori sono: “i soggetti pubblici o privati che provvedono alla realizzazione degli interventi previsti dal PNRR”. L’art 9 comma 1 del medesimo decreto specifica che “alla realizzazione operativa degli interventi previsti dal PNRR provvedono le Amministrazioni centrali, le Regioni, le provincie autonome di Trento e Bolzano e gli Enti locali (sulla base delle specifiche competenze istituzionali ovvero della diversa titolarità degli interventi definita nel PNRR) attraverso le proprie strutture ovvero avvalendosi di soggetti attuatori esterni individuati nel PNRR

ovvero con le modalità previste dalla normativa nazionale ed europea vigente”;

“Soggetto realizzatore”: Soggetto e/o operatore economico a vario titolo coinvolto nella realizzazione del progetto e individuato dal Soggetto attuatore. Per il presente Accordo, ENEA e gli altri co-realizzatori coinvolti, CNR e RSE, nella realizzazione dell'intervento.

- “Struttura di coordinamento dell'Amministrazione titolare di interventi PNRR”: Struttura di livello dirigenziale generale di riferimento individuata da ciascuna Amministrazione centrale titolare di interventi previsti nel PNRR per provvedere al coordinamento delle relative attività di gestione, nonché al loro monitoraggio, rendicontazione e controllo (ovvero unità di missione di livello dirigenziale generale appositamente istituita fino al completamento del PNRR, e comunque fino al 31 dicembre 2026, articolata fino ad un massimo di tre uffici dirigenziali di livello non generale);

- “Target”: traguardo quantitativo da raggiungere tramite una determinata misura del PNRR (riforma e/o investimento), che rappresenta un impegno concordato con l'Unione europea o a livello nazionale, misurato tramite un indicatore ben specificato;

- “Unità di Audit”: Struttura che svolge attività di controllo sull'attuazione del PNRR ai sensi del Regolamento (UE) 2021/241;

- “Unità di Missione RGS”: Struttura di cui all'articolo 1, comma 1050 della legge 30 dicembre 2020, n. 178, che svolge funzioni di valutazione e monitoraggio degli interventi del PNRR.

Articolo 2

Oggetto

1. Il presente Accordo di programma definisce gli ambiti tematici di ricerca affidati all'ENEA, soggetto realizzatore, specificati in dettaglio nell'Allegato A, da realizzare in collaborazione con altri co-realizzatori, nell'ambito della Missione 2 “Rivoluzione verde e transizione ecologica” – Componente 2 “Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile” – Investimento 3.5 “Ricerca e sviluppo sull'idrogeno”.
2. Le attività di ricerca e sviluppo affidate all'ENEA e agli altri co-realizzatori, CNR e RSE, mirano a sostenere le attività incentrate sull'idrogeno nelle seguenti tematiche:
 - a) produzione di idrogeno verde e pulito;
 - b) tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels;
 - c) celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità;
 - d) sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno.

Le attività di ricerca dovranno essere finalizzate a sostenere la produzione di idrogeno elettrolitico a partire da fonti di energia rinnovabile ai sensi della direttiva (UE) 2018/2001 o dall'energia

elettrica di rete, oppure attività legate all'idrogeno che soddisfino il requisito di riduzione delle emissioni di gas serra nel ciclo di vita del 73,4 % per l'idrogeno (che si traduce in 3 t CO₂eq/t H₂) e del 70 % per i combustibili sintetici a base di idrogeno rispetto a un combustibile fossile di riferimento di 94 g CO₂eq/MJ, in linea con l'approccio stabilito dall'articolo 25, paragrafo 2, e dall'allegato V della direttiva (UE) 2018/2001.

3. Il presente Accordo stabilisce altresì:
 - a) l'importo massimo finanziabile assegnato all'ENEA e agli altri co-realizzatori coinvolti, CNR e RSE, per la realizzazione delle attività di ricerca;
 - b) le modalità di gestione delle attività oggetto dell'Accordo di programma.

Articolo 3

Il Piano Operativo di Ricerca

1. Entro 30 giorni dalla stipula del presente Accordo, l'ENEA deve presentare al MiTE DGIE, che provvede alla relativa approvazione, il *Piano Operativo di Ricerca* (POR) che contiene il programma dettagliato delle attività da sviluppare, con i relativi obiettivi e costi, e le relative modalità di attuazione e gestione nonché il cronoprogramma delle attività.
2. I contenuti, le tempistiche e le modalità di attuazione previste nel POR devono garantire il rispetto dei requisiti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza associati all'Investimento 3.5 "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno", nell'ambito della Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica", Componente 2 "Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile", nonché il pieno conseguimento di Milestone e Target associati alla misura stessa.
3. Eventuali modifiche o integrazioni del POR dovranno essere espressamente approvate dal MiTE DGIE.
4. Le attività ricomprese nel POR devono rientrare tra quelle ammissibili rispetto al principio del "Do No Significant Harm" (DNSH) e rispettare i requisiti di valutazione di conformità degli interventi al principio del DNSH, con riferimento al sistema di tassonomia delle attività ecosostenibili indicato all'articolo 17 del Regolamento (UE) 2020/852.
5. L'ENEA ha il compito di svolgere le attività di ricerca di cui al comma 1 così come individuate nel POR, nel periodo 2022-2025, per un contributo massimo concedibile pari a 110 milioni di euro, comprensivo degli importi attribuiti ai co-realizzatori, CNR e RSE, di cui ENEA si avvale per la realizzazione di una parte delle attività di ricerca previste nel POR, con i quali stipula appositi accordi e di seguito indicati:
 - a) Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR, cui è affidata la realizzazione di attività di ricerca per un valore massimo di risorse pari di 20 milioni di euro;
 - b) Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A, cui è affidata la realizzazione di attività di ricerca per un valore massimo di risorse pari di 15 milioni di euro.
6. Gli accordi stipulati da ENEA con CNR ed RSE S.p.A. prevedono che le attività svolte da questi soggetti rispettino i requisiti di cui al comma 4.
7. L'ENEA è responsabile della realizzazione delle attività previste nel POR anche per le parti affidate a CNR e RSE S.p.A ed allo scopo svolge azione di indirizzo, coordinamento,

monitoraggio, reporting e rendicontazione secondo quanto previsto all'art. 6.

8. Il contributo previsto al comma 5 è da considerare a copertura totale dei costi sostenuti e ritenuti ammissibili per lo svolgimento delle attività di ricerca.

Articolo 4

Adempimenti a carico dell'ENEA e nomina dei Referenti

1. L'ENEA, in adempimento a quanto previsto dall'articolo 3, comma 5, provvede a stipulare appositi accordi di collaborazione con i co-realizzatori, CNR ed RSE S.p.A., che si impegnano al rispetto e alla puntuale esecuzione degli obblighi ivi previsti. Gli accordi, una volta sottoscritti, sono trasmessi al MiTE - DGIE entro i 30 giorni successivi alla presentazione del POR.
2. Con la stipula degli accordi di cui al comma 1 l'ENEA disciplina tra l'altro:
 - a) i termini e le modalità con le quali CNR e RSE S.p.a. sono tenuti a trasmettere dati e informazioni utili per la realizzazione degli studi, per la stesura delle relazioni, dei rendiconti e di tutti gli altri documenti necessari per il rispetto dei termini previsti dal presente Accordo e dal POR;
 - b) i termini e le modalità con le quali CNR e RSE S.p.a. sono tenuti a comunicare tempestivamente qualsiasi evento che possa avere conseguenze sulle attività e sul conseguimento degli obiettivi previsti dal presente Accordo e dal POR;
 - c) le procedure interne adottate da ENEA al fine di assicurare la conformità ai regolamenti comunitari e a quanto indicato dal MiTE nelle Linee guida o indicazioni operative;
 - d) i flussi finanziari con CNR e RSE, nonché gli aspetti relativi alla rendicontazione delle spese.
3. L'ENEA è responsabile del coordinamento delle attività di ricerca indicate nel POR, ivi comprese le attività affidate a CNR e RSE, e del conseguimento dei risultati ivi previsti. Nello svolgimento di tale obbligo, l'ENEA:
 - a) garantisce la piena realizzazione dei progetti così come illustrati nel POR, assicurando l'avvio tempestivo delle attività per non incorrere in ritardi attuativi e concludere i progetti nella forma, nei modi e nei tempi previsti, nel rispetto del relativo cronoprogramma, sottoponendo al MiTE le eventuali modifiche ai progetti;
 - b) individua eventuali cause che possano determinare ritardi sulla tempistica attuativa e di spesa, definita nel cronoprogramma, comunicandole al MiTE.
4. L'ENEA garantisce il rispetto del principio di non arrecare un danno significativo agli obiettivi ambientali, ai sensi dell'articolo 17 del Regolamento (UE) 2020/852 e dei principi trasversali previsti dal PNRR.
5. L'ENEA si dota, nell'ambito della propria organizzazione, di adeguate strutture per l'attuazione del presente Accordo di programma, nonché si impegna a operare per il perseguimento degli obiettivi del presente Accordo nel pieno rispetto dei criteri di efficienza,

di imparzialità e di funzionalità dell'azione amministrativa.

6. L'ENEA si impegna inoltre a:

- a) individuare e comunicare al MiTE DGIE un Referente per l'attuazione del presente Accordo di programma;
 - b) rispettare, nello svolgimento di attività da porre in essere con esperti esterni all'Amministrazione, la conformità alla pertinente disciplina comunitaria e nazionale, nonché alle eventuali specifiche circolari/disciplinari che potranno essere adottati dal MiTE;
 - c) adottare il sistema informatico unitario per il PNRR di cui all'articolo 1, comma 1043, della legge 30 dicembre 2020, n. 178 (ReGiS), ovvero il diverso sistema informatico utilizzato dal MiTE (purché sia garantita la piena interoperabilità dello stesso con il sistema ReGiS), finalizzato a raccogliere, registrare e archiviare in formato elettronico i dati per ciascuna operazione necessari per la sorveglianza, la valutazione, la gestione finanziaria, la verifica e l'audit, secondo quanto previsto dall'art. 22.2 lettera d) del Regolamento (UE) 2021/241 e tenendo conto delle indicazioni che verranno fornite dal MiTE;
 - d) rilevare e imputare nel sistema informativo i dati di monitoraggio sull'avanzamento procedurale, fisico e finanziario dei progetti secondo quanto previsto dall'articolo 22.2, lettera d), del Regolamento (UE) 2021/241, con particolare riguardo agli avanzamenti delle attività progettuali rilevanti ai fini del conseguimento di *milestone* e *target* associati all'investimento oggetto del presente Accordo, e alla documentazione probatoria pertinente;
 - e) partecipare, ove richiesto, alle riunioni convocate dal MiTE;
 - f) predisporre, in accordo con il MiTE DGIE, una sezione del proprio sito internet (www.enea.it) dedicato al presente Accordo e alle attività in esso definite, da aggiornare per tutta la durata dell'Accordo in linea con le indicazioni che saranno fornite dal MiTE.
7. L'ENEA e gli altri co-realizzatori, CNR e RSE, a conclusione delle attività di ricerca, si impegnano a diffondere i risultati conseguiti e le ricadute sul settore produttivo di riferimento delle attività di ricerca svolte a beneficio di tutti gli utenti, utilizzando una sezione dedicata nei propri siti internet e/o su riviste scientifiche open source.
8. Al termine delle attività di ricerca, l'ENEA si impegna ad ottenere il certificato di collaudo ovvero la pubblicazione degli studi realizzati nel termine di cui all'art. 7 comma 2 del presente Accordo, al fine di comprovare il conseguimento del target M2C2-19.
9. L'ENEA si impegna ad assicurare il rispetto di tutte le disposizioni previste dalla normativa comunitaria e nazionale, con particolare riferimento a quanto previsto dal Regolamento (UE) 2021/241 e dal decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, convertito con modificazioni dalla legge 29 luglio 2021, n. 108, nonché ad osservare tutte le disposizioni e le indicazioni impartite dal MiTE e a fornire tutte le informazioni richieste ai fini della valutazione delle attività oggetto del presente accordo.

10. L'ENEA è tenuta a inviare al MiTE DGIE una relazione semestrale, predisposta con gli altri co-realizzatori e da trasmettersi a cura del referente di cui all'articolo 4, comma 6 lettera a), sullo stato di avanzamento rispetto alla programmazione e alle tempistiche previste nel POR e sul raggiungimento di eventuali risultati conseguiti.
11. L'ENEA si impegna a garantire una tempestiva e diretta informazione agli organi preposti, tenendo informato il MiTE sull'avvio e l'andamento di eventuali procedimenti di carattere giudiziario, civile, penale o amministrativo che dovessero interessare le operazioni oggetto dei progetti, a comunicare le irregolarità, le frodi, i casi di corruzione e di conflitti di interessi riscontrati, nonché i casi di doppio finanziamento a seguito delle verifiche di competenza e ad adottare le misure necessarie, nel rispetto delle procedure adottate dalla stessa Amministrazione, in linea con quanto indicato dall'art. 22 del Regolamento (UE) 2021/241.
12. Il MiTE DGIE comunica all'ENEA il Referente per le attività oggetto del presente Accordo di programma.

Articolo 5

Valutazione delle attività ed erogazione dei contributi

1. A seguito dell'approvazione del POR e del relativo contributo ammissibile, il MiTE dispone l'erogazione di una anticipazione in favore di ENEA per lo svolgimento delle attività pari, al massimo, a 11 milioni di euro (pari al 10 per cento del contributo massimo stanziato di 110 milioni di euro) da ripartirsi tra ENEA e i co-realizzatori sulla base di quanto previsto dall'articolo 1, comma 4 del citato Decreto del Ministro della Transizione Ecologica del 23.12.2021 n. 545.
2. ENEA procede all'erogazione in favore dei co-realizzatori della quota di acconto stabilita al comma precedente secondo le modalità e le tempistiche previste dagli accordi con gli stessi sottoscritti.
3. A seguito della sottoscrizione del presente Accordo, l'ENEA, con cadenza almeno annuale, può richiedere in relazione allo stato di avanzamento dei progetti l'erogazione di quote intermedie del contributo ammissibile, fino al raggiungimento (compresa l'anticipazione) del 90 per cento dell'importo della spesa dell'intervento ritenuta ammissibile. L'ENEA, previa presentazione della relazione finale di attuazione attestante la conclusione delle attività di ricerca previste dal POR e il conseguimento dei relativi risultati, da comprovarsi mediante ottenimento del certificato di collaudo ovvero dimostrazione dell'avvenuta pubblicazione dei progetti di ricerca, può richiedere l'erogazione della quota a saldo pari al 10 per cento del contributo ammissibile.
4. Le richieste delle quote di contributo di cui al comma precedente devono essere accompagnate da una relazione sullo stato di avanzamento fisico, procedurale e finanziario di ciascuno dei progetti previsti nel POR e per i quali si chiede l'erogazione, fatto salvo l'obbligo di trasmettere la relazione semestrale prevista dall'articolo 3, comma 10. La richiesta di erogazione delle quote di contributo deve essere predisposta secondo le modalità che saranno specificatamente indicate nelle Linee Guida di rendicontazione, previste dall'articolo 6, comma 1 del presente accordo, e nel rispetto di quanto previsto nel medesimo articolo. Il MiTE si avvarrà – per l'esame delle richieste di erogazione - del supporto del soggetto incaricato Invitalia SpA.

5. Il MiTE, può svolgere controlli e accertamenti, anche in loco, al fine di verificare lo stato di avanzamento delle attività, il conseguimento dei risultati intermedi (ove previsti) e finali, la pertinenza, la congruità e l'ammissibilità dei costi documentati della spesa, avvalendosi, se del caso, del supporto del soggetto incaricato Invitalia SpA.
6. L'erogazione delle quote di contributo successive all'anticipazione viene effettuata a fronte di costi effettivamente sostenuti da ENEA e dai co-realizzatori, debitamente giustificati e rendicontati da Enea sulla base delle indicazioni fornite dal MiTE con le citate Linee Guida.
7. Ai fini degli accertamenti di cui al comma 5, il MiTE, anche tramite il soggetto incaricato, può richiedere all'ENEA informazioni sullo stato di avanzamento del POR, o di un singolo progetto, completa della rendicontazione dei costi sostenuti e della relativa documentazione, e/o effettuare verifiche presso i luoghi di svolgimento del progetto.
8. Le erogazioni sono effettuate nei limiti delle effettive disponibilità di cassa.
9. Il trasferimento dell'anticipazione, delle quote intermedie annuali e del saldo avviene sul conto n. 168373 della Tesoreria dell'ENEA.

Articolo 6

Modalità di rendicontazione delle spese

1. Le modalità di rendicontazione e i criteri per la determinazione delle spese ammissibili saranno stabilite dal MiTE con successive Linee Guida recanti criteri di valutazione e rendicontazione.
2. Tali criteri dovranno tenere conto tra l'altro:
 - a) degli adempimenti connessi agli obblighi di rilevazione e imputazione dei dati nel sistema informativo adottato per il monitoraggio sull'avanzamento procedurale, fisico e finanziario dei progetti, ai sensi dell'articolo 1, comma 1043 della legge del 30 dicembre del 2020, n. 178 e nel rispetto dell'articolo 22, paragrafo 2, lettera d), del regolamento (UE) 2021/241 e gli ulteriori adempimenti per finalità di monitoraggio previste dalle norme europee o nazionali;
 - b) dell'obbligo in capo a ENEA di presentare la rendicontazione delle spese effettivamente sostenute, in coerenza a quanto previsto dal POR, e degli indicatori di realizzazione associati ai progetti, in riferimento al contributo al perseguimento dei milestone e target del Piano, nei tempi e nei modi previsti dal presente Accordo ed atti conseguenti;
 - c) del rispetto delle misure adeguate per garantire la sana gestione finanziaria secondo quanto disciplinato nel regolamento finanziario (UE, Euratom) 2018/1046 e nell'art. 22 del regolamento (UE) 2021/241, in particolare in materia di prevenzione, identificazione e rettifica dei conflitti di interessi, delle frodi, della corruzione e di recupero e restituzione dei fondi che sono stati indebitamente assegnati nonché del c.d. doppio finanziamento ai sensi dell'art. 9 del Regolamento (UE) 2021/241;
 - d) degli obblighi in materia di comunicazione e informazione previsti dall'articolo 34 del regolamento (UE) 2021/241, incluse le dichiarazioni da rendere in relazione al finanziamento a valere sulle risorse dell'Unione europea – NextGenerationEU (utilizzando la frase “finanziato dall'Unione europea – Next Generation EU”), volte a fornire un'adeguata diffusione e promozione del progetto, anche online, sia web che social, in linea con quanto

previsto dalla Strategia di Comunicazione del PNRR, e le modalità di valorizzazione dell'emblema dell'Unione europea nella documentazione progettuale;

- e) degli obblighi di effettuazione dei controlli di gestione e amministrativo-contabili previsti dalla legislazione nazionale applicabile, volti garantire la regolarità delle procedure e delle spese sostenute, preliminari alla rendicontazione al MiTE, nonché la riferibilità delle spese al progetto ammesso al finanziamento sul PNRR;
- f) degli obblighi necessari ad assicurare la tracciabilità dell'utilizzo delle risorse del PNRR attraverso l'utilizzo di un sistema di contabilità separata e apposita codificazione contabile e informatizzata per tutte le transazioni relative ai progetti svolti;
- g) delle disposizioni volte a favorire la parità di genere e la protezione e valorizzazione dei giovani;
- h) degli obblighi di conservazione in fascicoli cartacei o informatici per assicurare la completa tracciabilità delle operazioni, nel rispetto anche di quanto previsto dall'articolo 9, comma 4, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, della documentazione relativa alle operazioni, che, nelle diverse fasi di controllo e verifica previste dal sistema di gestione e controllo del PNRR, dovrà essere messa prontamente a disposizione su richiesta del MiTE, del Servizio centrale per il PNRR, dell'Unità di Audit, della Commissione europea, dell'OLAF, della Corte dei Conti europea, della Procura europea e delle competenti Autorità giudiziarie nazionali, autorizzando la Commissione, l'OLAF, la Corte dei conti e l'EPPO a esercitare i diritti di cui all'articolo 129, paragrafo 1, del regolamento finanziario (UE; EURATOM) 1046/2018;
- i) dell'adempimento previsto dalla legge 16 gennaio 2003, n. 3, in particolare, l'articolo 11, comma 1 che dispone che a decorrere dal 1° gennaio 2003 ogni nuovo progetto di investimento pubblico, sia dotato di un «Codice unico di progetto» (CUP), e il comma 2-bis ai sensi del quale *“Gli atti amministrativi anche di natura regolamentare adottati dalle Amministrazioni di cui all'articolo 1, comma 2, del decreto legislativo 30 marzo 2001, n. 165, che dispongono il finanziamento pubblico o autorizzano l'esecuzione di progetti di investimento pubblico, sono nulli in assenza dei corrispondenti codici di cui al comma 1 che costituiscono elemento essenziale dell'atto stesso”*, e del conseguente obbligo di richiesta del CUP e del suo inserimento in tutti gli atti amministrativo-contabili previsti dalla presente procedura;
- j) delle ulteriori disposizioni operative volte ad assicurare il rispetto delle disposizioni nazionali ed europee di riferimento, con particolare riguardo alla normativa vigente in materia di contratti pubblici nel caso in cui si faccia ricorso alle procedure di appalto.

Articolo 7

Periodo di validità, termine per la trasmissione dei risultati delle attività della ricerca ed erogazione del saldo del contributo

1. Il presente Accordo ha validità dal giorno della stipula delle Parti fino alla scadenza prevista dal PNRR, fissata al 30 giugno 2026.
2. Le attività di ricerca devono concludersi improrogabilmente entro il 31 dicembre 2025.
3. L'erogazione del saldo del contributo verrà effettuata entro il 30 giugno 2026, previa verifica della regolarità dei titoli di spesa e della documentazione a supporto, ivi compresa una

relazione finale sulle attività svolte e sui risultati conseguiti dai progetti di ricerca, che devono essere attesati mediante ottenimento del certificato di collaudo ovvero dimostrazione dell'avvenuta pubblicazione, in base a quanto previsto dal target M2C2-19, nonché dall'articolo 5, comma 3 del presente Accordo.

Articolo 8

Revoca del contributo e risoluzione dell'Accordo di Programma

1. Il contributo previsto per le attività di ENEA può essere revocato, in tutto o in parte, con Decreto MiTE in caso di gravi irregolarità riscontrate dal MiTE nella gestione e attuazione del presente accordo, nel caso di mancata realizzazione delle attività previste dall'art. 2, comma 1 e dall'Allegato A, così come dettagliate nel POR approvato dal MiTE, nel caso di mancato rispetto di quanto previsto dall'art. 6 comma 2 del presente accordo, in caso di mancato rispetto dei termini di cui al precedente articolo 7, nonché in caso di violazione di disposizioni normative nazionali e comunitarie comunque applicabili.
2. I casi previsti dal comma 1 costituiscono motivi di risoluzione del presente Accordo.

Articolo 9

Clausola di salvaguardia ed eventuali modifiche dell'Accordo

1. Ogni e qualsiasi modifica normativa che intervenga durante il periodo di attuazione del presente Accordo di programma e da cui conseguano effetti estintivi dei presupposti giuridici dell'Accordo stesso, non comporterà alcun obbligo e onere da parte del MiTE DGIE nei confronti dell'ENEA, salvo l'erogazione della quota di contributo per le attività già realizzate alla data di comunicazione da parte del MiTE dell'avvenuto verificarsi dell'evento estintivo, debitamente giustificate da idonea documentazione.
2. Eventuali modifiche o integrazioni del presente Accordo potranno essere concordate dalle parti previa comunicazione da trasmettersi a mezzo PEC.
3. Ogni e qualsiasi modifica del presente Accordo avverrà esclusivamente in forma scritta.

Articolo 10

Trattamento dei dati personali e impegno di riservatezza

1. Le Parti, nel dare attuazione all'Accordo, si impegnano a trattare i dati in conformità alle disposizioni di cui al Regolamento EU 2016/679 (GDPR) nonché al D.Lgs. n. 196/2003 e s.m.i., nel rispetto dei principi di liceità, necessità, correttezza, pertinenza e non eccedenza, esclusivamente per le finalità di cui al presente Accordo. In particolare, le Parti, ciascuna per quanto di propria competenza, si impegnano a: i) non comunicare dati personali a terzi, fatti salvi i soggetti nominati quali Responsabili/Sub-Responsabili del trattamento dei dati ai sensi dell'art. 28 del GDPR ai fini dell'esecuzione del presente Accordo, ovvero nei casi espressamente contemplati dalla legge o per adempiere a un ordine dell'Autorità giudiziaria; ii) adottare, ai sensi dell'art. 32 del GDPR, tutte le misure tecniche e organizzative necessarie al fine di garantire

la correttezza e sicurezza del trattamento dei dati personali. I dati personali necessari ai fini della formalizzazione del presente Accordo vengono trattati esclusivamente ai fini della conclusione e dell'esecuzione dello stesso, nonché per gli adempimenti connessi alla relativa gestione e per l'adempimento di obblighi legali e fiscali correlati, ai sensi della normativa vigente.

2. Le Parti si impegnano a garantire la riservatezza della documentazione e dei dati di cui verranno in possesso o, comunque, a conoscenza, in esecuzione della presente, anche ai sensi della vigente normativa in materia di protezione dei dati personali. È preclusa la diffusione della documentazione e dei dati sopra citati, fatta eccezione per le comunicazioni di carattere istituzionale in attuazione della disciplina giuridica di riferimento. Le Parti si impegnano, altresì, a far rispettare dai propri dipendenti, consulenti e collaboratori, coinvolti nelle attività oggetto del presente Accordo, il vincolo della riservatezza in relazione a tutte le informazioni, i dati, le documentazioni e, più in generale, le notizie di cui verranno a conoscenza.

Articolo 11

Norme applicabili

1. Per quanto non espressamente disposto nel presente Accordo di programma, trovano applicazione le norme del codice civile, ove applicabili.

Articolo 12

Foro competente

1. Per tutte le controversie che dovessero insorgere in merito all'interpretazione e/o esecuzione del presente Accordo di programma, è competente il Foro di Roma.

Ai sensi dell'articolo 24 del decreto legislativo 7 marzo 2005, n. 82 (Codice dell'amministrazione digitale) il presente Accordo di programma è sottoscritto nelle forme digitali indicate dalla medesima disposizione.

per il **Ministero della Transizione Ecologica**

DGIE

Il Direttore Generale - Ing. Mauro Mallone

per **ENEA**

Il Presidente - Ing. Gilberto Dialuce



MAURO
MALLONE
Ministero della
Transizione
Ecologica
DIRETTORE
GENERALE
INCENTIVI
ENERGIA
29.04.2022
08:39:55
GMT+01:00

Firmato digitalmente da: Gilberto Dialuce
Organizzazione: ENEA/01320740580
Luogo: roma
Data: 10/05/2022 11:33:33

ALLEGATO A

PNRR - Ricerca Idrogeno - Mission M2-C2 - Investimento 3.5: Ricerca e sviluppo sull'idrogeno	
Produzione di idrogeno rinnovabile	40M€
Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels	30M€
Celle a combustibile per applicazioni stazionarie e di mobilità	30M€
Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno	10M€
Totale	110M€

Allegato 3 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

**ACCORDO DI PROGRAMMA MiTE – ENEA
PER LA REGOLAMENTAZIONE DEI RAPPORTI IN RELAZIONE ALLO SVOLGIMENTO DI
ATTIVITA' DI RICERCA NELL'AMBITO DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E
RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 2 "RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE
ECOLOGICA" – COMPONENTE 2 "ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E
MOBILITÀ SOSTENIBILE" – INVESTIMENTO 3.5 "RICERCA E SVILUPPO
SULL'IDROGENO", FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU**

**PRESENTAZIONE PIANO OPERATIVO DI RICERCA (POR)
ENEA SOGGETTO REALIZZATORE
CNR E RSE SOGGETTI CO-REALIZZATORI
26 giugno 2022**

TITOLO DEL PROGETTO

RICERCA E SVILUPPO DI TECNOLOGIE PER LA FILIERA DELL'IDROGENO

DURATA: 42 MESI

INDICE

<u>PARTE I – IDENTIFICAZIONE DEI PROPONENTI</u>	4
1. Dati realizzatore	4
2. Dati co-realizzatore	5
3. Dati dei referenti	7
4. Sedi operative	8
 <u>PARTE II – DATI GENERALI DEL PROGETTO</u>	 10
5. Dati progetto	10
6. Descrizione progetto	10
6.1 Abstract del progetto	10
6.2 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte e progressi attesi	12
6.3 Eventuali collegamenti con progetti rilevanti relativamente alle attività previste nel progetto	20
6.4 Obiettivi e risultati attesi	23
6.5 TRL progetto	24
6.6 Fattibilità tecnico-scientifica	26
6.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi	29
6.8 Verifica dell'esito del progetto	31
 <u>PARTE III – STRUTTURA E COSTI DEL PROGETTO</u>	 37
<i>Obiettivo 1 - Produzione di idrogeno verde e pulito</i>	<i>39</i>
- WP1.1: Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni	40
- WP1.2: Ricerca, sviluppo e modellazione di tecnologie, componenti e sistemi di nuova generazione per applicazioni specifiche: feedstock per l'industria, trasporti, calore ed energia	122
- WP1.3: Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali	140
- Tabella riassuntiva LA prodotti della ricerca (Obiettivo 1)	152
 <i>Obiettivo 2 - Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels</i>	 <i>171</i>
- WP2.1: Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica	173
- WP2.2: Ricerca e sviluppo di soluzioni per il trasporto, distribuzione e usi finali dell'idrogeno nelle reti del gas naturale	199
- WP2.3: Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica	220
- WP2.4: Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo	241
- WP2.5: Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali	246
- Tabella riassuntiva LA prodotti della ricerca (Obiettivo 2)	261

<i>Obiettivo 3 - Celle a Combustibile</i>	276
- WP3.1: Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi	278
- WP3.2: Ricerca e sviluppo di soluzioni avanzate di celle reversibili, basate sia su conduttori ionici che protonici	293
- WP3.3: Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione	303
- WP3.4: Studio e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile, alimentati con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionale, per applicazioni stazionarie e per comunità energetiche locali	318
- WP3.5: Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e sistemi innovativi di celle a combustibile, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali	326
- Tabella riassuntiva LA prodotti della ricerca (Obiettivo 3)	337
<i>Obiettivo 4 - Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno</i>	346
- WP4.1: Ricerca, sviluppo e implementazione di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Test e applicazioni	347
- WP4.2: Sperimentazione e validazione di una infrastruttura basata sull'idrogeno in scala microgrid	356
- WP4.3: Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie emergenti, componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno e formazione di figure professionali	363
- Tabella riassuntiva LA prodotti della ricerca (Obiettivo 4)	377
GANTT POR	381
<u>PARTE IV – PREVENTIVO DEI COSTI</u>	385

PARTE I – IDENTIFICAZIONE DEI PROPONENTI

1. Dati realizzatore

Denominazione realizzatore	Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile
Nome abbreviato	ENEA
Codice fiscale	01320740580
Partita iva	00985801000
Natura giuridica	Ente Pubblico di Ricerca (EPR)
Referente attuazione AdP	Ing. Giorgio Graditi
Ruolo Referente	Direttore del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Tel.	06-30484119; 335-1082250
Email	giorgio.graditi@enea.it

Legale Rappresentante / Procuratore speciale¹

Procuratore speciale ☐ (in caso di selezione allegare procura)

Titolo	Ing.
Cognome	Dialuce
Nome	Gilberto
Qualifica	Presidente
Codice fiscale	DLCGBR54D08H501F
Luogo nascita	Roma
Data nascita	8/4/1954
Città di residenza	Roma
Indirizzo di residenza	Via Veturia 81
Carta di identità/Passaporto	Passaporto
N° documento	SA0124673

Sede legale

Regione	Lazio
Provincia	Roma
Comune	Roma
Indirizzo	Lungotevere Thaon di Revel, 76
CAP	00196
Tel.	06-36271
Fax	06-36272591/2777
Email PEC	enea@cert.enea.it
Email	giorgio.graditi@enea.it

¹ inserire i dati del firmatario della documentazione relativa al proponente selezionato e indicare se procuratore speciale

2. Dati co-realizzatore²

Denominazione co-realizzatore	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Nome abbreviato	CNR
Codice fiscale	80054330586
Partita iva	02118311006
Natura giuridica	Ente Pubblico di Ricerca (EPR)

Legale Rappresentante / Procuratore speciale

(inserire i dati del firmatario della documentazione relativa al proponente selezionato e indicare se procuratore speciale)

Procuratore speciale ☐ *(in caso di selezione allegare procura)*

Titolo	Prof.ssa
Cognome	Carrozza
Nome	Maria Chiara
Qualifica	Presidente
Codice fiscale	CRRMCH65P56G702V
Luogo nascita	Pisa
Data nascita	16/09/1965
Città di residenza	Pisa
Indirizzo di residenza	Via Montegrappa 14
Carta di identità/Passaporto	Carta di identità
N° documento	3912903AA

Sede legale

Regione	Lazio
Provincia	Roma
Comune	Roma
Indirizzo	Piazzale Aldo Moro, 7
CAP	00185
Tel.	06-49931
Fax	06-49932990
Email PEC	protocollo-ammcen@pec.cnr.it
Email	presidenza@cnr.it

Dati co-realizzatore³

Denominazione co-realizzatore	Ricerca sul Sistema Energetico
Nome abbreviato	RSE
Codice fiscale	05058230961
Partita iva	05058230961

² In questa scheda vanno inseriti i dati del/i co-beneficiario/i (duplicare la scheda se necessario)

³ In questa scheda vanno inseriti i dati del/i co-beneficiario/i (duplicare la scheda se necessario)

Natura giuridica	Società per Azioni
------------------	--------------------

Legale Rappresentante

(inserire i dati del firmatario della documentazione relativa al proponente selezionato e indicare se procuratore speciale)

Procuratore speciale ☐ *(in caso di selezione allegare procura)*

Titolo	Prof.re
Cognome	Delfanti
Nome	Maurizio
Qualifica	Amministratore delegato
Codice fiscale	DLFMRZ68P10C201N
Luogo nascita	Castel San Giovanni (PC)
Data nascita	10/09/1968
Città di residenza	Castel San Giovanni (PC)
Indirizzo di residenza	Via Emilia Piacentina 18
Carta di identità/Passaporto	Cdi
N° documento	AX5024584

Sede legale

Regione	Lombardia
Provincia	Milano
Comune	Milano
Indirizzo	Via Rubattino, 54
CAP	20134
Tel.	02-39921
Fax	02-39925218
Email PEC	rse@legalmail.it
Email	rosanna.brillantino@rse-web.it

3. Dati dei referenti

Referente AdP

Titolo	Ing.
Cognome	Graditi
Nome	Giorgio
Qualifica	Direttore del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili - ENEA
Codice fiscale	GRDGRG68T26G273I
Tel.	06-30484119
Fax	
Email	giorgio.graditi@enea.it

Capoprogetto

Titolo	Ing.
Cognome	Monteleone
Nome	Giulia
Qualifica	Responsabile Divisione Produzione, Storage e Uso dell'Energia - ENEA
Codice fiscale	MNTGLI70D44H501Q
Tel.	06-30483483
Fax	
Email	giulia.monteleone@enea.it

Referente co-realizzatore⁴ - CNR

Titolo	Dr.
Cognome	Arico'
Nome	Antonino Salvatore
Qualifica	Direttore Istituto CNR-ITAE / Dirigente di Ricerca
Codice fiscale	RCANNN63P28H982K
Tel.	090 624224
Fax	090 624247
Email	arico@itae.cnr.it

Referente co-realizzatore⁵ - RSE

Titolo	Dott.
Cognome	Zagano
Nome	Claudio
Qualifica	Ricercatore Senior
Codice fiscale	ZGNCLD60P03F205C

⁴ eliminare la tabella se il referente delle comunicazioni è coincidente con il Capoprogetto

⁵ eliminare la tabella se il referente delle comunicazioni è coincidente con il Capoprogetto

Tel.	+393271676349
Fax	
Email	Claudio.Zagano@rse-web.it

4. Sedi operative⁶

<i>Sede operativa</i>	ENEA
<i>Sede (nome riferimento sede operativa)</i>	C.R. Casaccia; C.R. Trisaia; C.R. Portici; C.R. Bologna
Regione	Lazio; Basilicata; Campania; Emilia Romagna
Provincia	Roma; Matera; Napoli; Bologna
Comune	Roma; Rotondella; Portici; Bologna
Indirizzo	Via Anguillarese 301; Strada Statale Jonica km 419 + 500; P.zza Enrico Fermi 1; Via Martiri di Monte Sole 4
CAP	00123; 75026; 80055; 40129

<i>Sede operativa</i>	CNR
<i>Sede (nome riferimento sede operativa)</i>	ITAE; ISTEK; STEMS; INM; IFAC; ICCOM; ICB; ICMATE; IC; SCITEC; IPCB; IPCF; ISOF; ITM; ISMN
Regione	Sicilia; Emilia-Romagna; Campania; Lazio, Sicilia; Toscana; Toscana; Campania; Veneto, Liguria, Lombardia; Puglia, Friuli Venezia Giulia; Umbria, Lombardia; Campania, Sicilia; Puglia, Toscana; Emilia-Romagna; Calabria; Emilia-Romagna, Lazio, Sicilia
Provincia	Messina, Palermo; Ravenna; Napoli; Roma, Palermo; Firenze; Firenze, Pisa; Napoli; Padova, Genova, Milano; Bari, Trieste; Perugia, Milano; Napoli, Catania; Bari, Pisa; Bologna, Ferrara; Cosenza; Bologna, Roma, Palermo
Comune	Messina, Palermo; Faenza; Napoli; Roma, Palermo; Sesto Fiorentino; Sesto Fiorentino, Pisa; Pozzuoli; Padova, Genova, Milano; Bari, Bassovizza; Perugia, Milano; Pozzuoli, Napoli, Portici, Catania; Bari, Trieste; Bologna; Rende; Bologna, Monterotondo Stazione-Montelibretti, Palermo
Indirizzo	Via Salita S. Lucia, 5 – Viale delle Scienze, Ed.9; Via Granarolo, 64; Via Guglielmo Marconi, P.le Vincenzo Tecchio, 80; Via di Vallerano, 139 - Via Ugo La Malfa 153; Via Madonna del Piano, 10; Via Madonna del Piano 10 - Via Moruzzi 1; Via Campi Flegrei, 34, Viale Kennedy, 54, P.le Enrico Fermi 1, Via Paola Gaifami, 18; Corso Stati Uniti, 4 , Via Francesco Marzolo 1; Via all'Opera Pia, 15; Via E. De Marini, Via Previati n. 1/E- Via Roberto Cozzi, 53; Via Giovanni Amendola, 122/O, Elettra S.S. 14 Km 163,5; Via Salaria km. 29,3; Via Elce di Sotto 8, Via Alfonso Corti 12 - Via C. Golgi 19, via

⁶ Duplicare le tabelle se necessario

	Bianco Mario 9; Via Campi Flegrei 34; Viale Ferdinando Stagno d'Alcontres, 37 - Via Orabona, 4; Via Piero Gobetti, 101; via Luigi Borsari 46; Via Pietro BUCCI, Cubo 17C; Via P. Gobetti, 101, Via Salaria km 29.3- Via U. La Malfa, 153
CAP	98125, 98128; 48018; 80125; 00128, 90153; 50019; 50019, 56124; 80078, 80125, 80055, 95126; 44121; 35127, 35131, 16149, 16145, 23900, 20125; 70126; 00015; 06123, 20133, 20131; 80078; 98158, 70126; 34012; 40129; 87036; 87036; 40129, 00015, 90146

<i>Sede operativa</i>	RSE
<i>Sede (nome riferimento sede operativa)</i>	Milano; Piacenza
Regione	Lombardia; Emilia Romagna
Provincia	Milano; Piacenza
Comune	Milano; Piacenza
Indirizzo	Via Raffaele Rubattino 54; Strada Torre della Razza, Località Le Mose
CAP	20134; 29122

PARTE II – DATI GENERALI DEL PROGETTO

5. Dati progetto

Titolo	Ricerca e sviluppo di tecnologie per la filiera dell'idrogeno
Durata	42 mesi (giugno 2022 - dicembre 2025)

6. Descrizione progetto

6.1 Abstract del progetto

L'obiettivo generale del presente Piano Operativo di Ricerca (POR) è sviluppare attività di ricerca in accordo alla strategia nazionale sull'idrogeno delineata nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) ed in linea con la posizione, diffusa a livello europeo, che identifica nell'idrogeno verde una delle soluzioni prioritarie nel medio termine per la decarbonizzazione del sistema energetico.

Diverse tecnologie e applicazioni per l'idrogeno possono considerarsi potenzialmente mature per l'immissione sul mercato, sebbene siano ancora necessari notevoli sforzi di ricerca e innovazione per migliorarne, in generale, l'efficienza, la durata, la producibilità, le modalità di distribuzione e utilizzo su larga scala, nonché ridurre i costi.

Il ricorso all'utilizzo di materiali meno "critici" rappresenta un tema da affrontare. Si stima, solo a titolo di esempio, che la crescita della produzione di elettrolizzatori e celle a combustibile sarà tale da rappresentare tra il 5% ed il 18% di domanda media annua incrementale rispettivamente di nichel e platino.

La ricerca e lo sviluppo scientifico devono, pertanto, focalizzare l'attenzione sulle azioni necessarie per innovare in modo significativo le attuali tecnologie, garantendo al tempo stesso, un adeguato trasferimento tecnologico.

Il presente progetto di ricerca, sviluppato in sinergia dagli enti di ricerca coinvolti (ENEA, CNR e RSE), intende favorire le interazioni interdisciplinari e multidisciplinari attraverso la messa a comune di conoscenze, competenze, esperienze, infrastrutture e reti di laboratori al fine di contribuire all'incremento di massa critica qualificata e al perseguimento degli obiettivi sfidanti che il PNRR si prefigge nel settore dell'idrogeno.

Il presente POR si articola secondo le seguenti macroaree tematiche, definiti obiettivi:

- **Obiettivo 1:** *Produzione di idrogeno verde e pulito*
- **Obiettivo 2:** *Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels*
- **Obiettivo 3:** *Celle a Combustibile*
- **Obiettivo 4:** *Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno.*

A loro volta, gli obiettivi sono declinati in Work Package (WP) e Linee di Attività (LA) per ciascuna delle quali vengono definiti i TRL di partenza e di arrivo, i risultati attesi in termini di milestones e di deliverable. Le LA hanno nella maggioranza dei casi durata pari a 42 mesi e prevedono, in generale, milestone e deliverable con cadenza annuale.

I macro-obiettivi specifici da perseguire e le relative attività di ricerca sono di seguito sintetizzate. Con riferimento alle **tecnologie per la produzione di idrogeno verde** è necessario svolgere attività di ricerca, oltre che per il miglioramento prestazionale delle attuali tecnologie di elettrolisi, anche per favorire lo sviluppo di tecnologie emergenti. Si parte dal presupposto che la produzione di

idrogeno verde si basa sulla disponibilità di energia rinnovabile, abbondante e a basso costo. L'Italia, ed in generale l'Europa, dispongono di una varietà di fonti di energia rinnovabile (idroelettrica, geotermica, eolica, varie energie solari, biomasse) che, attraverso molteplici tecnologie, alternative e/o complementari all'elettrolisi, possono abilitare una produzione sostenibile di idrogeno verde contribuendo alla decarbonizzazione di alcuni settori ed attivando percorsi virtuosi anche in termini di sviluppo competitivo e fertilizzazione territoriale. Tra queste si possono citare, a titolo di esempio, i processi di reforming integrati con biomasse e fonte solare, la gassificazione delle biomasse, i processi biologici, la scissione fotoelettrochimica dell'acqua, etc.

Tali processi, alternativi e/o complementari all'elettrolisi, potranno assumere, inoltre, un ruolo importante per risolvere le problematiche relative all'intermittenza delle fonti rinnovabili ed accelerare, quindi, la transizione verso un'economia decarbonizzata, offrendo altresì la possibilità di selezionare la tecnologia più idonea in funzione delle specificità delle situazioni e dei territori, nonché delle risorse naturali e rinnovabili disponibili.

Per quanto riguarda la **distribuzione e lo stoccaggio dell'idrogeno**, lo sviluppo delle relative infrastrutture non è ancora adeguato alle esigenze e ciò potrebbe fungere da freno all'adozione diffusa dell'idrogeno e alla creazione di un relativo ecosistema. Lo sviluppo di infrastrutture adeguate e sicure per il trasporto, lo stoccaggio e la distribuzione dell'idrogeno richiede attività di ricerca, sviluppo e innovazione, per affrontare diverse sfide, quali: i) l'iniezione di idrogeno nella rete del gas, ii) l'installazione e l'esercizio di stazioni di rifornimento, iii) lo stoccaggio dell'idrogeno liquido o gassoso a pressioni elevate, iv) l'accumulo sotto forma di altri combustibili, ecc. È, pertanto, fondamentale studiare, sviluppare e caratterizzare soluzioni innovative, anche per applicazioni specifiche, migliorare l'efficienza dei processi produttivi, ottimizzare e massimizzare le performance prestazionali di sistemi e componenti, ricorrere alle tecnologie abilitanti per accrescere, sicurezza, affidabilità, e servizi erogabili, ridurre i costi, etc.

Con riferimento agli usi finali, le **celle a combustibile** rappresentano la tecnologia d'elezione per un uso pulito ed efficiente dell'idrogeno, in diversi ambiti di applicazione, quali il trasporto, i sistemi CHP, il back-up power, etc. Gli obiettivi nel medio-lungo termine sono finalizzati in generale allo sviluppo di nuovi materiali e architetture di stack per ridurre il costo, aumentarne la durata, l'efficienza e l'affidabilità. La ricerca dovrà partire dallo sviluppo ed ottimizzazione dei componenti (le membrane polimeriche, gli elettro-catalizzatori a basso carico di metallo nobile, etc.) fino allo studio di sistemi efficienti, economici e stabili nel tempo, attraverso, ad esempio, la definizione di nuove geometrie di stack, l'analisi fluidodinamica e lo sviluppo di modelli matematici.

Nuove tecnologie abilitanti dovranno essere utilizzate ed integrate nei diversi stadi del ciclo-idrogeno, valutandone adeguatamente la loro applicabilità, ed implementando opportune **strategie di gestione per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture basate sull'idrogeno**. In tal senso, si rende necessario studiare e sviluppare soluzioni avanzate, strategie di controllo e algoritmi di gestione evoluti finalizzati a migliorare l'interoperabilità delle tecnologie e dei dispositivi per la generazione, l'accumulo e l'utilizzo del vettore idrogeno, nonché la sua integrazione nel sistema energetico nel suo complesso.

Inoltre, saranno condotte attività pre-normative di natura trasversale per l'individuazione e la definizione di standard, procedure, protocolli per le diverse tecnologie che consentano di effettuare analisi di tipo tecnico-economico e di validare i nuovi prodotti oggetto della ricerca. In particolare, l'attenzione sarà posta sulle tecnologie di produzione, trasporto, distribuzione e d'uso dell'idrogeno la cui complessità e diversificazione dei processi, impone di definire procedure per la validazione sia della qualità del prodotto sia con riferimento agli aspetti legati alla sicurezza.

Infine, occorre favorire la **divulgazione**, l'**istruzione** e la **formazione** a tutti i livelli per sviluppare un'ampia base di conoscenze e competenze sulle tecnologie dell'idrogeno e sugli usi finali. A riguardo sono previste attività di comunicazione e diffusione degli obiettivi e dei risultati ottenuti, al fine di garantire il massimo impatto nei diversi settori di interesse (ricerca, industria, decisori politici e società civile), sia di formazione che verranno promosse attraverso diversi canali, quali incontri tematici, workshop, percorsi formativi, con cicli di incontri e lezioni sia teoriche/virtuali. Saranno anche organizzate "Summer School" sui temi afferenti alla filiera dell'idrogeno indirizzate a laureati, italiani e stranieri, che hanno iniziato un percorso di specializzazione, come dottorandi, post-doc, e ricercatori, per favorire l'ingresso nel mercato di nuove figure professionali in risposta alla domanda dell'industria nazionale.

Infine, si metteranno a disposizione le infrastrutture "Hydrogen demo Valley" (in fase di realizzazione presso il C.R. ENEA Casaccia), "Smart Grid" (in fase di realizzazione presso il C.R. ENEA di Portici) e "Hydrogen Hub" presso il sito CNR di Capo d'Orlando, finanziate nell'ambito di Mission Innovation, promuovendo visite guidate indirizzate sia ad esperti dell'industria e del settore normativo, sia a studenti di diverso ordine e grado, al fine di contribuire alla formazione di nuovi operatori nel settore dell'idrogeno.

6.2 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte e progressi attesi

La Commissione Europea ha delineato, con la nota comunicazione al Parlamento Europeo nel luglio del 2020, la strategia europea per l'idrogeno alla quale si sono allineati la gran parte degli stati membri. Ciò è stato recepito in Italia dal PNRR con un programma ambizioso e un cronoprogramma ben preciso che fissa obiettivi e target definiti da raggiungere al 2026.

Gli obiettivi più significativi della strategia europea riguardano l'installazione in Europa di elettrolizzatori fino ad una potenza di 40 GW di capacità entro il 2030 e la produzione di idrogeno verde superiore a 10 milioni di tonnellate annue oltre a 40 GW da installare in paesi extra europei utilizzando le tecnologie dell'UE. A livello nazionale occorre perseguire il target di 5 GW di elettrolizzatori installati al 2030 e si prevede una penetrazione dell'idrogeno nel consumo energetico finale di circa il 2 % entro il 2030 con un incremento fino al 20 % entro il 2050 (Linee Guida per la Strategia nazionale sull'idrogeno).

In parallelo al perseguimento degli obiettivi di produzione di idrogeno verde, che rappresenta l'offerta, sarà altresì necessario far leva su tutte le possibili risorse di domanda, siano esse già esistenti o di nuova attivazione. Queste ultime sono rappresentate principalmente dal settore dell'industria *hard to abate*, dal comparto trasporti (mezzi pesanti o flotte su gomma, treni, navi e mezzi aerei) e dal settore termico residenziale.

Ne consegue che gli ambiti tecnologici afferenti alla filiera idrogeno sono numerosi e per favorirne una penetrazione omogenea e diffusa sarà necessario fornire alla comunità di sviluppatori di tecnologie, ai decisori politici e ai diversi stakeholder, strumenti utili per gestire l'ingresso nel mercato di tale vettore energetico. A tal fine, bisognerà definire e diffondere indicatori chiave di prestazione (KPI) che consentano di valutare il progresso delle diverse tecnologie in riferimento agli obiettivi target da raggiungere. I KPI rappresentano, quindi, valori quantitativi e/o benchmark che forniscono riferimenti, linee guida e focus nelle aree di sviluppo delle tecnologie idrogeno considerate cruciali per fornire un contributo al processo della transizione energetica.

In tale ottica il Joint Research Programme on Fuel Cells and Hydrogen technologies di EERA (European Energy Research Alliance) e Hydrogen Europe Research (HER) hanno prodotto un documento in cui sono definiti i KPI di riferimento per la ricerca e lo sviluppo, relativamente alle innovazioni tecnologiche nei diversi ambiti specifici di applicazione [Key Performance Indicators (Kpis) for FCH Research and Innovation, 2020 – 2030, Joint Research Programme on Fuel Cells and

Hydrogen technologies (JP FCH) & Hydrogen Europe Research (HER) Research Grouping of the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), di seguito indicato con EERA FC -HER].

Il documento riporta lo stato dell'arte ed i target di riferimento per le diverse tecnologie affrontate nel presente POR (produzione di idrogeno con processi elettrochimici, termochimici, biologici e assistiti da fonte solare; tecnologie per il trasporto, distribuzione e accumulo di idrogeno, compresi e-fuel e carrier liquidi; celle a combustibile) che sono stati assunti come indicazioni di partenza e di arrivo nella proposizione e declinazione delle attività di ricerca. Si fa presente che il suddetto documento non riporta KPI per alcune delle tecnologie più innovative (es. elettrolisi con membrana a scambio anionico - AEM e a carbonati fusi) poiché considerate ancora non commerciali e mature.

Di seguito, si riporta una sintetica descrizione dei progressi attesi nei diversi ambiti delineati dai quattro obiettivi del progetto.

Produzione di idrogeno verde e pulito

In generale, per promuovere un effettivo avanzamento rispetto allo stato dell'arte nel settore della produzione di idrogeno verde, risulta necessario promuovere lo sviluppo tecnologico e la diffusione di elettrolizzatori alimentati da energia rinnovabile per la produzione di idrogeno verde onshore ed il bilanciamento della rete, aumentare le prestazioni e ridurre i costi per facilitare l'aumento del fattore di scala e di capacità degli elettrolizzatori, sviluppare la produzione di idrogeno rinnovabile offshore, sviluppare nuovi materiali funzionali non critici, ovvero catalizzatori che non contengono metalli preziosi, membrane polimeriche possibilmente di nuova generazione, materiali ceramici non contenenti terre rare.

Lo sviluppo di nuove tecnologie per la produzione di idrogeno verde non dovrà essere limitato soltanto ai processi di elettrolisi, ma in un orizzonte temporale di medio termine, le attività di ricerca dovranno riguardare anche la gassificazione delle biomasse, il biogas, i processi biologici, quelli di fotocatalisi e di fotoelettrolisi. Il documento EERA FC-HER sopra citato definisce, in particolare, anche, lo stato dell'arte ed i target futuri per le tecnologie di produzione di idrogeno "a bassa impronta di carbonio" e con feedstock alternativi, definendone l'efficienza, i costi capitali, la scala di riferimento, la vita utile.

Si tratta, quindi, di sviluppare ad ampio spettro tecnologie promettenti per dimostrare una produzione di idrogeno verde e pulito conveniente e affidabile.

Tra i vari processi di produzione, almeno nel lungo termine, l'elettrolisi dell'acqua alimentata con energia rinnovabile appare come una delle tecnologie più promettenti in termini di sostenibilità e affidabilità, per il suo eccellente comportamento dinamico e la capacità di produrre idrogeno pressurizzato ed estremamente puro (>99,99%). Tra le varie tecnologie di elettrolisi dell'acqua, quella con membrana a scambio protonico (PEMWE) possiede proprietà idonee ad operare in combinazione con la produzione intermittente di energia da fonti rinnovabili. Gli elettrolizzatori PEM mostrano vantaggi rispetto agli elettrolizzatori alcalini tradizionali, come un elevato grado di purezza del gas, alta efficienza, rapido start/stop e ridotto impatto ambientale (nessun ricircolo di elettrolita caustico). Tuttavia, la tecnologia Proton Exchange Membrane Water Electrolysis (PEMWE) opera a pH acido e ciò richiede l'utilizzo di materiali appropriati quali Ir, Pt e Ti con un'adeguata resistenza alla corrosione, ma caratterizzati da costi elevati. L'attuale catena di approvvigionamento dei materiali critici, includendo i metalli preziosi, non è in grado di soddisfare la crescente domanda del mercato e, di conseguenza, il costo potrebbe crescere notevolmente nei prossimi anni. L'obiettivo in questo campo è, pertanto, di ridurre i materiali critici ed aumentare le prestazioni in termini di efficienza (>80% vs HHV) ad alta densità di corrente (>1 A cm⁻²).

Per quanto riguarda l'elettrolisi alcalina, gli elettrolizzatori alcalini ad elettrolita liquido rappresentano una delle tecnologie meno costose e più mature per l'ottenimento di idrogeno verde. Tuttavia, i sistemi di elettrolisi alcalina commerciali hanno condizioni operative piuttosto limitate in termini di densità di corrente ($0,3 \text{ A cm}^{-2}$ a $1,8\text{-}2\text{V}$) ed efficienza energetica che non supera il 70%.

Gli elettrolizzatori AEM con membrana anionica mirano a superare le limitazioni dei sistemi alcalini tradizionali con un approccio che combina i vantaggi delle due tecnologie sopra riportate. I principali problemi per gli elettrolizzatori Anion Exchange Membranes (AEM) sono legati alla bassa stabilità delle membrane a temperature superiori a 60°C ed in presenza di concentrazioni significative di KOH ($>1\text{M}$). Ciò conduce a prestazioni energetiche e stabilità che, in assenza di metalli preziosi, sono ancora lontane da quelle dei sistemi a membrana acida. La ricerca in questo settore è, quindi, orientata ad ottenere migliori prestazioni e maggiore durata mediante l'introduzione di nuove membrane ed elettrocatalizzatori a base di materiali non critici. L'obiettivo è anche di incrementare la pressione fino a 30 bar e la densità di corrente oltre a 1 A cm^{-2} a $1,8\text{-}2 \text{ V}$.

Accanto all'elettrolisi a bassa temperatura, grande interesse ha suscitato negli ultimi anni l'elettrolisi ad alta temperatura basata sull'utilizzo di celle ad ossidi solidi (Solid Oxide Electrolysis Cell - SOEC). Queste sono attualmente costituite da un cermet a base di Ni e materiali ceramici. Tuttavia, il Ni tende ad ossidarsi in presenza di H_2O , alle temperature di esercizio formando NiO con conseguente perdita di conducibilità elettronica. Di conseguenza, nelle celle SOEC convenzionali l'idrogeno è ricircolato nel compartimento catodico. Una possibile soluzione riguarda il ricorso all'adozione di elettrodi alternativi caratterizzati da conducibilità mista (ionica ed elettronica - MIEC), come ad esempio le perovskiti exsolute, mentre una innovazione parallela è rappresentata dalla diminuzione della temperatura di esercizio per ridurre gli effetti di degrado. Ciò richiede, in ogni caso, lo sviluppo di nuovi materiali. Recentemente, le celle basate su elettroliti a conduzione protonica (H-SOEC) rivestono sempre maggiore interesse grazie ad alcuni vantaggi intrinseci, quali una inferiore energia di attivazione per il trasporto protonico, la conseguente diminuzione delle temperature di esercizio e la produzione diretta di idrogeno pressurizzato in forma "dry". Rimane tuttavia inesplorata la possibilità di implementare le prestazioni di cella attraverso una progettazione ad-hoc della sua architettura e della microstruttura degli elettrodi. Per i sistemi di coelettrolisi ad alta temperatura di CO_2 e H_2O sussistono limitazioni analoghe all'elettrolisi di vapor d'acqua ovvero un forte grado di ossidazione e l'agglomerazione del Ni che portano a limitare l'efficienza di cella fino al decadimento dell'intero sistema. Studi recenti sono stati rivolti alla produzione di fasi catodiche a basso contenuto di Ni oppure Ni-free. Gli elettrodi convenzionali possono essere sostituiti da materiali perovskitici caratterizzati da migliore stabilità ai cicli redox. La durata di funzionamento delle SOEC è, inoltre, limitata dalla resistenza meccanica degli strati anodici, sottoposti a forti sovrapressioni generate dalla formazione di ossigeno in fase gas. Per quanto riguarda la co-elettrolisi a bassa temperatura, le principali problematiche riguardano: i) l'utilizzo di materiali critici e di membrane che non impediscono il cross-over di prodotti organici dal catodo all'anodo, ii) la bassa conversione e la scarsa selettività verso specifici prodotti organici carrier di idrogeno. Si ha, quindi, la necessità di sviluppare sistemi di coelettrolisi a bassa temperatura in grado di ottenere combustibili organici rinnovabili possibilmente di natura liquida (es. alcoli, formati etc.) caratterizzati da elevata densità energetica attraverso un processo ad elevata efficienza energetica ($>80\%$) ed elevata selettività ($>70\%$).

Per le applicazioni specifiche dei sistemi di elettrolisi, fino ad oggi lo sviluppo delle tecnologie rinnovabili marine ha avuto un livello di crescita estremamente lento. A riguardo si evidenzia che l'Area mediterranea, ed in particolare l'Italia, potranno giocare un ruolo strategico per il sistema energetico europeo: infatti l'Italia, con oltre 7mila km di costa, possiede un inestimabile

potenziale per una crescita ecosostenibile delle risorse rinnovabili marine. In questo contesto l'elettrolisi a membrana a scambio anionico (AEM) rappresenta una interessante soluzione per l'utilizzo dell'idrogeno in applicazioni off-shore, on-board e in aree portuali. Gli elettrolizzatori ad Ossidi Solidi, operanti ad alta temperatura, risultano, invece, particolarmente promettenti per le applicazioni industriali grazie alle migliori prestazioni in termini di efficienza, alla possibilità di integrazione con fonti rinnovabili termiche, ma soprattutto per la capacità di operare in modalità reversibile. Tuttavia, sia gli elevati costi di produzione che i limiti imposti dalla vite utile di elementi critici, ne hanno limitato, ad oggi, la diffusione e lo sviluppo della tecnologia che rimane ancora a TRL bassi. Specifiche innovazioni sono necessarie in questo settore in termini di materiali ed architetture di celle e stack.

Oltre che dall'acqua, l'idrogeno può essere prodotto dall'elettroreforming di alcoli. Negli ultimi anni, particolare interesse ha suscitato la conversione dell'etanolo, in quanto è ottenibile da biomasse. L'obiettivo è di depolarizzare l'anodo consentendo un risparmio di energia complessiva in un processo carbon neutral.

Un altro settore emergente per la produzione di idrogeno riguarda la fotoelettrolisi dell'acqua ovvero la conversione diretta di energia solare in energia chimica. Tuttavia, le efficienze sono ancora modeste ed è, inoltre, opportuno sviluppare approcci basati su materiali non critici. Attualmente, i sistemi fotocatalitici utilizzano fotocatalizzatori in polvere attivi nell'UV ed operano in configurazione batch. L'efficienza di conversione Solar To Hydrogen (STH) è al 1-2%, con costi elevati e bassa durata. Al contrario le celle tandem di nuova generazione sono in grado di assorbire una elevata porzione dello spettro solare e possono garantire maggiore durata utilizzando membrane anioniche per la separazione gas con l'obiettivo di raggiungere una efficienza STH superiore al 10%.

Per quanto attiene ai processi alternativi all'elettrolisi, notevole interesse viene riposto nei processi di reforming di nuova generazione, alimentati con fonti rinnovabili. Si tratta di una nuova frontiera dell'ingegneria, nella prospettiva della decarbonizzazione, che promuove e studia l'elettrificazione diretta di quei processi industriali particolarmente energivori. Tale soluzione prevede di sostituire le comuni fornaci alimentate con gas combustibile (gas naturale, "off-gas" di processo, ecc.) con riscaldatori elettrici a loro volta alimentati da un mix di sorgenti nel quale prevarrà la componente rinnovabile. Ne risulta un sistema privo di emissioni di gas combustibili, che ben si adatta anche a scenari applicativi per la produzione d'idrogeno verde in ambienti civili e industriali, diversificando le fonti energetiche (in tal caso un mix di elettricità da rinnovabili e biomasse).

In tale contesto, le attività di ricerca proposte hanno come obiettivi l'intensificazione di processo e l'integrazione con la fonte solare diretta o attraverso sistemi di accumulo di calore che consentano di sfruttare al meglio l'energia elettrica rinnovabile quando disponibile a costi più bassi.

Anche i processi biologici costituiscono una frontiera interessante, rappresentando un approccio *carbon neutral* in grado di produrre idrogeno verde in modo continuativo con un basso fabbisogno energetico combinato ad una gestione sostenibile dei rifiuti. Oggi esistono ancora dei limiti tecnici legati principalmente alla bassa resa che occorre massimizzare e stabilizzare attraverso lo studio e l'integrazione dei suoi parametri biotici (comunità microbica, geni/enzimi) e abiotici (controllo elettrochimico, codigestione di substrati, parametri operativi, configurazione reattoristica).

Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels

L'accumulo di idrogeno, elemento essenziale della filiera ed anello di congiunzione tra l'offerta e la domanda, richiede ancora sforzi importanti nella ricerca e sviluppo; l'idrogeno è un vettore

energetico promettente, non è un gas serra, ha alta energia specifica; tuttavia, a causa della sua bassa densità volumetrica (1 kg di idrogeno gassoso occupa 11 m³), il suo stoccaggio efficiente ed economicamente conveniente rimane ancora una sfida da risolvere. Anche in questo caso le tecnologie si differenziano in funzione delle applicazioni specifiche: idrogeno compresso a 700 o 350 bar per la mobilità, idrogeno in carrier liquidi per il trasporto di grandi volumi per grandi distanze. Negli ultimi anni, l'immagazzinamento di idrogeno in solidi porosi (stoccaggio fisico) ed in idruri leggeri a base B/N con alto contenuto gravimetrico di idrogeno (stoccaggio chimico) hanno avuto un'attenzione significativa come alternativa alla compressione in serbatoi ad alta pressione. Materiali porosi quali Metal Organic Frameworks (MOFs), Porous Coordination Cages (PCC) e sistemi a base grafenica (GRAPH) rappresentano classi di materiali adsorbenti in rapida crescita in virtù della loro eccezionale versatilità strutturale e area superficiale modulabili in fase di sintesi, e conseguenti capacità di chemi- e fisi-adsorbimento. In tale contesto attività di ricerca e sviluppo sono necessarie al fine di individuare materiali, soluzioni e componenti idonei per garantire lo storage di idrogeno per le diverse applicazioni e finalità con indici prestazionali ed economici sostenibili in termini di competitività di mercato.

In termini di trasporto dell'idrogeno tramite pipelines, la disponibilità di un'infrastruttura omogeneamente distribuita, è una condizione necessaria, nel lungo termine, per permettere una diffusione capillare dell'idrogeno nei potenziali settori di utilizzo finale, oltre a rappresentare un enorme potenziale di stoccaggio. L'iniezione di idrogeno nelle reti di distribuzione del gas naturale è oggi tecnicamente fattibile; infatti, a seconda delle specifiche tecniche e normative vigenti nei diversi Paesi è possibile ricorrere all'immissione in rete di idrogeno in miscela con GN fino al 20% in volume senza la necessità di interventi di riconversione di gasdotti o apparecchiature. In tutti i casi, le reti esistenti, nel loro complesso e/o i componenti e/o i sottosistemi critici che le costituiscono, devono essere verificati e "adeguati" a gestire in sicurezza e affidabilità il contenuto di idrogeno immesso nella rete. A tal fine, sono necessarie azioni di ricerca e innovazione, quali: (i) tecniche di test per mappare con precisione l'influenza dell'idrogeno sui diversi materiali delle tubazioni; (ii) modelli per valutare l'influenza dell'idrogeno, comprese le miscele, sulla sicurezza; (iii) studi sugli effetti della contaminazione delle reti esistenti sulla purezza dell'idrogeno nel punto di uscita (iv) verifica della risposta metrologica e della potenziale deriva della misura al variare della miscela H₂/GN; (v) tecnologie per limitare l'impatto dell'idrogeno sulla rete esistente utilizzando rivestimenti interni (coating) tramite applicazioni in situ; (vi) monitoraggio del contenuto energetico variabile nel tempo; (vii) sviluppo e adeguamento di strumenti di rilevamento/tracciamento delle perdite in presenza di idrogeno.

Per quanto attiene la distribuzione le stazioni di rifornimento rappresentano un elemento essenziale dell'infrastruttura. Ad oggi, i progetti finanziati in ambito FCH JU hanno consentito la messa in servizio in Europa di 74 stazioni di rifornimento per idrogeno (Hydrogen Refuelling Station - HRS) in prevalenza dedicate al rifornimento di veicoli Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV); tali stazioni non possono essere utilizzate da mezzi pesanti in quanto non rispondenti ai requisiti tecnologici richiesti. Si evidenzia che il numero di HRS installate è in costante crescita, i produttori europei rivestono un ruolo di primo piano a livello mondiale nella fornitura delle HRS.

Tuttavia, sussistono problematiche e criticità da affrontare al fine di rendere le HRS più accessibili per i diversi usi finali: i) i costi delle stazioni di rifornimento sono ancora elevati (sia CAPEX che OPEX) e, pertanto, è necessario sviluppare modelli di business competitivi; ii) la disponibilità delle HRS è attualmente troppo bassa; iii) il permitting e la fase realizzativa hanno tempi troppi lunghi; iv) occorre definire standard, procedure di qualificazione certificazione e regolamentazione; v) il design dell'HRS è fortemente influenzato dai protocolli di rifornimento che devono essere sviluppati congiuntamente con i produttori di veicoli per consentire un rifornimento sicuro e

affidabile; vi) bisogna sviluppare e ottimizzare le HRS per facilitare il ricorso all'idrogeno rinnovabile (ad es. prodotto in loco mediante elettrolisi o biomassa).

Nel contesto descritto è, pertanto, necessario sviluppare modelli per l'ottimizzazione sistematica del dimensionamento dei diversi componenti e sistemi della HRS e condurre studi sulla fattibilità tecnico-economica di HRS a idrogeno verde basate sulla produzione on-site e alimentate da fonti rinnovabili non programmabili (PV e wind) o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel), considerando sia la modalità on-grid sia la modalità off-grid.

Celle a combustibile

Gli usi finali dell'idrogeno, fondamentali per abilitare l'intera filiera, riguardano diversi settori della nostra economia in particolare il settore dell'industria chimica, petrolchimica, e tutto l'ambito *hard to abate*, la mobilità sostenibile, gli impieghi stazionari, civili e non, etc.

Per alcune di queste applicazioni le celle a combustibile rappresentano la tecnologia di riferimento, in grado di fornire energia elettrica e calore in modo totalmente pulito ed efficiente. Le celle a combustibile a bassa temperatura trovano impiego nella mobilità soprattutto nei cosiddetti "Heavy Duty Vehicles", nelle navi, nell'aviazione, nei treni, mentre nel settore stazionario, per applicazioni Combined Heat and Power (CHP), le celle ad ossidi solidi ad alta temperatura offrono vantaggi significativi in termini di efficienza complessiva. Nel sopra citato documento EERA FC - HER, sono riportati i Key Performance Indicator (KPI) allo stato dell'arte ed i target di riferimento futuri per la tecnologia delle celle a combustibile in ciascuno dei suddetti settori, differenziando i valori di riferimento per durabilità, disponibilità, costi di investimento e di manutenzione, efficienza, densità energetica, etc.

In generale, si può, comunque, affermare che la tecnologia delle celle a combustibile ha raggiunto un adeguato livello di competitività commerciale. Uno dei maggiori ostacoli alla sua piena diffusione è, tuttavia, rappresentato dalle prestazioni funzionali e dalle caratteristiche dei catalizzatori e delle membrane che influenzano sia la potenza che l'efficienza delle celle a combustibile. Il Platino (Pt) e le sue leghe sono i catalizzatori più attivi. I catalizzatori a base di Pt non possono essere utilizzati su ampia scala, a causa dei costi elevati e della disponibilità limitata. Negli ultimi anni, sono stati compiuti notevoli sforzi per sviluppare catalizzatori alternativi al Pt, attivi ed a più basso costo, basati su metalli non nobili. Per le celle a combustibile polimeriche, operanti in ambiente acido, si tratta di sviluppare catalizzatori alternativi e membrane in grado di supportare criticità specifiche in termini di funzionamento a temperature intermedie e incremento della durata.

In parallelo, le celle a combustibile a membrana a scambio anionico (Anion Exchange Membrane Fuel Cells – AEMFCs), operanti in ambiente alcalino, hanno recentemente ricevuto una crescente attenzione, in quanto in linea di principio consentono l'utilizzo di catalizzatori non contenenti metalli preziosi con conseguente riduzione dei costi capitali. Vi sono, tuttavia, delle limitazioni che non permettono l'introduzione su larga scala di AEMFCs, quali lo sviluppo di nuovi materiali specifici, come ad esempio materiali ionomerici anionici con stabilità appropriate per il funzionamento ad elevata densità di corrente ($> 1 \text{ A cm}^{-2}$). In parallelo è necessario ottenere stabilità migliori a temperature di funzionamento più elevate (80-95°C).

Di particolare rilevanza è lo studio del comportamento dei nuovi materiali e componenti in stack per validare le prestazioni in condizioni reali, ovvero in ambiente preindustriale o precompetitivo. Ciò garantisce anche di concretizzare l'incremento del Technology Readiness Level (TRL) per le nuove tecnologie sviluppate.

Per l'architettura di stack risulta di grande rilevanza l'approccio utilizzato per assicurare elevata modularità. Ciò si realizza convenzionalmente aumentando in un singolo stack il numero di celle, ma questo vincola l'utilizzo finale del dispositivo ad un range di corrente definito. Si possono

certamente gestire le correnti e le tensioni tramite connessioni in serie o in parallelo dei singoli stack, ma si può incorrere in una complicazione delle connessioni elettriche, fluidiche e del controllo di sistema, tali da rendere la soluzione di difficile applicabilità. L'approccio innovativo è di sviluppare la modularità attraverso la modulazione dell'area attiva dello stack in funzione della corrente e potenza richiesta.

Per le celle reversibili operanti ad alta temperatura, l'elettrolita più utilizzato è zirconia stabilizzata con Ittrio (YSZ) grazie alla sua buona conducibilità anionica e stabilità in esercizio (600-800°C). L'elettrodo per l'ossigeno il catalizzatore di riferimento è il $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ per la sua stabilità. L'elettrodo per l'idrogeno è, invece, a base di Ni per le sue proprietà catalitiche e per basso costo. Lo sviluppo delle celle reversibili ad ossidi solidi (Reversible Solid Oxide Electrolyser - rSOC) è rallentato dall'attuale ridotta affidabilità e durabilità dei materiali e dei componenti nelle condizioni di esercizio. Tra i nuovi materiali, gli ossidi basati su perovskiti e SrFeO_3 mostrano interessanti caratteristiche per l'applicazione come elettrodi per celle reversibili ed in particolare per celle simmetriche, grazie alla presenza della coppia $\text{Fe}^{4+}/\text{Fe}^{3+}$, fondamentale nei processi catalitici ed elettrocatalitici. Le proprietà di questi composti possono essere facilmente modificate attraverso l'introduzione di diverse tipologie e quantità di droganti sia nel sito A che nel sito B, che ne stabilizzano la struttura, le proprietà redox e la conducibilità (ad esempio LSCFO).

Gli elettrolizzatori rigenerativi operanti a bassa temperatura, basati su tecnologia Proton Exchange Membrane (PEM) e AEM, sono in grado convertire l'energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile in idrogeno e ossigeno e di produrre alternativamente energia elettrica tramite una combustione elettrochimica che impiega idrogeno e ossigeno in sistemi a ciclo chiuso con applicazioni emergenti in termini di back-up power. Attualmente la ricerca su questa tipologia di dispositivi è limitata ad alcuni esempi di celle singole. I punti di maggiore criticità riguardano l'efficienza e la stabilità dei catalizzatori bifunzionali. La struttura dell'elettrodo e lo sviluppo di membrane più performanti sono i maggiori temi di interesse scientifico. In questo contesto, le fasi di fabbricazione dei MEA (Membrane Electrode Assembly) e le condizioni operative delle celle possono influenzare largamente le prestazioni dei dispositivi. Sono necessari sviluppi specifici per consentire di mitigare le criticità e favorire la scalabilità.

In generale, occorre ricerca e sviluppo per favorire la riduzione drastica dei costi, agendo su fattori tecnologici quali l'incremento della densità di potenza, la riduzione della quantità di catalizzatori nobili utilizzati o sostituzione del catalizzatore nobile con materiali meno costosi, l'ottimizzazione e automazione del processo produttivo.

in senso ampio a livello di ambiente portuale, presenta una maturità tecnologica inferiore rispetto al settore automotive, nel quale diverse case automobilistiche hanno già da anni introdotto sul mercato modelli di automobili a celle a combustibile alimentate ad idrogeno. L'applicazione di tale tecnologia nel settore navale richiede un'approfondita conoscenza delle specifiche problematiche come la compatibilità dei materiali e l'individuazione degli aspetti critici del settore imputabili alle condizioni di installazione a bordo (vibrazioni) ed ai parametri fisici che ne influenzano il degrado come l'umidità, la temperatura e la forte concentrazione salina contenuta nell'ambiente marino. Si rendono necessarie indagini sui materiali con test specifici per valutare e validare le performance finali dei prototipi appositamente progettati per rispondere ai bisogni delle applicazioni navali in termini di robustezza meccanica e resilienza alla corrosione in ambiente salino.

Con riferimento al settore del trasporto pesante su gomma la commercializzazione di tali mezzi è ancora in una fase limitata; oggi non è facile reperire fornitori sul mercato in grado di produrre un'offerta commerciale. Sono, pertanto, ancora necessarie azioni di ricerca per lo sviluppo di: i) materiali, componenti, moduli e stack con migliori indici prestazionali (efficienza, durabilità, etc.)

e costi ridotti; ii) procedure per la standardizzazione e la modularità dei componenti; iii) interfacce e protocolli per le operazioni di rifornimento.

Nel settore ferroviario, l'Europa ha assunto una posizione di leadership nella produzione dei treni con celle a combustibile. Tuttavia, sussistono ancora delle criticità da superare per accelerarne la diffusione: i) ridurre il costo delle celle a combustibile; ii) migliorare l'affidabilità e la durata dello stack; iii) incrementare la potenza erogata riducendo il peso e le dimensioni del modulo; iv) ottimizzare la progettazione dei treni e standardizzare le procedure di sicurezza.

Nel settore dell'aviazione, le celle a combustibile SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) sono state sviluppate per essere alimentate con idrogeno e gas naturale. Seppur esistono diversi studi per l'utilizzo di combustibili liquidi alternativi ai combustibili fossili quali ammoniaca (carbon-free hydrogen carrier) e alcoli, molto resta da fare per lo sviluppo di sistemi che utilizzino tali combustibili, ed in particolar modo per applicazioni in Aeronautica Civile (dove vengono richiesti specifici e stringenti limiti all'adozione di nuove tecnologie e combustibili). Allo stato dell'arte sono in fase di sviluppo sistemi di propulsione aeronautica basate sull'utilizzo dell'idrogeno sia in motori aeronautici che in sistemi Proton-Exchange Membrane Fuel Cells (PEFC). L'obiettivo è di utilizzare in questo settore carrier liquidi di idrogeno come glicole etc.

Nel percorso di transizione verso una decarbonizzazione completa al 2050, è alquanto importante sviluppare tecnologie in grado di garantire flessibilità riguardo il fuel alimentato, ad esempio il mix di idrogeno e gas naturale, gli alcoli etc. Le attuali celle commerciali sono alimentate soltanto a idrogeno e syngas privi di zolfo. La possibilità di impiego di combustibili più complessi, come i biocombustibili a basso peso molecolare (gas naturale, biometano, bioetanolo), risulta strategica in quanto non sono richieste nuove infrastrutture per la distribuzione dei carburanti e tali combustibili sono caratterizzati da elevata accettazione ambientale. Tuttavia, i problemi connessi alla durata di funzionamento dei dispositivi basati su celle SOFC è un tema non ancora pienamente risolto. L'obiettivo è di dimostrare celle innovative che permettano di raggiungere la flessibilità richiesta nell'uso combinato di combustibili organici e di idrogeno.

Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno

La transizione verso un sistema energetico basato sull'idrogeno rappresenta un radicale passaggio a un nuovo sistema energetico che includa anche le tecnologie digitali al fine di garantire l'interoperabilità delle diverse reti e infrastrutture energetiche, abilitando di conseguenza una gestione ottimizzata e coordinata dei vettori. Negli ultimi anni, la ricerca nel settore dell'idrogeno si è prevalentemente focalizzata sugli aspetti tecnologici connessi alla sua generazione ed accumulo, e solo recentemente sono stati intrapresi studi volti ad indagare le problematiche connesse alla sua integrazione nelle reti energetiche. Pertanto, sono richieste attività di ricerca e sviluppo nel settore della gestione delle infrastrutture complesse e digitali basate sull'idrogeno, per avanzare dall'attuale livello di maturità di concept tecnologico, alla disponibilità di metodologie, modelli e prototipi validati sperimentalmente, propedeutici ad una successiva definizione e qualificazione completa del sistema.

Con il diffondersi di numerosi impianti di generazione a fonte rinnovabile non programmabile e di tecnologie Power-to-X, per l'accoppiamento tra i diversi vettori energetici, diviene fondamentale intervenire sul sistema energetico con l'integrazione di tecnologie in ottica Smart Energy System. Lo Smart Energy System è l'applicazione ai sistemi multienergetici del concetto di Smart Grid, in cui lo scambio di dati svolge un'azione fondamentale per garantire i flussi energetici, grazie all'utilizzo e l'applicazione delle tecnologie digitali e di comunicazione alla rete elettrica.

I dimostratori disponibili a livello nazionale ed internazionale che consentono attualmente la sperimentazione di nanoreti e microreti smart sono generalmente test bed di Smart Grid

elettriche, non focalizzati sulle problematiche di gestione energetica integrata multi-vettore. Allo stato dell'arte, infatti, la sperimentazione su questo tipo di sistemi si limita ad esperienze di ricerca condotte in ambiente di simulazione e/o mediante apparati di emulazione di laboratorio. Con tali premesse, è possibile affermare che la tematica dei sistemi energetici multi-vettore (es. Termico-elettrico) si colloca attualmente su un livello che richiede ricerca e sviluppo. Ancora meno esplorate, sia in ambito nazionale che internazionale, risultano le reti energetiche integrate multi-vettore (termico-elettrico-gas). Tali sistemi, attraverso l'impiego di opportune tecnologie di interfaccia (pompe di calore, elettrolizzatori, fuel cells cogenerative, etc.) e di meccanismi di gestione e controllo più complessi, favorirebbero il migliore sfruttamento della generazione da FER, al contempo contenendo le necessità di potenziamento delle infrastrutture fisiche di rete e facilitando il raggiungimento dei target di decarbonizzazione.

Le potenzialità di sfruttamento delle rinnovabili crescono notevolmente, in particolare, se si prende in considerazione la rete di distribuzione del gas ed i sistemi Power to Gas (P2G). La gestione sinergica della domanda e della generazione di tre infrastrutture permette potenzialmente una gestione del trasporto e dell'accumulo dei diversi vettori energetici su molteplici scale temporali, anche stagionali. Tale considerazione può avere un particolare rilievo in Italia dove la rete gas è molto capillare e la domanda di gas consistente. Lo sfruttamento della infrastruttura gas in maniera distribuita richiede di fatto l'adozione del vettore idrogeno. Tale vettore, sfruttato puro o in miscela con il gas naturale, può essere, infatti, distribuito e/o accumulato.

Se da un lato le reti elettriche e le reti del calore, prese singolarmente, presentano alti livelli TRL, l'utilizzo dell'idrogeno, anche in miscela col gas naturale, è ad un TRL molto più basso e sono, di conseguenza, necessari importanti sforzi in ambito di ricerca. Allo stato dell'arte, quindi, per accelerare la transizione verso sistemi energetici ibridi e multi-vettore diviene fondamentale sperimentare soluzioni avanzate per la transizione verso reti energetiche smart, in grado di abilitare l'integrazione tra i diversi vettori energetici favorendo l'interoperabilità e la comunicazione tra i molteplici attori/apparati del sistema energetico (consumo, generazione da FER, accumulo, etc.).

6.3 *Eventuali collegamenti con progetti rilevanti relativamente alle attività previste nel progetto*

Le iniziative avviate nell'ambito del FP7 e H2020 relative all'idrogeno ed alle celle a combustibile (FCH JU) hanno svolto un ruolo importante nella strutturazione e nella mobilitazione di un panorama, altrimenti frammentato, di diversi settori e industrie potenzialmente coinvolgibili nella filiera idrogeno, condividendo obiettivi chiari e strutturati che hanno favorito l'innovazione tecnologica di alcune delle tecnologie. Durante questo periodo, il mercato europeo dell'idrogeno si è notevolmente ampliato, creando leader tecnologici dell'UE nei settori degli elettrolizzatori, delle stazioni di rifornimento di idrogeno (HRS) e delle celle a combustibile.

ENEA, CNR ed RSE coordinano e partecipano a numerosi progetti afferenti alle suddette iniziative, con il duplice obiettivo di dare il proprio contributo in termini di ricerca e innovazione, nonché di accrescere ulteriormente le proprie competenze ed esperienze nel settore.

Nel seguito si elencano alcuni dei progetti europei a partecipazione ENEA e/o CNR.

ENEA

AD ASTRA (HARnessing Degradation mechanisms to prescribe Accelerated Stress Tests for the Realization of SOC lifetime prediction Algorithms); SO-FREE (Solid oxide fuel cell combined heat and power: Future-ready Energy); PROMETEO (Hydrogen PROduction by MEans of solar heat and power in high TEMperature Solid Oxide Electrolysers); BLAZE (Biomass Low cost Advanced Zero Emission small-to medium scale integrated gasifier-fuel cell combined heat and power plant); Waste2Watts (Unlocking unused bio-WASTE resources with loW cost cleAning and Thermal

inTegration with Solid oxide fuel cells); Waste2Grids (Converting WASTE to offer flexible GRID balancing services with highly-integrated, efficient solid-oxide plants); qSOFC (Automated mass-manufacturing and quality assurance of Solid Oxide Fuel Cell stacks); HyLAW (Identification of legal rules and administrative processes applicable to Fuel Cell and Hydrogen technologies' deployment, identification of legal barriers and advocacy towards their removal), BALANCE (Increasing penetration of renewable power, alternative fuels and grid flexibility by cross-vector electrochemical processes); NELLHI (New all-European high-performance stack: design for mass production); SOCTESQA (Solid Oxide Cell and Stack Testing, Safety and Quality Assurance); INNOSOFC (Development of innovative 50 kW SOFC system and related value chain); SCoReD 2.0 (Steel Coatings For Reducing Degradation in SOFC); COMETHY (Compact Multifuel-Energy To Hydrogen converter); ASCENT (Advanced Solid Cycles with Efficient Novel Technologies); MCFC-CONTEX (MCFC catalyst and stack component degradation and lifetime: Fuel Gas CONTaminant effects and EXtraction strategies); e-SHyIPS (Ecosystemic knowledge in Standards for Hydrogen Implementation on Passenger Ship); H2Ports (Implementing Fuel Cells and Hydrogen Technologies in Ports); FuelSOME (Multifuel SOFC system with Maritime Energy vectors).

CNR

H2020 FCH JU ANIONE - Anion Exchange Membrane Electrolysis for Renewable Hydrogen Production on a Wide-Scale; H2020 FCH JU HPEM2GAS - High Performance PEM Electrolyzer for Cost-effective Grid Balancing Applications; H2020 GREEN DEAL ECO2FUEL LARGE-SCALE LOW-TEMPERATURE ELECTROCHEMICAL CO₂ CONVERSION TO SUSTAINABLE LIQUID FUELS; H2020 FCH JU NEPTUNE - "Next Generation PEM Electrolyser under New Extremes; H2020 FotoH2 - "Innovative Photoelectrochemical Cells for Solar Hydrogen Production; FP7 FCH JU Project Electrohypem - "Enhanced performance and cost-effective materials for long-term operation of PEM water electrolyzers coupled to renewable power sources; FP7 FCH JU Project Duramet - "Improved Durability and Cost-effective Components for New Generation Solid Polymer Electrolyte Direct Methanol Fuel Cells.

RSE ha iniziato negli anni '80, ex CISE ed ENEL Ricerca, attività di studio su sistemi basati sulle celle a combustibile fino al 2007. Dal 2008, causa l'esclusione di queste tematiche dalla Ricerca di Sistema, questi studi sono stati sospesi. Tuttavia, RSE ha continuato a svolgere attività sulla normativa IEC/CEI TC 105 a cui partecipa tuttora: HYDROSTORE (Sviluppo sistemi innovativi d'accumulo dell'idrogeno); FCTEDI (Fuel Cell Testing and Dissemination); MOCAMI (Innovative Cost-Effective Hybrid system Based on Integration of a MCFC and a Gas Turbine for High Efficiency Dispersed CHP Generation).

Diverse iniziative internazionali, europee e nazionali sono state avviate per affrontare la sfida dell'idrogeno: il Cluster 5 "Clima, energia e mobilità" di H2020, il nuovo programma quadro di ricerca e innovazione dell'UE che investirà 15 miliardi di euro nel periodo 2021-2027 in energia pulita, "Mobilità e scienze del clima" con 1 miliardo di euro per la Clean Hydrogen Joint Undertaking, con il contributo di un ulteriore miliardo da parte dell'industria. Questa partnership si concentrerà sulla produzione di idrogeno rinnovabile, ma anche sulla trasmissione, distribuzione e stoccaggio dell'idrogeno, insieme ai trasporti e ad altre tecnologie di uso finale, con l'obiettivo di rafforzare la cooperazione tra i diversi settori industriali coinvolti e le comunità scientifiche.

Tutte le tematiche oggetto del POR sono perfettamente in linea con i progetti relativi alla Clean Hydrogen Partnership, che vede la partecipazione dei tre enti ENEA, CNR e RSE, anche grazie alle collaborazioni costruite negli anni con industrie, Organismi di Ricerca (OdR) ed Università Europee. Tra le iniziative europee di rilievo è da citare l'IPCEI (Important Projects of Common European Interest) sull'idrogeno, nell'ambito del quale la wave "Technology" incentrata sulle tecnologie abilitanti relativi alla catena del valore dell'idrogeno è in fase di notifica da parte della

Commissione europea. L'Italia è presente con 8 progetti afferenti ai seguenti partner: Fincantieri, Snam, Iveco, Enel Green Power, Ansaldo Energia, Alstom Ferroviaria, ENEA, FBK. Il progetto ENEA ha l'obiettivo di sviluppare 4 pilot lines relative rispettivamente alla filiera degli elettrolizzatori, delle celle a combustibile, dei sistemi di storage e alle applicazioni nella mobilità.

A livello mondiale è da evidenziare Mission Innovation 1.0, iniziativa globale cui aderiscono 24 Paesi e la Commissione Europea (in rappresentanza dell'UE) che lavora per accelerare l'innovazione dell'energia pulita e trae forza da investimenti pubblici e dal sostegno aziendale nella ricerca di nuove tecnologie per la decarbonizzazione. Nell'ambito di Mission Innovation il Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) ha finanziato con 35,8 milioni di euro un programma triennale di R&D&I che vede la partecipazione di ENEA, CNR e RSE. In particolare, è stato predisposto un Piano Operativo delle Attività (POA) incentrato su tre aree tematiche che opera su valori medio-alti di TRL: Smart Grid, idrogeno e materiali avanzati per l'energia afferenti rispettivamente alle Challenges #8 (Renewable and Clean Hydrogen), #1 (Smart Grids) e #6 (Clean Energy Materials) di Mission Innovation 1.0. In tale contesto, ENEA realizzerà presso il proprio C.R. Casaccia una "Hydrogen demo Valley", con l'obiettivo di dimostrare su scala reale la fattibilità, la funzionalità, la sostenibilità, la resilienza e la sicurezza di un ecosistema basato sull'idrogeno, e presso il proprio C.R. Portici un dimostratore di microrete multi-vettore che prevede l'integrazione di alcune delle tecnologie afferenti alla filiera idrogeno.

Presso Capo d'Orlando (ME), il CNR potenzierà la propria infrastruttura di piccola scala, già disponibile, incentrata sulla mobilità a idrogeno verde prodotta da fotovoltaico per un minibus e alcune biciclette a pedalata assistita alimentate ad idrogeno, implementando e integrando nuove tecnologie per l'idrogeno per possibili applicazioni in ambiente civile.

Nel contesto delle iniziative di dimostrazione sopra descritte, si procederà alla progettazione e realizzazione delle infrastrutture ed alla sperimentazione in campo, su scala significativa, di dispositivi, componenti e prototipi caratterizzati da tecnologie in fase commerciale o pre-commerciale per accrescere ulteriormente il valore del TRL e favorire l'industrializzazione delle tecnologie, prodotti, sistemi e servizi sviluppati.

Il progetto sui materiali avanzati per l'energia, rivolto a diversi sistemi e tecnologie energetiche, prevede, tra le altre, anche attività specifiche rivolte ai materiali per l'elettrolisi. L'obiettivo generale del progetto è definire approcci, procedure, modelli e sistemi, per una ricerca accelerata ed automatizzata dei materiali.

Inoltre, nella cornice della riunione ministeriale (MI6) del luglio 2021 è stata lanciata ufficialmente la nuova fase denominata "Mission Innovation 2.0", a cui l'Italia ha aderito. Tale lancio è stato accolto con grande ottimismo per gli ambiziosi traguardi che si pone e per la significativa partecipazione dei paesi membri. L'adesione dell'Italia si inserisce nel coinvolgimento attivo del Paese nell'accelerare la transizione energetica e del ruolo cruciale che riveste l'iniziativa nella progressiva riduzione delle emissioni di CO₂. Una novità di rilievo è costituita dalla creazione di nuove 6 Mission che andranno a sostituire le 8 Innovation Challenges, attraverso fusioni e integrazioni delle aree tematiche di ricerca. Nel corso di MI6 sono state lanciate le prime 3 Mission: Power, Clean Hydrogen, Shipping. ENEA, CNR e RSE sono coinvolti nella Mission Clean Hydrogen a supporto del Ministero della Transizione Ecologica, sia per la definizione del programma di ricerca sia per il coinvolgimento delle filiere industriali e manifatturiere di settore ed indotto.

A livello nazionale, sui temi della ricerca sull'idrogeno, ENEA, CNR e RSE collaborano allo sviluppo di nuove tecnologie legate alla filiera dell'idrogeno, con particolare riferimento alle applicazioni Power to Gas, nell'ambito del Piano Triennale della Ricerca 2019-2021 (PTR) finanziato con i fondi della "Ricerca sul Sistema Elettrico" (RdS) nel quadro dell'Accordo di Programma dal MiTE (ex MiSE) ed ENEA. Il nuovo Piano Triennale della Ricerca 2022-2024, in corso di predisposizione,

prevede un progetto integrato idrogeno, con la partecipazione di ENEA, CNR e RSE per attività di ricerca e sviluppo su tecnologie idrogeno più direttamente coinvolte nel sistema rete elettrico (ad esempio sistemi P2G e turbomacchine alimentate ad idrogeno per bilanciamento rete).

6.4 Obiettivi e risultati attesi

Per i suoi molteplici usi possibili, l'idrogeno svolgerà un ruolo chiave in una futura economia climaticamente neutra, abilitando trasporti, processi industriali privi di emissioni e riscaldamento nel settore residenziale e civile, nonché lo stoccaggio di energia di tipo stagionale. Per sottolinearne l'importanza e facilitare l'aumento delle applicazioni dell'idrogeno, la Commissione europea ha adottato nel 2020 la nota strategia dell'UE sull'idrogeno, con l'obiettivo di accelerare lo sviluppo di idrogeno pulito. Per raggiungere questo obiettivo, la strategia sottolinea la necessità di incrementare la competitività dell'idrogeno rispetto ad altri vettori energetici, e pone l'accento sulla ricerca e innovazione. Concentrandosi sulla ricerca e l'innovazione il Consiglio e il Parlamento europei hanno istituito la Clean Hydrogen Joint Undertaking che avrà un ruolo di primo piano nelle attività di ricerca relative all'idrogeno indirizzate specificamente verso i seguenti ambiti: principalmente produzione di idrogeno pulito, applicazioni di distribuzione, stoccaggio e usi finali. Gli obiettivi del POR proposto sono perfettamente in linea con le indicazioni europee e mirano ad ottimizzare le tecnologie esistenti, rendendole competitive, nonché a svilupparne delle nuove. In particolare, il progetto è organizzato secondo i seguenti obiettivi, che rispondono a pieno agli asset prioritari delineati dalle agende strategiche europee e nazionali in tema di idrogeno:

Obiettivo 1 - Produzione di idrogeno verde e pulito

Obiettivo 2 - Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels

Obiettivo 3 - Celle a Combustibile

Obiettivo 4 - Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno

Con riferimento all'*obiettivo 1*, il progetto punta al miglioramento delle tecnologie esistenti soprattutto per la riduzione dei costi e l'aumento dell'efficienza. La tecnologia d'elezione per la produzione di idrogeno, in accordo a strategie e roadmap europee e nazionali, è l'elettrolisi. Saranno, quindi, oggetto di ricerca e sviluppo le differenti tecnologie di elettrolisi, caratterizzate da diversi livelli di maturità tecnologica (Alkaline Electrolyzer - AEL, PEM, SOEC, Molten Carbonate Electrolyzer - MCE). Le attività rivolte all'elettrolisi saranno affiancate dallo studio e lo sviluppo di altri processi e sistemi che sfruttano la luce solare diretta come la dissociazione termica dell'acqua, utilizzando l'energia solare concentrata o attraverso la fotocatalisi, la dissociazione della biomassa, la conversione del biogas e i processi biologici.

Per quanto attiene all'*obiettivo 2*, come esplicitamente menzionato nella strategia dell'UE sull'idrogeno, è essenziale che l'idrogeno entri a far parte del sistema energetico integrato. Affinché ciò avvenga, l'idrogeno dovrà avere un ruolo rispetto allo stoccaggio giornaliero e/o stagionale delle energie rinnovabili. La strategia sottolinea anche la necessità di un'infrastruttura distribuita per trasportare l'idrogeno da aree con un grande potenziale rinnovabile ai centri dove è concentrata la domanda. Inoltre, per favorire l'introduzione dell'idrogeno anche nel settore dei trasporti bisognerà favorire lo sviluppo di sistemi di accumulo idonei alle applicazioni specifiche e alla diffusione della infrastruttura di distribuzione. Il progetto prevede allo scopo un approccio pluralistico rispetto alle diverse tecnologie e sistemi che saranno studiati, sviluppati e validati per disporre di una serie completa di soluzioni che possano fungere da elementi costitutivi dell'infrastruttura logistica di accumulo, trasporto e distribuzione dell'idrogeno.

Con riferimento agli usi finali, le celle a combustibile, *obiettivo 3*, sono riconosciute come la tecnologia d'elezione per un uso sostenibile, pulito ed efficiente dell'idrogeno. Le celle a combustibile avranno, infatti, un ruolo fondamentale nella diffusione dei veicoli ad idrogeno e nella decarbonizzazione dei settori della produzione di energia e del riscaldamento. Gli sviluppi tecnologici finora raggiunti non sono sufficienti per garantire una diffusione su larga scala. Le attività proposte si pongono l'obiettivo di intervenire soprattutto sulla riduzione dei costi e sull'aumento della durabilità, per rendere le celle a combustibile competitive con le tecnologie esistenti.

Al fine di rendere il vettore idrogeno utilizzabile, nelle sue potenziali applicazioni (es. combustibile, stoccaggio di lunga durata, etc.), in infrastrutture energetiche multi-vettore, si rende necessario lo studio e lo sviluppo di modelli, metodologie e tecnologie per lo smart management delle reti basate sull'idrogeno e/o che prevedono la sua integrazione. In tale ottica, le attività dell'*obiettivo 4*, si pongono come target principale lo sviluppo di tecnologie digitali che operino per rendere le reti basate sul vettore idrogeno integrabili e interoperabili con gli altri sistemi energetici, ottimizzandone l'esercizio e contribuendo ad accrescerne la competitività rispetto ad altri sistemi energetici convenzionali.

La commercializzazione di massa delle tecnologie basate sull'idrogeno presenta, infine, una serie di sfide sistemiche (o orizzontali) che devono essere comunque affrontate per avviare efficacemente un ecosistema dell'idrogeno di dimensioni significative. Le attività trasversali sono strutturate intorno a tre aree di interesse principali (i) Sostenibilità; (ii) Educazione e sensibilizzazione del pubblico; e (iii) Processi di standardizzazione. I temi suddetti sono affrontati in ognuno degli obiettivi previsti nel progetto.

Le innovazioni raggiunte alla fine del progetto, mantenendo il punto di vista generale della riduzione dei costi, potranno consentire applicazioni rilevanti dell'idrogeno nell'industria, nella mobilità sostenibile, nei settori residenziali e civile, oltre a promuoverne l'accettazione sociale.

6.5 TRL progetto

Le attività del presente POR riguardano, a largo spettro, la filiera dell'idrogeno con obiettivi che mirano in prospettiva sia al medio che al lungo termine (TRL2-5). In particolare, saranno studiate ed investigate le tecnologie ed i processi inerenti alla produzione, lo stoccaggio, il trasporto e gli usi finali dell'idrogeno verde e pulito. Il TRL di partenza per molte delle tecnologie proposte è pari a 2 e riguarda "proof of concept" realizzati in laboratorio. Per quasi tutte le tecnologie si parte dallo sviluppo di materiali innovativi (TRL2) con l'obiettivo di effettuare la validazione in cella per le tecnologie elettrochimiche e in microreattori per i processi termochimici, e di analizzare le prestazioni e la stabilità in dispositivi in laboratorio su piccola scala. Ciò consentirà di dimostrare la tecnologia a TRL3. Nell'ultima fase del progetto, si effettuerà uno scale-up dei dispositivi di laboratorio che verranno testati in condizioni simili all'applicazione permettendo di validare gli obiettivi di performance e durata previsti (TRL4-5).

Nel campo dell'elettrolisi, l'avanzamento da conseguire consiste in un aumento significativo della densità di corrente e della pressione, mantenendo, al contempo, le caratteristiche di efficienza richieste. Nel corso dell'ultimo anno di attività, i dispositivi saranno testati in condizioni rappresentative del funzionamento intermittente caratteristico delle energie rinnovabili, simulando, quindi, le condizioni di integrazione con la rete elettrica (TRL4-5). Di particolare interesse è lo sviluppo di processi per il comparto navale, per applicazioni off-shore, on-board e in aree portuali. Ciò riguarda sia il settore dell'elettrolisi che delle celle a combustibile (TRL4-5). L'incremento di TRL da perseguire per i processi di gassificazione di biomassa per la produzione di idrogeno si basa sull'integrazione in laboratorio di stadi di processo già investigati singolarmente, quali: trasformazione chimica, upgrade, trasporto e separazione, con l'utilizzo di

catalizzatori di nuova concezione che incrementino la selettività a idrogeno. Partendo da catalizzatori in polvere investigati su microscala, si ottimizzeranno i dispositivi per utilizzarli su scala maggiore, verificandone le prestazioni e dimostrandone le principali proprietà innovative. Per altri processi termochimici, l'incremento di TRL riguarderà lo sviluppo di nuovi catalizzatori eterogenei a basso contenuto di metalli nobili, attivi e stabili nella conversione a idrogeno di molecole modello per composti biogenici in fase liquida. L'incremento di TRL per la produzione di bio-H₂ richiede una migliore comprensione sia degli aspetti metabolici di base sia dell'interazione tra cellula e mezzi di coltura, così come di innovazioni impiantistiche (TRL da 2 a 3). Un ulteriore passo in avanti del TRL (da 3 a 4) sarà effettuato sviluppando e validando in laboratorio bioreattori e materiali di immobilizzazione stimuli-responsive, che potranno migliorare ulteriormente rese e produttività.

Nell'attività sui materiali per fotoelettrodi, l'aumento di TRL avverrà mediante il passaggio dalla simulazione delle proprietà fotofisiche alla loro misura sperimentale, e successivamente attraverso l'utilizzo effettivo di tali specie in dispositivi fotoelettrochimici e fotocatalitici su piccola scala.

L'incremento di TRL nei processi di steam/dry reforming di biogas si otterrà attraverso l'allestimento di appositi banchi prova e lo sviluppo di reattori prototipali, dalla modellazione, sino alla dimostrazione della fattibilità reale circa la produzione di idrogeno decarbonizzato a partire dalla formulazione di biogas/biomasse/syngas (TRL4).

Nel settore delle celle a combustibile, l'incremento del TRL consentirà di convalidare, attraverso l'esecuzione di test di laboratorio, i risultati ottenibili da uno stack innovativo di potenza compresa tra 3 e 5 kW sia in termini di prestazioni che di sicurezza (TRL4). L'individuazione dei materiali idonei all'utilizzo in questo tipo di applicazione rappresenterà un importante passo in avanti al fine di superare le difficoltà dell'attuale tecnologia di stack. Nel medio-lungo termine, l'incremento di TRL consentirà di ottimizzare la componentistica di stack per garantirne la prestazione elettrochimica nel tempo assicurando maggiori standard di sicurezza.

In generale, le celle a combustibile sono state sviluppate per essere alimentate con idrogeno o syngas o gas naturale, ma risulta ancora limitata l'alimentazione di carrier di idrogeno quali ammoniac e bioalcoli. Le attività di ricerca proposte mirano a sviluppare e implementare soluzioni ingegneristiche volte allo sviluppo di un proof-of-concept di fuel cells alimentate con combustibili liquidi con specifiche caratteristiche per applicazioni aeronautiche (aviazione generale e Unmanned Aerial Vehicle - UAV) e la caratterizzazione in laboratorio con specifiche condizioni rappresentative di reali missioni d'uso con il conseguente raggiungimento di TRL4.

L'iniezione di idrogeno in percentuali via via crescenti nella rete del gas naturale (blending H₂/NG) richiede lo studio di diverse problematiche di differente natura. Le miscele di H₂/NG presentano, infatti, una gamma più ampia di condizioni di accensione, una maggiore volatilità e possono causare infragilimento di alcuni metalli. Pertanto, gli aspetti legati alla sicurezza devono essere opportunamente valutati. La presenza di idrogeno, inoltre, influisce direttamente sulle proprietà termodinamiche del gas (densità, potere calorifico, indice di Wobbe, velocità del suono, etc.), con conseguenti cambiamenti nelle prestazioni metrologiche degli strumenti di misura del volume e della qualità del gas. Attività relative allo sviluppo di componenti per le reti (metering, sensori, elementi di tenuta, coating, etc.) saranno oggetto del presente piano di ricerca, con TRL di inizio da 2 a 4 a seconda che si sviluppi un elemento innovativo o si parta da prodotti commerciali con l'obiettivo di "adeguarli" alle nuove esigenze (retrofitting). Il TRL di arrivo è generalmente pari a 5.

Nel settore della digitalizzazione l'attività di ricerca proposta riguarda le tematiche di base, con un'evoluzione del TRL da 1-2 fino a raggiungere un livello di maturità tecnologica 3-4, cioè ad un proof of concept da laboratorio e validazione di sistemi per energy management in specifici casi

studio di interesse. Per alcuni modelli, la validazione di dati prototipali sarà effettuata su dati provenienti da contesti realistici, portando il TRL a 5.

Partendo da nuove tecniche innovative di energy management, si intende sviluppare un sistema di gestione di elettrolizzatori da testare in laboratorio. Lo studio delle caratteristiche di base, dei concetti e il design (TRL2) di framework data-driven verranno applicati all'implementazione ed alla validazione di soluzioni hardware e software (TRL4). La definizione delle specifiche e dei requisiti per l'interfacciamento di sistemi e dispositivi di rilevanza nel management delle reti ad idrogeno (TRL2) consentirà lo sviluppo e l'implementazione di interfacce software modulari standardizzate (TRL4). Le interfacce di integrazione saranno utilizzate per la generazione di dati, anche simulati (TRL3), ed applicate a modelli di intelligenza artificiale (AI) predittivi, con un incremento di TRL fino a 5. Lo studio di fattibilità di digital twin (TRL2) verrà esteso alla validazione di dati prototipali e potenzialmente applicato a contesti realistici (TRL4-5).

Le attività di sviluppo tecnologico saranno affiancate da studi e realizzazione di modelli numerici che permettano di ottimizzare la progettazione di componenti di cella, la geometria degli stack, ipotizzare la risposta di uno strumento di misura in presenza di miscele variabili idrogeno/gas naturale, prevedere il comportamento di una fiamma, valutare le possibili integrazioni dei sistemi di produzione di idrogeno con le fonti rinnovabili e definire le configurazioni possibili di processi e sistemi in funzione dell'applicazione specifica. Il TRL di partenza risulta pari a 2 nel caso di modelli sviluppati ex novo, mentre è superiore nel caso in cui si utilizzino codici commerciali adattati alle tecnologie della filiera idrogeno. Il TRL di arrivo si considera tra 4 e 5, poiché i modelli vengono generalmente validati in laboratorio e successivamente in ambiente rilevante.

6.6 Fattibilità tecnico-scientifica

Capacità e competenze

ENEA, in qualità di realizzatore, può garantire il corretto andamento delle attività e sull'impostazione ed organizzazione del progetto in termini di fattibilità tecnico-scientifica, grazie alla consolidata esperienza e competenza sulle tematiche energetiche. Il Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (TERIN) conduce studi, ricerca e sviluppo di tecnologie, metodologie, processi, prodotti e impianti prototipali con l'obiettivo di aumentare la quota di fonti di energia rinnovabili e differenziare le fonti energetiche nel medio-lungo termine riducendo le emissioni inquinanti, favorendo la decarbonizzazione energetica, aumentando l'efficienza energetica e riducendo il costo dell'energia.

Negli ultimi 10 anni l'ENEA ha partecipato a 1.120 progetti, con una percentuale media di successo del 21% nei bandi UE nel periodo 2014-2020, superiore alla media dei partecipanti italiani (13,2%) e di quella UE (11,9%). La percentuale di successo dei progetti coordinati è del 17% (media IT 8,6%). Nel 2020, l'ENEA ha coordinato 28 progetti, pari al 17% dei 169 partecipanti, gestendo nell'ambito di tali progetti un budget complessivo di circa 74 milioni di euro.

La partecipazione della rete scientifica CNR ai Programmi Quadro di Ricerca e Innovazione dell'Unione Europea è storicamente molto attiva e porta l'ente ad attestarsi tra i primi posti a livello nazionale per progetti finanziati e mediamente in buona posizione a livello europeo.

A livello complessivo secondo una statistica effettuata nel funding and tender portal [CNR European projects based on the funding programme and the role of participation, May 2019 source: Funding and Tender portal (European and international projects | Consiglio Nazionale delle Ricerche (cnr.it))], nel 2019, il CNR aveva 506 progetti finanziati nel programma H2020, 700 progetti finanziati nel programma FP7, e 25 progetti finanziati nel programma CIP. Di questi il CNR risultava beneficiario in 935, Third Party in 31 e coordinator in 287 progetti con un budget complessivo superiore ai 360 milioni di euro. Nel settore specifico dell'idrogeno verde, il CNR ha avuto negli ultimi 10 anni, circa 20 progetti europei finanziati con un success score del 25% circa.

Nel campo delle tecnologie dell'idrogeno verde, negli ultimi 10 anni, sono stati coordinati dal CNR, 8 progetti europei FP7 e H2020 con un budget complessivo di circa 10 milioni di euro.

Dal 2007, a partire dal framework programme FP7 sino a Horizon 2020, RSE ha partecipato a 96 progetti finanziati dalla Commissione europea, dei quali 20 come coordinatore. Il tasso di successo delle proposte presentate è superiore al 30% e il finanziamento complessivo da parte della Commissione europea è stato pari a circa 35 M€.

ENEA ha già svolto, inoltre, attività di ricerca congiunta con CNR ed RSE nell'ambito del PTR 2019-2021 della Ricerca sul Sistema Elettrico Nazionale sviluppando tecnologie innovative per la produzione di idrogeno basate su processi elettrochimici e termochimici e studiando diverse soluzioni di P2G e sistemi turbogas alimentati ad idrogeno, per la flessibilità della rete; tecnologie e sistemi per l'accumulo di energia (elettrochimica e termica) focalizzati su materiali avanzati; celle solari ad alta efficienza e materiali innovativi per applicazioni fotovoltaiche; tecnologie e strategie di gestione e controllo per lo sviluppo di reti intelligenti, CCUS, Smart City e comunità energetiche, mobilità elettrica, ecc.

Nel maggio 2021, l'ENEA ha sottoscritto un Accordo di Programma (AdP) MiSE (MiTE)-ENEA nell'ambito dell'iniziativa internazionale Mission Innovation per attività di ricerca, anche queste condotte in collaborazione con CNR ed RSE, sui temi Smart Grid, Idrogeno e Materiali avanzati per l'Energia.

Inoltre, l'ENEA è presente, come rappresentante per l'Italia, in numerosi organismi europei, intergovernativi, organismi di regolamentazione e iniziative internazionali volte a promuovere lo sviluppo delle nuove tecnologie energetiche, delle rinnovabili e delle tecnologie per la decarbonizzazione del sistema energetico. La partecipazione ai diversi tavoli permette un costante aggiornamento sulle roadmap emanate, i target e gli obiettivi da perseguire, a livello nazionale ed europeo:

- Clean Hydrogen Partnership, nella quale ENEA partecipa per la costruzione delle roadmap nei vari settori di sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile;
- European Energy Research Alliance (EERA) in cui ENEA partecipa a diversi Joint Programme (JP). In particolare, ENEA coordina il JP su celle a combustibile e idrogeno;
- IEA TCP Hydrogen, in cui il Task 35 Renewable Hydrogen Production (di cui ENEA è delegato nazionale) dedicato alla produzione di idrogeno da rinnovabile;
- IEA TCP Advanced Fuel Cells, in cui coordina l'Annex 33 dedicato alle applicazioni stazionarie e partecipa agli Annex 32 (Celle ad ossidi solidi) e Annex 36 (Modellazione dei sistemi FC);
- Clean Hydrogen Alliance, piattaforma per l'idrogeno dell'Unione Europea che riunisce al suo interno industria, ricerca, istituzioni pubbliche e società civile;
- Mission Innovation IC 8 (Renewable and Clean Hydrogen), nel quale ENEA partecipa con propri esperti al GdL istituito presso il MiTE (che vede anche la partecipazione di membri CNR, RSE, inter alia) per rappresentare l'Italia nella Innovation Challenge sull'idrogeno, piattaforma intergovernativa che promuove la collaborazione e il coordinamento internazionale con l'obiettivo di accelerare lo sviluppo di un mercato globale dell'idrogeno, identificando e superando le principali barriere tecnologiche alla produzione, distribuzione, stoccaggio e uso dell'idrogeno su larga scala;
- Clean Hydrogen Mission, nell'ambito di Mission Innovation 2.0, coordinata da ENEA a livello nazionale con il coinvolgimento di CNR, RSE e delle imprese di settore;
- IPHE, International Partnership of Hydrogen Economy, in cui ENEA partecipa a supporto del MiTE;

ENEA, in qualità di soggetto realizzatore dell'AdP MiTE-ENEA, coordinerà il POR in modo tale da condurre le attività di ricerca con l'obiettivo comune di sviluppare, in sinergia con i soggetti co-

realizzatori coinvolti (CNR e RSE), materiali, componenti, dispositivi, strumenti e prototipi, volti a favorire la diffusione del vettore idrogeno con ricadute nei diversi settori della catena del valore.

Risorse Tecniche e Organizzative

La proposta affronta percorsi di ricerca innovativi nel settore della produzione, stoccaggio distribuzione, utilizzo dell'idrogeno verde ed integrazione dei sistemi H₂-based con la rete elettrica. Le soluzioni innovative riguardano lo sviluppo di materiali e componenti, funzionali per le varie tecnologie, con ridotta quantità di materiali critici, processi e tecnologie più efficienti in grado di garantire maggiore efficienza, affidabilità e durata. Tutte le soluzioni proposte sono orientate a: i) ridurre i costi, ii) aumentare le prestazioni, iii) migliorare la stabilità al fine di realizzare un progresso significativo rispetto allo stato dell'arte. Per l'elettrolisi, le attività sono rivolte a sviluppare un ampio panorama di tecnologie quali l'elettrolisi convenzionale a bassa temperatura (AEM, PEM) ad ed alta temperatura (SOEC, MCE), la coelettrolisi, la fotoelettrolisi e l'elettroreforming. Per i processi termochimici l'attenzione è posta sulla gassificazione di biomasse e sul reforming di biogas; infine, i processi biologici completano la filiera della produzione di idrogeno verde. Per lo stoccaggio dell'idrogeno il programma prevede di sviluppare sia sistemi di accumulo allo stato solido che carrier liquidi quali ammoniaca e dimetil etere ed e-fuels. Per gli usi finali saranno investigate diverse tipologie di celle a combustibile (AEM, PEM, rigenerative, SOFC, Molten Carbonate Fuel Cell - MCFC) con l'obiettivo di migliorare l'architettura di stack e favorire la flessibilità di utilizzo nei vari settori automotive, trasporti pesanti, CHP per sistemi residenziali etc. Sono, inoltre, valutate criticità ed esigenze legate all'integrazione degli apparati basati su idrogeno nelle reti energetiche e condotte attività per la progettazione e realizzazione di sistemi e componenti di interfaccia.

Il progetto quindi, nella sua complessità ricerca, studia e valida materiali, componenti e sistemi innovativi dalla scala laboratorio fino alla realizzazione di prototipi. Il modelling computazionale supporta trasversalmente le diverse attività di sviluppo tecnologico.

Per lo svolgimento delle attività suddette, ENEA, CNR e RSE dispongono di laboratori avanzati, impianti sperimentali e strumentazioni di eccellenza con riferimento alla conduzione di studi, prove, valutazioni, analisi e servizi di formazione e valorizzazione dei risultati. Sono disponibili laboratori per il testing di diverse tecnologie e sistemi, quali banchi prova per la valutazione delle performance di celle a combustibile a bassa ed alta temperatura, banchi prova per il testing di sistemi di elettrolisi, banchi prova per il testing di sistemi di accumulo innovativi, e reattori da laboratorio e prototipi per lo studio dei processi termochimici e biologici. E' presente strumentazione elettrochimica per la caratterizzazione di elettrodi, catalizzatori e membrane con tecniche in CA e CC e spettroscopia di impedenza; strumentazione analitica: diffrattometro a raggiX per la caratterizzazione strutturale dei materiali; TGA-DTA, per l'analisi termica differenziale (DTA) e l'analisi termogravimetria (TG) dei materiali; Microscopio a Scansione Elettronica SEM-EDX e Spettroscopio a raggiX, utilizzati per la caratterizzazione morfologica ed l'analisi elementare del materiale; spettroscopio dotato di un modulo per la riflettanza totale attenuata (ATR); spettroscopio per analizzare i materiali nel campo dell'ultravioletto visibile e nel vicino infrarosso; strumento per l'analisi spettroscopiche di impedenza e misurazioni elettrochimiche, dotato di booster per sistemi ad alta corrente, etc.

Per quanto attiene la gestione del progetto, gli enti coinvolti (realizzatore ENEA e co-realizzatori CNR e RSE) sono dotati di procedure organizzative ottimizzate per la gestione dei progetti di ricerca e sviluppo e delle relative attività, quali: pianificazione delle risorse umane, tecniche e finanziarie. Assegnazione delle attività al personale ed impostazione del sistema di contabilità delle ore (time sheet), su richiesta del responsabile organizzativo ed operata dal personale di supporto alla gestione dei progetti; acquisizione delle risorse finanziarie su richiesta del delegato,

assegnazione da parte dell'amministrazione centrale e, tramite processi di approvvigionamento, acquisizione di beni e servizi; controllo su avanzamento tecnico - economico del progetto a cura del responsabile del progetto; predisposizione del rendiconto finanziario, a cura del personale di supporto alla gestione dei progetti, sulla base delle evidenze contabili rilevate (time sheet, fatture, pagamenti); emissione del rendiconto finanziario.

Il progetto è strutturato in Obiettivi, Work Package (WP) e Linee di Attività (LA), come specificato nel POR. Sono state identificate le seguenti figure: referente dell'Accordo di Programma - AdP (soggetto realizzatore); capoprogetto POR (soggetto realizzatore); referente scientifico di ciascun soggetto co-realizzatore. Inoltre, per ciascuna delle LA è stato individuato un responsabile scientifico che vigilerà sul corretto andamento della ricerca e riporterà al referente di WP al quale la LA afferisce.

Infine, il referente dell'AdP, insieme al capoprogetto POR (ENEA) e ai referenti di progetto dei due soggetti co-realizzatori (CNR e RSE), organizzeranno periodicamente incontri tematici per condividere i risultati raggiunti e valutare il corretto svolgimento delle attività di ricerca ed il perseguimento degli obiettivi previsti.

Si evidenzia, inoltre, che sin dalla fase di pianificazione delle attività di predisposizione del POR sono stati istituiti dei Gruppi di Lavoro (GdL) tematici composti da esperti di ENEA, CNR e RSE per ciascuno degli Obiettivi e Work Package previsti, con lo scopo di:

- superare eventuali sovrapposizioni su temi specifici e rafforzare le interazioni tra i soggetti ed i gruppi di ricerca coinvolti
- potenziare gli aspetti di complementarietà e interdisciplinarietà, nonché le sinergie tra le attività di ricerca svolte dai soggetti interessati nell'ambito delle aree tematiche di intervento
- condividere le conoscenze, competenze ed esperienze maturate in altri contesti di ricerca e sviluppo, a livello nazionale, europeo ed internazionale, per valorizzare le ricadute dei prodotti e dei risultati conseguibili con il POR
- attivare azioni a supporto del trasferimento tecnologico dei risultati verso le filiere industriali nazionali di settore e di indotto
- favorire l'uso ottimale delle risorse umane ed economiche ai fini di una maggiore efficienza ed efficacia nelle diverse fasi di sviluppo del progetto (ricerca, diffusione e disseminazione dei risultati, gestione e rendicontazione, etc.).

I suddetti GdL resteranno attivi per l'intera durata di svolgimento delle attività di ricerca al fine di supportare i responsabili/referenti (soggetto coinvolto, progetto, obiettivo, WP, LA) nelle attività di coordinamento e gestione del POR.

6.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

L'utilizzo dell'idrogeno verde e pulito costituisce un passaggio cruciale per consentire la decarbonizzazione del sistema energetico e favorire il perseguimento della neutralità climatica dell'EU al 2050. Grazie alla elevata densità energetica e alla combustione pulita, l'idrogeno è un vettore energetico capace di trasportare energia, su grandi distanze e in grandi quantità per diverse applicazioni che coprono i settori dell'industria chimica di sintesi e di quella energivora (acciaio, cemento, ceramica, vetro, carta, etc.), della mobilità sostenibile, del settore residenziale e civile.

Le attività di ricerca previste nel presente POR riguardano un ampio panorama di tecnologie e di processi, dalla produzione agli usi finali con l'obiettivo di studiare, e laddove possibile validare, soluzioni tecnologiche in grado di superare gli attuali limiti.

L'idrogeno, prodotto a basso costo attraverso elettrolizzatori collegati alla rete elettrica o tramite sistemi stand alone, potrà essere utilizzato in diversi settori applicativi, affiancando la rete elettrica e contribuendo, in tal modo, a ridurre le problematiche di congestione ed a incrementare

la flessibilità di esercizio, nel processo evolutivo di transizione del sistema energetico caratterizzato da una sempre crescente penetrazione di fonti di produzioni di energia rinnovabile. Ciò consentirà di fornire un significativo contributo sia alla decarbonizzazione globale sia alla riduzione dell'inquinamento locale. A riguardo, si evidenzia che l'idrogeno potrà assumere in prospettiva un rilievo importante nell'ambito della generazione distribuita di energia e degli hub multi-vettore ad esempio con riferimento ai cosiddetti "Positive Energy Districts".

Obiettivo del POR è, anche, quello di studiare materiali, componenti e sistemi altamente efficienti e flessibili per garantire un comportamento dinamico adeguato a soddisfare un'ampia gamma di servizi per il sistema elettrico.

L'impatto sul sistema energetico riguarderà, inoltre, l'implementazione di dispositivi e sistemi energetici intelligenti e distribuiti, interoperabili ed integrati con altri sistemi energetici, accrescendo il livello di digitalizzazione delle infrastrutture basate sull'idrogeno, anche al fine di garantire un nuovo modello di sviluppo energetico in grado di promuovere la sempre maggiore diffusione di prosumers e di fornire servizi di flessibilità agli operatori di rete. Da un punto di vista quantitativo lo share di energia coperto dall'idrogeno a partire dal 2030 potrebbe raggiungere il 14% come da recenti valutazioni della Commissione europea e crescere sensibilmente negli anni successivi in tutti i paesi europei.

Oltre ai settori generali sopra indicati, l'impatto di una vasta diffusione delle tecnologie ad idrogeno potrà riguardare, in particolare, la fornitura di servizi agli operatori di rete contribuendo a bilanciare il sistema energetico e favorendo una maggiore diffusione delle energie rinnovabili. L'accoppiamento di impianti di elettrolisi su scala 1-100 MW con fonti rinnovabili estese potrà garantire una rapida diffusione delle infrastrutture ad idrogeno sostenute da tecnologie digitali emergenti per integrare la generazione distribuita con i trasporti e gli altri usi finali in un sistema energetico integrato, flessibile e resiliente. Tali sviluppi richiederanno anche il supporto di nuovi elementi regolatori, normativi, autorizzativi, sociali ed economici.

Più nello specifico, la ricerca proposta ed i risultati conseguiti potranno offrire un contributo al raggiungimento dei seguenti obiettivi nel contesto del sistema energetico nazionale:

- impatto sul sistema elettrico: la penetrazione delle tecnologie dell'idrogeno sosterrà la crescente diffusione di rinnovabili non programmabili, grazie al sector coupling come elemento di congiunzione tra il settore del gas e quello dell'energia elettrica, e favorirà la resilienza del sistema elettrico.
- decarbonizzazione degli usi finali: i settori industriali con processi a temperatura elevata, la mobilità e i settori che usano l'idrogeno come feedstock potranno in futuro usufruire di idrogeno da fonti rinnovabili, grazie alla riduzione dei costi delle tecnologie che si traducono nell'attesa riduzione del Levelized Cost Of Hydrogen (LCOH) dagli attuali 10 €/kgH₂ ai 2 €/kgH₂ previsti al 2030 per l'idrogeno verde.
- condivisione e integrazione di informazioni, conoscenze, competenze ed esperienze di ricerca e sviluppo nei diversi settori della catena del valore dell'idrogeno che potranno essere messe a servizio delle istituzioni e degli operatori industriali del settore per accrescere il livello di innovazione delle tecnologie e dei prodotti da portare sul mercato. La condivisione delle informazioni produrrà un impatto trasversale indiretto su diversi settori che potranno beneficiare dei prodotti della ricerca proposti.
- superamento delle barriere alla diffusione dell'idrogeno su larga scala con particolare riferimento a quelle di natura tecnica (risoluzione delle criticità e delle limitazioni attuali ed incremento del TRL), economica (riduzione del costo per specifiche tecnologie) e normativa (modelli, procedure e standard pre-normativi).

supporto alla formazione di figure professionali di alta qualificazione (tecniche, gestionali e manageriali) richieste dall'economia dell'idrogeno, con l'obiettivo di contribuire a generare

ricadute positive in termini di occupazione e impatto sulla società civile e ad accrescere la competitività a livello internazionale delle filiere produttive e manifatturiere nazionali. Nella prospettiva di uno scenario di sviluppo, le attività dirette della filiera dell'idrogeno in Italia potranno generare un valore della produzione totale (diretto, indiretto e indotto) di 14 miliardi di euro al 2030 e di 64 miliardi di euro al 2050, raggiungendo un valore cumulato nel periodo 2020-2050 di 890 miliardi di euro. Attraverso l'attivazione delle catene di fornitura e subfornitura, la filiera dell'idrogeno potrà generare un importante effetto moltiplicatore di 3,1; ciò significa che per ogni euro di valore della produzione generato direttamente dalla filiera dell'idrogeno, se ne attivano ulteriori 2,1 nell'economia italiana.

Nello scenario base, la catena del valore dell'idrogeno potrà contribuire all'occupazione nazionale con 70.000 posti di lavoro al 2030 e 320.000 al 2050, tra effetto diretto, indiretto e indotto. L'occupazione generata al 2050 è stimata essere pari all'8% del totale della forza lavoro occupata nell'industria manifatturiera ad oggi. Grazie all'attivazione delle filiere di fornitura e subfornitura e all'effetto indotto sui consumi, l'attività della filiera dell'idrogeno potrà creare ulteriori 51.000 occupati in Italia al 2030 e ulteriori 235.000 al 2050, per un effetto moltiplicatore di 3,7 (studio H2 ITALY 2050, Snam-Ambrosetti).

Da quanto sopra espresso, appare evidente come la creazione e lo sviluppo di una catena del valore estesa dell'idrogeno in Italia possa produrre importanti effetti economici e occupazionali nel sistema Paese in futuro, e alla stregua di settori industriali già oggi molto competitivi per il Paese, sia a livello diretto con l'attività delle imprese coinvolte, sia in modo indiretto e indotto tramite l'attivazione dei sistemi di acquisti di beni e servizi da altre filiere correlate.

Per sostanziare la rilevanza di questo impatto, basti pensare che si stima un valore aggiunto totale generato dalle attività della filiera dell'idrogeno al 2050 pari al 14% del contributo al PIL dell'industria manifatturiera nazionale.

È, inoltre, importante sottolineare che nelle tematiche di ricerca che afferiscono al presente POR, sono attive aziende italiane (si citano ad esempio le filiere dell'elettrolisi, delle fuel cells, dei sistemi di produzione, trasporto e stoccaggio dei gas tecnici, della componentistica e strumentazione per le reti gas, etc.) con differente livello di integrazione fra semilavorati, componenti e sistemi. Molte di tali aziende, anche grazie agli strumenti finanziari in essere (PNRR) che favoriscono gli investimenti sul vettore idrogeno, ambiscono ad una crescita dimensionale, alla creazione di filiere integrate e ad una maggiore qualità e competitività dei prodotti. Le collaborazioni che saranno attivate nel corso del progetto fra gli enti pubblici di ricerca e le aziende del settore garantiscono l'efficace indirizzo delle ricerche a beneficio dell'industria nazionale, e le conseguenti azioni di trasferimento tecnologico. A questo contribuiranno le attività di disseminazione dei risultati, che saranno condivise con gli stakeholder e riguarderanno tutti i prodotti della ricerca.

I risultati del progetto renderanno, inoltre, disponibili conoscenze e valutazioni tecniche, economiche e ambientali sulle tecnologie dell'idrogeno più innovative, a supporto della pianificazione strategica di medio-lungo termine dei futuri investimenti pubblici e privati nelle tecnologie dell'idrogeno e per lo sviluppo di un sistema energetico decarbonizzato.

6.8 *Verifica dell'esito del progetto*

Il progetto è organizzato in 4 Obiettivi, incentrati sui principali asset di riferimento della filiera tecnologica dell'idrogeno: produzione di idrogeno; trasporto, distribuzione e stoccaggio; celle a combustibile; integrazione delle tecnologie dell'idrogeno con la rete elettrica. Ciascun Obiettivo è organizzato in WP ed ogni WP è composto da più Linee di Attività (LA), ognuna delle quali indirizzata ad una specifica tematica. Di seguito si riporta il dettaglio della strutturazione del progetto:

Obiettivo 1 - Produzione di idrogeno verde e pulito

- WP1.1 - Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni (n° 37 LA)
- WP1.2 - Ricerca, sviluppo e modellazione di tecnologie, componenti e sistemi di nuova generazione per applicazioni specifiche: feedstock per l'industria, trasporti, calore ed energia (n° 8 LA)
- WP1.3 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali (n° 6 LA)
- Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto

Obiettivo 2 - Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels

- WP2.1 - Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica (n° 12 LA)
- WP2.2 - Ricerca e sviluppo di soluzioni per il trasporto, distribuzione e usi finali dell'idrogeno nelle reti del gas naturale (n° 8 LA)
- WP2.3 - Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica (n° 8 LA)
- WP2.4 - Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo (n° 2 LA)
- WP2.5 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali (n° 7 LA)
- Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto

Obiettivo 3 - Celle a Combustibile

- WP3.1 - Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi (n° 7 LA)
- WP3.2 - Ricerca e sviluppo di soluzioni avanzate di celle reversibili, basate sia su conduttori ionici che protonici (n° 3 LA)
- WP3.3 - Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione (n° 7 LA)
- WP3.4 - Studio e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile, alimentati con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionale, per applicazioni stazionarie anche per comunità energetiche locali (n° 4 LA)
- WP3.5 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e sistemi innovativi di celle a combustibile, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali (n° 6 LA)
- Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto

Obiettivo 4 - Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno

- WP4.1 - Ricerca, sviluppo e implementazione di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Test e applicazioni (n° 4 LA)
- WP4.2 - Sperimentazione e validazione di una infrastruttura basata sull'idrogeno in scala microgrid (n° 4 LA)
- WP4.3 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie emergenti, componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno e formazione di figure professionali (n° 8 LA)

- Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto

Ogni LA prevede un certo numero di *Milestone* che indicano l'avanzamento delle attività di ricerca rispetto all'obiettivo posto ed un certo numero di *Output* che sono identificabili in rapporti tecnici o prodotti della ricerca (prototipi, modelli, materiali sintetizzati, etc.).

I rapporti tecnici permetteranno di verificare la corrispondenza dei risultati attesi con gli obiettivi delle LA (come da sezione "risultati attesi" riportata nella scheda di ciascuna LA). Ciascun rapporto tecnico, infatti, fornirà, oltre alla descrizione delle attività effettuate, gli esiti sperimentali delle prove condotte, laddove previste, consentendo di misurare l'impatto della ricerca sviluppata. Inoltre, i prototipi realizzati permetteranno di verificare il perseguimento dei target qualitativi definiti con riferimento alle specifiche tecnologie, nonché di valutare, sulla base delle esperienze condotte, le necessarie azioni di upgrade al fine di favorire la successiva fase di scale-up e di trasferimento tecnologico dei risultati conseguiti per potenziali applicazioni di interesse industriale.

Milestone e *Output* sono elencati in ognuna delle schede descrittive relative alle diverse LA ed hanno una numerazione sequenziale corrispondente alla LA di riferimento.

Con riferimento agli aspetti di diffusione e disseminazione dei risultati, si evidenzia che a fronte delle importanti prospettive in termini di opportunità di lavoro per manager, tecnici e professionisti nelle applicazioni dell'idrogeno nell'intera catena del valore, l'offerta informativa e formativa attuale non appare adeguata al fabbisogno del mercato (ricerca e industria). A riguardo, il progetto proposto intende anche contribuire a favorire una azione integrata e coordinata di sensibilizzazione, informazione e formazione rivolta alla società civile ed agli attori di settore coinvolti, a vario titolo e livello, nel settore dell'idrogeno e, più in generale, nella transizione energetica.

In particolare, per dare una risposta concreta a quanto suddetto, con cadenza annuale sono state previste attività di disseminazione dei risultati conseguiti per la condivisione con gli stakeholder interessati e riguarderanno tutti i prodotti della ricerca. Si organizzeranno workshop tematici e si diffonderanno e valorizzeranno i risultati tramite pubblicazioni su riviste internazionali, partecipazione ai convegni nazionali ed internazionali del settore.

Infine, sarà predisposto un sito web specifico per il progetto che verrà costantemente aggiornato. Il sito web sarà accessibile a tutti e potrà prevedere delle sezioni protette per lo scambio di informazioni, dati e risultati con i referenti valutatori del progetto.

Si riporta, di seguito, il diagramma di PERT del progetto che rappresenta le interazioni tra i WPs afferenti ai diversi Obiettivi.

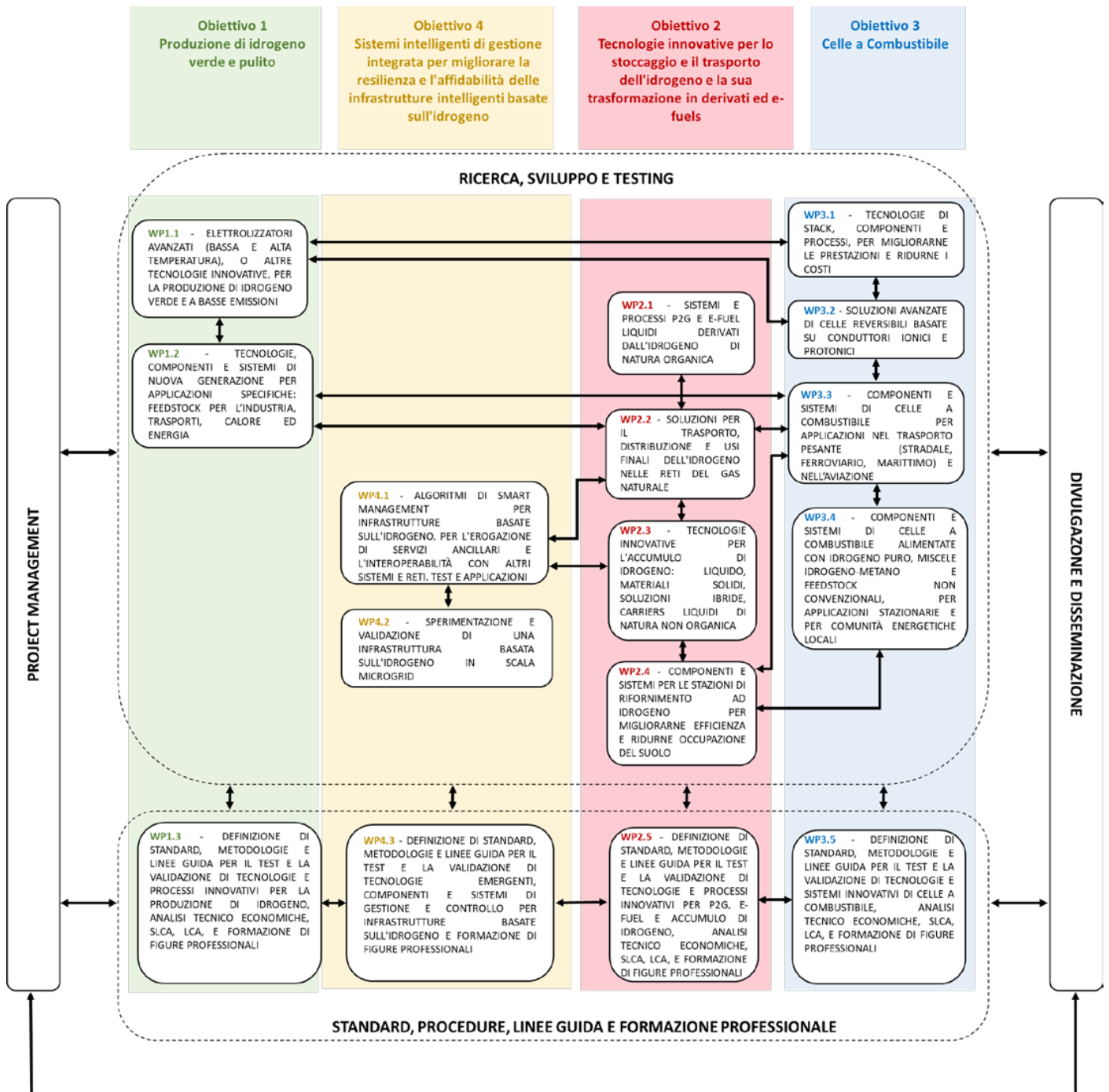
E' stata, inoltre, effettuata un'analisi SWOT, evidenziando i principali punti di forza, debolezza, le opportunità ed i rischi, anche tenendo conti di valutazioni di massima con riferimento all'evoluzione delle strategie europee e nazionali sull'idrogeno alla luce del mutato scenario geopolitico.

	Punti di forza	Punti di debolezza
Fattori interni	Potenziamento e messa in rete di conoscenze, competenze ed esperienze di natura multidisciplinare e interdisciplinare e disponibilità di risorse tecnico-organizzative di alta qualificazione.	Necessità di potenziare il coordinamento e l'interazione tra policy, strumenti economico-finanziari e network pubblico-privato per accelerare lo sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno e la sua penetrazione nel mercato.
	Individuazione dei driver di ricerca, sviluppo e innovazione in linea con le strategie europee e nazionali sull'idrogeno e a supporto del	Necessità di definire un quadro normativo, regolatorio e autorizzativo agevole, chiaro e strutturato.

	perseguimento degli obiettivi e delle finalità previsti.	Favorire la nascita di assetti regolatori coerenti con le future nuove configurazioni delle catene del valore energetico. Necessità di riduzione dei costi.
	Impatto e benefici attesi: innovazione tecnologica, integrazione col sistema elettrico; decarbonizzazione negli usi energetici finali; condivisione delle conoscenze e competenze; contributo al superamento delle barriere della diffusione delle tecnologie a idrogeno su larga scala; definizione di standard, linee guida, protocolli di test, etc. per le diverse tecnologie e le applicazioni nei diversi comparti; interazione con le imprese ed altri stakeholder interessati e interessabili.	Necessità di rafforzare la governance a livello di sistema paese per la definizione e condivisione di policy orientate a favorire lo sviluppo competitivo delle filiere produttive e manifatturiere nazionali anche in relazione alle esigenze dei territori ed ai tessuti produttivi esistenti. Necessità di rafforzare le azioni ed iniziative di dimostrazione per la validazione della fattibilità e sostenibilità tecnica, economica ed ambientale delle soluzioni tecnologiche e di sistema proposte.
	Individuazione e attuazione di azioni e misure strutturate per la diffusione e la divulgazione dei risultati e dei prodotti della ricerca a supporto del trasferimento tecnologico alle filiere industriali nazionali di settore e di indotto al fine di accrescerne la competitività di mercato su scala internazionale.	Necessità di individuare ed attivare nuclei iniziali per favorire l'applicazione e lo sviluppo sinergico delle diverse tecnologie e degli usi finali. Sensibilizzare l'opinione pubblica e il mondo dell'impresa sui benefici derivanti dall'impiego dell'idrogeno per incentivarne l'utilizzo ed accrescere il livello di conoscenza, consapevolezza e accettabilità sociale.
	Definizione e implementazione di attività e percorsi di formazione di figure professionali di alta qualificazione (tecniche, gestionali e manageriali) richieste dall'economia dell'idrogeno.	Necessità di definire e attuare schemi di incentivazione e meccanismi di sostegno, lato produzione e lato domanda, per favorire lo sviluppo di un'economia basata sull'idrogeno.
	Opportunità	Minacce
Fattori esterni	Presenza di uno scenario energetico geopolitico mutato e mutevole con un'accelerazione nel processo di transizione energetica e nelle strategie di approvvigionamento delle risorse energetiche.	Necessità di definire strategie e policy comunitarie e nazionali chiare e condivise in materia di energia.
	Creazione di una rete tecnologica per la filiera dell'idrogeno nel suo complesso (produzione, trasporto, accumulo, distribuzione e utilizzo).	Necessità di incentivare le competenze specialistiche connesse alla filiera dell'idrogeno, sia per le nuove figure professionali sia per accompagnare la transizione di quelle esistenti in risposta alle richieste del mercato.
	Necessità di supporto allo sviluppo della normativa e, più in generale, della regolamentazione di settore e dei processi di permitting.	Gap normativi e regolamentari e misure incentivanti. Mancanza di standardizzazione a livello europeo e nazionale.
	Opportunità per diffondere informazioni, conoscenze, risultati in tema di idrogeno	Accettazione sociale.

	attraverso mezzi/canali di comunicazione integrati.	
	Opportunità per le imprese della filiera idrogeno di disporre di risultati e prodotti per le necessarie azioni ed interventi di pre-industrializzazione e industrializzazione.	Difficoltà per le aziende a sperimentare e validare tecnologie, componenti e sistemi al di fuori del perimetro aziendale. Difficoltà di identificare un unico modello di business per tutti gli attori coinvolti.
	Opportunità di realizzare un “data base” strutturato e coordinato di informazioni, dati e risultati nell’intera catena del valore dell’idrogeno che integra le competenze/esigenze/istanze della ricerca e del settore industriale.	Mercato non ancora maturo e decifrabile soprattutto in uno scenario di breve-medio periodo, mancanza di dati economici. Necessità di rafforzare le competenze specialistiche nel settore della filiera dell’idrogeno.
<p>Nello specifico il POR si compone dei 4 suddetti Obiettivi che coprono l’intera catena del valore dell’idrogeno, e presentano, rispetto ai punti di forza e di debolezza individuati in tabella, delle specificità che saranno oggetto di attenzione e valutazione durante le fasi di svolgimento delle attività di ricerca e sviluppo, in termini di eventuali analisi di risk assesment e di individuazione delle conseguenti misure di mitigazione dei rischi associati.</p>		

Diagramma di PERT



PARTE III – STRUTTURA E COSTI DEL PROGETTO

Si riporta, di seguito, la lista dei principali acronimi utilizzati.

Accordo di Programma (AdP)
Alkaline Electrolyzer (AEL)
Aqueous Phase Reforming (APR)
Anion Exchange Membranes (AEM)
Anion Exchange Membrane Fuel Cells (AEMFCs)
Balance of Plant (BoP)
CAPital EXpenditure (CAPEX)
Carbon Capture & Sequestration (CCS)
Catalyst Coated Membrane (CCM)
Catalytic Membrane Reactors (CMRs)
Combined Heat and Power (CHP)
Computational Fluid Dynamics (CFD)
Concentrated Solar Power (CSP)
Critical Raw Materials (CRM)
Digital Twin (DT)
Dimetil Etere (DME)
Direct Normal Irradiance (DNI)
Direct Numerical Simulation (DNS)
Dry Reforming (DR)
Dual Fluidised Bed (DFB)
EExhaust Gas Recirculation (EGR)
European Energy Research Alliance (EERA)
fotofermentazione (FF)
Fonti Energetiche Rinnovabili (FER)
Fuel Cell (FC)
Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)
Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)
Gas Diffusion Electrode (GDE)
Global Horizontal Irradiance (GHI)
Hydrogen Europe Research (HER)
Hydrogen Refuelling Station (HRS)
Hydrogen Permeation Barrier (HPB)
Important Projects of Common European Interest (IPCEI)
Integration Readiness Level (IRL)
Intelligenza Artificiale (IA)
Key Performance Indicator (KPI)
Levelized Cost Of Hydrogen (LCOH)
Life Cycle Assessment (LCA)
Life Cycle Costing (LCC)
Linee di Attività (LA)
Manufacturing Readiness Level (MRL)

Membrane Electrode Assembly (MEA)
Metal Organic Chemical Vapour Deposition (MOCVD)
Metal Organic Frameworks (MOFs)
Molten Carbonate Electrolyzer (MCE)
Molten Carbonate Electrolyzer Cell (MCEC)
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)
Natural Gas (NG)
Operational Expenditure (OPEX)
Organismi di Ricerca (OdR)
Oxy Steam Reforming (OSR)
Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)
Piano Operativo di Ricerca (POR)
Porous Coordination Cages (PCC)
Power to Gas (P2G)
Pressure Swing Adsorption (PSA)
Proton Exchange Membrane (PEM)
Proton-Exchange Membrane Fuel Cells (PEFC)
Proton Exchange Membrane Water Electrolysis (PEMWE)
Renewable Energy Source (RES)
Reversible Solid Oxide Electrolyser (rSOC)
Rotary Drum Reactor (RDR)
Selective Catalytic Reduction (SCR)
Social Life Cycle Assessment (SLCA)
Solid Oxide Electrolysis Cell (SOEC)
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)
Sorption Enhanced Gasification (SEG)
Sorption Enhanced Processes (SEP)
Sorption Enhanced Steam Methane Reforming (SE-SMR)
Sorption Enhanced Water Gas Shift (SE-WGS)
State of Health (SoH)
Steam Reforming (SR)
Technology Readiness Level (TRL)
Temperature Swing Adsorption (TSA)
Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
Work Package (WP)

Obiettivo 1 - Produzione di idrogeno verde e pulito

L'Obiettivo 1 è costituito da 3 WPs e 51 LA.

I WPs sono articolati come di seguito descritto:

- WP1.1 (che conta 37 LA) si occupa di svolgere attività di ricerca nel settore degli elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura) e di altre tecnologie innovative (processi di tipo termochimico, biochimico o biologico, processi di reforming integrati con fonti rinnovabili - es biogas + RES -, processi di gassificazione delle biomasse residuali, etc.) per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni.

Principali argomenti trattati: elettrolisi a bassa temperatura (alcalina AEL, membrana a scambio protonico PEM, a scambio anionico AEM); elettrolisi ad alta temperatura (a ossidi solidi SOEC, a carbonati fusi MCEC); test e validazione di tecnologie innovative e/o mature e commerciali; produzione di idrogeno da processi termochimici a neutralità carbonica (idro)gassificazione di biomasse, reflui, lignine e plastiche, steam reforming elettrico di biometano, plasmo-chimica, elettroreforming di alcoli, reforming e cracking di biogas); processi biologici (fermentazione, microalghe, microorganismi fotosintetici, bioelettrolisi); processi assistiti da energia solare (splitting termochimico, fotoelettrolisi, fotocatalisi, materiali e nanomateriali).

TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.

- WP1.2 (che conta 8 LA) è incentrato sulla ricerca, lo sviluppo e la modellazione di tecnologie, componenti e sistemi di nuova generazione per applicazioni specifiche: feedstock per l'industria, trasporti, calore ed energia.

Principali argomenti trattati: membrane per conversione di (bio)combustibili in idrogeno; integrazione di elettrolizzatori ad alta temperatura con fonti rinnovabili; produzione da fonti rinnovabili per idrogeno P2G; settore navale, off-shore e portuale; elettrolizzatori ad alta temperatura per l'industria; biomasse per applicazioni stazionarie; sistemi per la riduzione degli ossidi di azoto; applicazione in settori hard-to-abate.

TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.

- WP1.3 (che conta 6 LA) si pone l'obiettivo di proporre possibili soluzioni per il superamento di barriere di natura non tecnologica, mettendo a disposizione infrastrutture e laboratori di ricerca per attività sperimentali di tipo pre-normativo, per la definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, SLCA, LCA, e per supportare la formazione di figure professionali.

Principali argomenti trattati: procedure sperimentali per elettrolizzatori ad alta temperatura; costi di produzione nell'integrazione con fonte solare; protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi; validazione sperimentale in laboratorio; analisi di sostenibilità; formazione e Summer School.

TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.

WP1.1 - Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

Per abilitare l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico nei diversi settori di applicazione (industria, trasporti, produzione d'energia, residenziale/civile), è necessario produrlo su larga scala ed in modo sostenibile, sia dal punto di vista ambientale sia economico. Le emissioni di CO₂ associate alla sua produzione devono risultare basse o nulle (idrogeno pulito o verde) ed il suo costo deve divenire competitivo con quello dell'idrogeno grigio e degli altri combustibili convenzionali.

Per raggiungere i suddetti obiettivi è essenziale effettuare attività di ricerca e sviluppo nel settore degli elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), e/o investigare altre tecnologie innovative per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni.

Con riferimento agli elettrolizzatori, sebbene alcune tecnologie possano considerarsi sufficientemente mature (soprattutto per specifici aspetti), è necessario svolgere attività di ricerca al fine di ridurre ingombri e costi, aumentarne l'efficienza, la produttività e la purezza dei gas, incrementarne la durata e la flessibilità in esercizio (maggiore resistenza alla corrosione e alla disattivazione).

In alternativa ai processi elettrochimici, mostrano prospettive interessanti anche processi di tipo termochimico, biochimico o biologico le cui tecnologie, integrate con fonti rinnovabili, consentono comunque di giungere ad una produzione di idrogeno verde, fornendo l'opportunità di ridurre del costo dell'idrogeno prodotto, agevolando al contempo la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio. Attività di ricerca saranno dunque condotte anche con riferimento ai tradizionali processi di reforming integrati con fonti rinnovabili (es biogas + RES), cicli termochimici solari di scissione dell'acqua, processi di gassificazione delle biomasse residuali, ecc.

ELETTROLISI A BASSA TEMPERATURA

WP1.1 – LA.1.1.1

Sviluppo di nuove geometrie per elettrolizzatori alcalini a gap zero

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Filippo Donato

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 143.074,26

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 120.647,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 147.647,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 72.583,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 483.951,26

Descrizione attività:

Nell'elettrolisi alcalina convenzionale, un setto poroso è responsabile della separazione dell'ambiente catodico da quello anodico. Il setto deve permettere il flusso delle cariche elettriche trasportate dagli ioni OH^- , impedendo quanto più possibile ai gas che si liberano agli elettrodi (O_2 all'anodo e H_2 al catodo) di attraversarlo. Tale aspetto è particolarmente critico, tanto sul piano delle performance quanto su quello della sicurezza, poiché l'attraversamento del setto da parte delle specie gassose comporta il rischio della formazione locale di miscele esplosive.

Nella tecnologia alcalina, gli elettrodi vengono generalmente tenuti distanziati dal setto separatore, con la soluzione alcalina libera di scorrere tra setto ed elettrodi. Tale scelta ha consentito, nel tempo, di non affrontare nell'immediato problematiche di natura tecnologica, quali ad esempio l'ostruzione dei pori del setto da parte dei gas con conseguente inibizione del flusso di cariche trasportate dalla soluzione. Tuttavia, la distanza che intercorre tra elettrodi e setto deve essere percorsa dalle cariche, il che implica un contributo piuttosto rilevante alle perdite complessive del processo in termini di resistenza ohmica.

Negli ultimi anni, la richiesta di sistemi di taglie maggiori, con costi ridotti e prestazioni più elevate ha spinto la ricerca verso un nuovo paradigma, generalmente indicato come *Elettrolisi Alcalina Avanzata*. Aspetto centrale di questo nuovo concetto è la configurazione *gap-zero*, ossia con gli elettrodi a diretto contatto con il setto. Sebbene sul mercato siano già disponibili i primi sistemi di questo tipo, restano ampi spazi per attività di ricerca. Oltre alle tecnologie/metodologie per la produzione di componenti più performanti, infatti, occorre studiare le geometrie con cui i componenti stessi sono realizzati, al fine di garantire migliori prestazioni sia a livello di cella che di stack. Occorre studiare, inoltre, con maggiore dettaglio i fenomeni chimico-fisici che intervengono, fino alla definizione di quelli critici, anche a livello locale, per il miglioramento della vita utile e della stabilità dei componenti. Tra i fenomeni critici vanno menzionati l'interazione delle bolle con il setto poroso e la formazione di surriscaldamenti a livello locale. In considerazione di tali priorità di ricerca, nella presente LA verranno sviluppati dei modelli numerici per lo studio dei fenomeni critici di cella e di sistema, sino alla progettazione e realizzazione di sistemi a *gap-zero*.

In particolare, l'attività è articolata come di seguito descritto:

- a) implementazione in *scilab* di un modello 0-D, tratto da letteratura, in grado di riprodurre gli andamenti di test su celle in configurazione "gap-zero" o convenzionale;
- b) realizzazione di un modello numerico, tramite codici di calcolo commerciali (ANSYS o COMSOL), per la simulazione fluidodinamica ed elettrochimica di cella con dettaglio dell'interfaccia elettrodo/setto separatore;

- c) realizzazione di un modello numerico, tramite codici di calcolo commerciali (ANSYS o COMSOL), per la simulazione fluidodinamica ed elettrochimica a livello di stack.

I modelli realizzati ai punti b) e c) saranno integrati con il software di modellazione solida (CATIA V5 o Solidworks). L'obiettivo è di ottenere una suite integrata che permetta, sfruttando le potenzialità del software di modellazione solida, di variare rapidamente la geometria a qualsiasi livello, per fornire l'input richiesto dai diversi modelli numerici sopra richiamati. L'approccio proposto prevede una analisi critica dello stato dell'arte delle tecnologie disponibili o in fase di sviluppo, per "generare" a livello numerico i componenti dell'elettrolizzatore; successivamente si procederà con l'individuazione delle configurazioni geometriche "realizzabili". Queste ultime verranno riprodotte tramite il software di modellazione solida ed inviate al modello di cui al punto b), opportunamente validato, e modificate in funzione dei risultati al fine di ottenere la configurazione ottimale.

Ottenuta la configurazione ottimale di cella si realizzerà e sperimenterà un prototipo, per passare poi, in una seconda fase, a modellare uno stack simulandolo sulla base di quanto sviluppato al punto c).

Risultati attesi:

M1.1.1.1 [M9]	Modello 0-D implementato e validato su dati di letteratura
M1.1.1.2 [M12]	Completamento dell'analisi delle configurazioni geometriche "realizzabili" con le tecnologie di produzione dei componenti adottate o di prossima adozione
M1.1.1.3 [M12]	Modello 0-D applicato a casi "gap-zero" di letteratura diversi da quelli di validazione, al fine di individuare configurazioni e/o punti di lavoro particolarmente complessi da riprodurre con una modellistica semplificata
M1.1.1.4 [M18]	Modello di simulazione numerica fluidodinamica ed elettrochimica di cella validato e testato sui casi individuati in M1.1.1.3
M1.1.1.5 [M24]	Configurazione di cella ottimizzata e simulata
M1.1.1.6 [M30]	Acquisizione prototipo di cella
M1.1.1.7 [M42]	Caratterizzazione sperimentale del prototipo di cella
M1.1.1.8 [M42]	Modello 3D di stack completato e simulato

Output:

D1.1.1.1 [M12]	Rapporto "Configurazioni geometriche realizzabili con le tecnologie di produzione adottate o in via di adozione per elettrolizzatori alcalini avanzati"
D1.1.1.2 [M12]	Rapporto "Applicazione di un modello predittivo 0-D a casi di letteratura per configurazioni gap-zero per elettrolizzatori alcalini avanzati"
D1.1.1.3 [M42]	Rapporto "Ottimizzazione della configurazione di una cella elettrolitica di tipo gap-zero per elettrolizzatori alcalini avanzati"
D1.1.1.4 [M42]	Rapporto "Progettazione e simulazione numerica di uno stack per elettrolisi alcalina avanzata"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP1.1 – LA 1.1.2

Sviluppo elettrolizzatori alcalini ad alte prestazioni

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 155.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 655.000,00

Descrizione attività:

La tecnologia dell'elettrolisi alcalina (AEL) può ritenersi maggiormente matura e consolidata rispetto a quella polimerica (PEM). Essa si caratterizza per la possibilità di utilizzo di acqua demineralizzata, e non deionizzata, e per costi per kW installato più bassi, principalmente a seguito dell'uso di catalizzatori poco costosi. Tali caratteristiche determinano un crescente interesse nello sviluppo ulteriore della tecnologia alcalina. Tra gli aspetti di maggiore attenzione vi sono il miglioramento delle prestazioni energetiche e l'aumento della pressione di esercizio.

L'obiettivo di questa LA è duplice. Infatti, il primo obiettivo consiste nell'analizzare e superare, da un punto di vista tecnologico, le criticità legate alla produzione di idrogeno in pressione, sia per quanto riguarda i materiali, sia relativamente ai fenomeni legati al passaggio di un gas da un comparto all'altro, ossia il *crossover* che è responsabile dei problemi di sicurezza e di purezza del gas prodotto. L'analisi effettuata sarà propedeutica all'individuazione di soluzioni che consentano di raggiungere pressioni di esercizio elevate. Il benchmark di riferimento sarà costituito dai prodotti dell'industria nazionale attiva nella produzione di elettrolizzatori di tipo alcalino.

Il secondo obiettivo della LA riguarda il miglioramento delle prestazioni energetiche attraverso l'implementazione di un modello della cella elettrolitica per mezzo di un codice di calcolo per la stima della produzione di idrogeno al variare dei parametri operativi. Successivamente sarà simulata la portata di idrogeno prodotta da un intero stack al variare delle condizioni operative e saranno effettuate delle prove su uno stack benchmark, al fine di validare il modello sviluppato.

Attraverso l'utilizzo dei codici di calcolo di tipo termomeccanico e fluidodinamico, una volta validati, sarà effettuata la riprogettazione della singola cella per migliorarne le prestazioni energetiche ed incrementarne la pressione di esercizio. Infine, verrà acquisita una cella test e verificato l'effettivo miglioramento delle prestazioni energetiche.

Sarà simulata, da un punto di vista termico, meccanico e fluidodinamico, l'architettura di uno stack e sarà realizzato e acquisito uno stack di piccola taglia ad alte prestazioni. La validazione dello stack verrà effettuata in analogia con quanto fatto con la monocella.

È previsto un contratto di consulenza al Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna, per lo studio di soluzioni innovative per la co-progettazione dello stack ad alte prestazioni energetiche, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza sulla tematica suddetta.

Risultati attesi:

M1.1.2.1 [M15]	Analisi delle criticità del sistema alcalino per l'elettrolisi dell'acqua in pressione
M1.1.2.2 [M15]	Modello energetico elettrolizzatore alcalino convenzionale
M1.1.2.3 [M15]	Simulazione termica e meccanica di una monocella AEL
M1.1.2.4 [M15]	Simulazione fluidodinamica monocella AEL
M1.1.2.5 [M21]	Progettazione monocella AEL di prova ad alte prestazioni
M1.1.2.6 [M27]	Realizzazione monocella AEL di prova
M1.1.2.7 [M27]	Test monocella AEL di prova
M1.1.2.8 [M30]	Progettazione stack AEL ad alte prestazioni
M1.1.2.9 [M36]	Realizzazione stack AEL ad alte prestazioni

M1.1.2.10 [M40] Test validazione stack AEL

Output:

- D1.1.2.1 [M12] Rapporto Tecnico “Analisi delle criticità del sistema alcalino per l’elettrolisi dell’acqua in pressione”
- D1.1.2.2 [M24] Prototipo monocella AEL ad alte prestazioni
- D1.1.2.3 [M36] Prototipo stack AEL ad alte prestazioni
- D1.1.2.4 [M42] Rapporto Tecnico “Analisi delle prestazioni dello stack AEL”

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.3

Sviluppo di catalizzatori e metodi di produzione di elettrodi catalizzati per elettrolizzatori alcalini e a membrana

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 409.863,01

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 182.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 152.216,42

Costo LA (escluse spese generali): € 894.079,43

Descrizione attività:

La presente LA è centrata sullo sviluppo di elettro-catalizzatori PGM-free per la reazione di elettrolisi in condizioni alcaline (elettrolizzatori ad elettrolita liquido e a membrana anionica). Elettrodi e rivestimenti catalitici sono tra i componenti chiave per i sistemi avanzati di elettrolisi dell'acqua alcalina. La produzione degli elettrodi catalizzati può essere ottenuta attraverso diversi processi (elettrodeposizione, laminazione, deposizione plasma).

In questa linea di attività gli elettrodi catalizzati o i catalizzatori saranno ottenuti attraverso spray pirolisi a plasma (LA.1.1.36) e a fiamma, ossia processi facilmente scalabili a livello industriale. L'obiettivo è di produrre catalizzatori idonei, sia per il lato anodico che per il lato catodico, ottimizzandone l'attività, la stabilità, la conducibilità ed il carico. Nello specifico i catalizzatori selezionati dovranno: i) essere intrinsecamente attivi per l'evoluzione dell'idrogeno o per la reazione di evoluzione dell'ossigeno; ii) mostrare un'elevata area superficiale con un'alta densità di siti di reazione, permettendo così di ridurre lo spessore degli elettrodi; iii) essere adatti per l'integrazione con i substrati utilizzati negli elettrolizzatori alcalini (classici ed a membrana); iv) evitare metalli del gruppo del platino come Pt, Pd, Rh, Ru, Os e Ir, per ridurre i costi e garantire la sicurezza dell'approvvigionamento su larga scala; v) avere una morfologia idonea, adeguatamente idrofila ed altamente porosa per la bagnabilità della superficie di catalizzatore attivo ed un efficiente trasporto di massa nella fase liquida.

I materiali selezionati saranno basati su metalli di transizione abbondanti (ad esempio Fe, Co, Ni, Cu, Mn, Mo) in forma di metallo o ossido, nanostrutturati e combinati con supporti catalitici conduttivi (carbonio e ossidi metallici). I catalizzatori prodotti (in forma metallica o di ossido) nell'ambito della LA saranno utilizzati per la preparazione di elettrodi utilizzando le diverse possibili tecniche di rivestimento (deposizione per plasma spray, deposizione elettroforetica, deposizione per coating).

In tal modo saranno valutate le prestazioni elettrochimiche, la stabilità nel tempo dei catalizzatori ottenuti nelle condizioni operative proprie dei sistemi di elettrolisi.

La presente linea di attività è strettamente connessa alla LA 1.1.36 “Sviluppo di materiali per idrogeno”, che prevede l’implementazione di un sistema di tipo plasma-spray commerciale, di scala laboratorio-industriale, per la sintesi di nano-polveri e per il coating di superfici e di elettrodi.

Risultati attesi:

M1.1.3.1 [M12]	Produzione di catalizzatori ottenuti mediante spray pirolisi a fiamma per il lato anodico per elettrolizzatori alcalini con membrana a scambio anionico e convenzionali
M1.1.3.2 [M24]	Produzione di catalizzatori ottenuti mediante spray pirolisi a plasma per il lato catodico per elettrolizzatori alcalini con membrana a scambio anionico e convenzionali
M1.1.3.3 [M30]	Preparazione elettrodi con metodi di rivestimento e testing elettrochimico completo dei catalizzatori prodotti per spray pirolisi a fiamma
M1.1.3.4 [M36]	Produzione di catalizzatori mediante pirolisi a plasma per il lato anodico per elettrolizzatori alcalini con membrana a scambio anionico e convenzionali
M1.1.3.5 [M36]	Produzione di catalizzatori mediante pirolisi a plasma per il lato catodico per elettrolizzatori alcalini con membrana a scambio anionico e convenzionali
M1.1.3.6 [M42]	Preparazione elettrodi con metodi di rivestimento e testing elettrochimico completo dei catalizzatori prodotti mediante pirolisi a plasma

Output:

D1.1.3.1 [M42]	Rapporto Tecnico “Produzione di catalizzatori per elettrolisi attraverso spray pirolisi a fiamma”
D1.1.3.2 [M42]	Testing elettrochimico completo di catalizzatori catodici per spray pirolisi a fiamma e a plasma

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.4

Sviluppo di processi di preparazione di membrane a scambio anionico e relativi ionomeri a basso costo

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 344.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 220.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 100.000,0

Costo totale LA (escluse spese generali): € 814.000,00

Descrizione attività:

Gli elettrolizzatori a membrana alcalina sono una tecnologia in via di sviluppo che presenta, in una prospettiva futura, vantaggi notevoli rispetto ai sistemi tradizionali ad elettrolita liquido, tra cui, oltre che l’uso di catalizzatori a basso costo, anche la compattezza e la possibilità di produrre idrogeno ad alte pressioni. Il funzionamento sotto pressione richiede l'uso di membrane

meccanicamente e chimicamente resistenti nell'ambiente operativo. Il punto critico di questa tecnologia è proprio lo sviluppo di membrane in grado di ottenere densità di corrente elevate, con una stabilità meccanica tale da resistere ad elevate pressioni ed alle temperature di esercizio per migliaia di ore senza degradarsi, garantendo la necessaria purezza dell'idrogeno prodotto.

La ricerca su nuove membrane con caratteristiche adeguate è, dunque, determinante considerando anche la necessità di sviluppare prodotti a costi competitivi. In tali premesse, l'attività LA1.1.4 prevede la preparazione su scala di laboratorio di membrane anioniche e relativi ionomeri mediante modifica di polichetoni a basso ed alto peso molecolare con gruppi carichi positivamente per la necessaria conducibilità anionica.

In particolare, verranno studiati i seguenti sistemi polimerici ionomerici e messe a punto le corrispondenti membrane anioniche per la caratterizzazione elettrochimica e la valutazione delle prestazioni in celle elettrolitiche anioniche (AEM) prototipali.

1. *Ionomeri*: saranno presi in considerazione gli ionomeri a base di polichetone a basso peso molecolare funzionalizzato con derivati imidazolici e le loro prestazioni saranno confrontate con ionomeri realizzati con agenti funzionalizzanti differenti a base cioè di ammine alifatiche lineari e cicliche.
2. *Membrane*: verranno realizzate membrane a scambio anionico a partire da polichetoni a alto peso molecolare allo scopo di garantire le necessarie proprietà meccaniche e di durabilità. I polichetoni disponibili commercialmente saranno selezionati sulla base del peso molecolare e delle proprietà termomeccaniche e saranno funzionalizzati con derivati imidazolici, ammine alifatiche lineari e cicliche. La quaternizzazione sarà realizzata mediante l'uso di iodio derivati con lo scopo di introdurre i gruppi carichi positivamente e garantire la più alta conducibilità anionica. La sintesi delle membrane polimeriche verrà eseguita attraverso processi di casting a partire dalle soluzioni di precursori individuate seguite dall'immersione dei film in opportuno bagno di coagulazione per ottenere la membrana finale tramite inversione di fase umida.

È previsto un contratto di consulenza all'Università di Pisa, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale) per la sintesi di formulazioni di ionomeri e membrane anioniche innovative, considerata la consolidata e riconosciuta competenza e esperienza sulla tematica suddetta.

Risultati attesi:

- | | |
|----------------|---|
| M1.1.4.1 [M12] | Sintesi di ionomeri a base di polichetone funzionalizzato come da descrizione LA in soluzioni di vari solventi |
| M1.1.4.2 [M24] | Sintesi di membrane anioniche a partire dai corrispondenti ionomeri |
| M1.1.4.3 [M42] | Testing meccanico ed elettrochimico in celle elettrolisi scala laboratorio delle membrane anioniche prodotte. Verifica delle prestazioni e della durata |

Output:

- | | |
|----------------|---|
| D1.1.4.1 [M12] | Rapporto Tecnico "Sintesi di ionomeri a base di polichetone funzionalizzato" |
| D1.1.4.2 [M24] | Rapporto Tecnico "Sintesi di membrane anioniche a partire dai corrispondenti ionomeri" |
| D1.1.4.3 [M42] | Rapporto Tecnico "Testing meccanico ed elettrochimico in celle elettrolisi scala laboratorio" |

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 - LA 1.1.5

Sviluppo di elettrolizzatori in pressione a membrana anionici

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 343.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 220.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 813.000,00

Descrizione attività:

La tecnologia AEM unisce alcuni vantaggi della tecnologia AEL, come il minor costo e l'utilizzo di acqua demineralizzata e non deionizzata, e della tecnologia PEM, come la compattezza, i rendimenti più alti e la possibilità di poter produrre idrogeno in pressione, mantenendo la produzione di ossigeno a pressione atmosferica. Tali elementi costituiscono importanti benefici ed avvicinano la tecnologia alcalina a quella PEM relativamente alla modalità di funzionamento ed alle possibili applicazioni. Tuttavia, il funzionamento in pressione genera delle problematiche relative alla stabilità della membrana e all'attraversamento dei gas prodotti attraverso la stessa (fenomeno del *crossover*) al variare delle condizioni operative.

L'obiettivo di questa LA è concettualmente in linea con quanto proposto nella LA1.1.2 per gli elettrolizzatori alcalini. Più in dettaglio, non risultando la tecnologia AEM ancora commercialmente matura, necessita ancora di ricerca per alcuni aspetti relativi alla componentistica (LA 1.1.3 e LA 1.1.4). Di conseguenza, dopo una prima fase in cui saranno valutate le criticità relative all'utilizzo dei sistemi con membrana anionica con differenziale di pressione, i limiti operativi e le performance energetiche, si procederà alla progettazione di uno stack utilizzando anche i risultati delle LA1.1.3 ed 1.1.4.

Successivamente saranno sviluppati dei modelli fluidodinamici ed energetici per poter simulare le performance in funzione delle condizioni operative (temperatura e pressione) che saranno validati mediante l'esecuzione di test su prototipi (celle e stack) realizzati appositamente. In collegamento alla LA1.1.1, saranno simulate diverse configurazioni di diffusori e geometrie, per funzionamento a pressioni operative diverse, al fine di progettare uno stack AEM che produca idrogeno in pressione con l'obiettivo di migliorare le prestazioni rispetto ad un benchmark definito. L'utilizzo di codici di calcolo in grado di effettuare analisi termiche e meccaniche, durante la fase di progettazione dello stack, consentirà di simulare l'impiego di materiali con diverse caratteristiche. Per la realizzazione dei componenti del prototipo si prenderanno in considerazione anche metodologie costruttive come la prototipazione rapida. Da un punto di vista del Balance of Plant (BoP) saranno analizzati sistemi che permettano di ridurre il crossover e che ne limitino gli effetti legati alla sicurezza.

Si prevede l'assegnazione di un contratto di consulenza al Politecnico di Torino sul tema dello sviluppo di soluzioni per incrementare il target di pressione con relativa progettazione, ambito nel quale il Politecnico vanta una ampia e comprovata esperienza.

Risultati attesi:

M1.1.5.1 [M14]	Analisi criticità sistema AEM per l'elettrolisi dell'acqua in pressione
M1.1.5.2 [M14]	Modello energetico elettrolizzatore AEM
M1.1.5.3 [M14]	Simulazione termica e meccanica di una monocella
M1.1.5.4 [M14]	Simulazione fluidodinamica monocella
M1.1.5.5 [M20]	Progettazione di una monocella AEM funzionante in pressione
M1.1.5.6 [M26]	Realizzazione di una monocella AEM funzionante in pressione
M1.1.5.7 [M28]	Test monocella di prova AEM

- M1.1.5.8 [M30] Progettazione stack AEM funzionante in pressione
- M1.1.5.9 [M36] Realizzazione stack AEM funzionante in pressione
- M1.1.5.10 [M39] Test per la validazione stack
- M1.1.5.11 [M40] Dimensionamento BoP stack realizzato

Output:

- D1.1.5.1 [M14] Rapporto Tecnico “Analisi criticità sistema AEM per l’elettrolisi dell’acqua in pressione”
- D1.1.5.2 [M14] Modello energetico di uno stack AEM
- D1.1.5.3 [M14] Modello termomeccanico di uno stack AEM
- D1.1.5.4 [M26] Prototipo monocella AEM ad alta pressione
- D1.1.5.5 [M36] Prototipo stack AEM ad alta pressione
- D1.1.5.6 [M40] Rapporto Tecnico “Dimensionamento BoP dello stack AEM”
- D1.1.5.7 [M42] Rapporto Tecnico “Analisi delle prestazioni dello stack AEM in pressione”

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 - LA 1.1.6

Sviluppo di materiali e componenti non contenenti materiali critici per elettrolizzatori anionici (AEM) operanti anche ad elevata pressione differenziale

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Alessandro Lavacchi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 114.218,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 165.548,50

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 139.321,50

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 36.912,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 456.000,00

Descrizione attività:

La LA 1.1.6 intende realizzare elettrolizzatori anionici a membrana (AEM). Tale tecnologia combina alte prestazioni e alte pressioni di esercizio, riducendo i costi e aumentando la resilienza grazie all’ambiente alcalino che elimina la necessità di metalli critici come platino e iridio. La ricerca partirà da materiali dimostrati a TRL 2 e terminerà a TRL 4 con il test in celle monoplanari e stack con aree attive fino a 50 cm².

Anno 1: Materiali (TRL2)

Elettrocatalizzatori per hydrogen evolution reaction e oxygen evolution reaction - Catodi innovativi a base di composti e leghe di Ni con alta area su materiali carboniosi. Produzione di catalizzatori embedded (HER) su Ni foam basati ad es. su ossidi misti di Mo, Ni. Catalizzatori per OER a base di ossidi di Ni, Fe e metalli di transizione abbondanti direttamente su Ni foam. Catalizzatori “NiGraf” a base di ossido di grafene incapsulato in Ni metallico (GO@Ni) da utilizzarsi tanto per la reazione HER che per quella OER. Catalizzatori nanometrici (5-10 nm) con area > 100 m²/g a bases di Ni e Fe o Ni e Mn con struttura a spinello (ad esempio NiFe₂O₄, NiMn₂O₄, eventualmente drogati con Cu sul sito B) e LDH, ad es. Ni_{1-x}Fe_xOOH.

Membrane a scambio anionico (AEM) – Membrane non fluorurate con elevata permselettività e durabilità, bassa resistenza al trasporto anionico, bassa permeabilità ad H₂ e O₂, a base di liquidi ionici polimerizzabili in reazioni senza di solvente o con solventi verdi.

Caratterizzazione morfologico/strutturale - XRD/PDF ex situ; microscopia elettronica di catalizzatori e membrane. Analisi strutturale con microfascio tramite WAXS e SAXS da membrane.

Anno 2: Selezione, ottimizzazione ed assemblaggio in MEA dei materiali (TRL2)

Caratterizzazione elettrochimica fondamentale - determinazione attività HER e OER in semicella per selezione dei catalizzatori.

Preparazione di membrane - Ottimizzazione delle membrane a base di PIL anche mediante additivi funzionali. Valutazione della nanocellulosa "CytoCell" ottenuta dai sottoprodotti di lavorazione degli agrumi come potenziale materiale di membrana e/o additivo funzionale in membrane a matrice mista.

Assemblati membrana-elettrodo (MEA) - Ottimizzazione inchiostro catalitico utilizzando i nuovi catalizzatori sviluppati e ionomeri. Le MEA saranno ottimizzate in funzione della quantità di ionomero e dei solventi più idonei per la preparazione dell'inchiostro catalitico. Le MEA saranno testate in semplici celle monoplanari di 5 cm² per valutare la qualità degli assemblati.

Ottimizzazione catalizzatori e membrane - Sintesi di materiali ottimizzati in base ai risultati della caratterizzazione elettrochimica fondamentale e dei test in cella monoplanare

Caratterizzazione - Caratterizzazione di catalizzatori, membrane, ink e MEA mediante tecniche di diffrazione e microscopia elettronica

Anno 3: integrazione materiali e test a TRL3

Scale up - Sintesi di catalizzatori e membrane selezionati in quantità sufficiente a preparare MEA per test in stack e cella monoplanare (almeno 6 tipologie di MEA con area fino a 50 cm²)

Struttura delle MEA - Test di diffrazione a raggi X (XRD/PDF) su cella elettrolitica di tipo AEM o su MEA in condizioni operative per identificare i cambiamenti strutturali indotti dal processo elettrolitico.

Anno 4: test in dispositivo a TRL4

Validazione della tecnologia in laboratorio - I MEA innovativi sviluppati saranno caratterizzati in elettrolizzatori monoplanari con area attiva di almeno 50 cm² ed in stack di elettrolizzatori con pressione differenziali con area fino a 50 cm². I test determineranno di performance energetica e stabilità

Analisi post-mortem - Le MEA testate nelle celle monoplanari e negli stack saranno analizzati in situ per determinare le caratteristiche dei meccanismi di degrado mediante analisi EIS ed ex-situ, post mortem, con tecniche cristallografiche (XRD/PDF, WAXS/SAXS) e di microscopia elettronica per identificare le modificazioni chimiche, strutturali e morfologiche dei materiali.

Risultati attesi:

M1.1.6.1 [M3]	Sintesi dei primi batch di catalizzatori HER
M1.1.6.2 [M6]	Sintesi dei primi batch di catalizzatori OER
M1.1.6.3 [M9]	Sintesi di almeno 2 tipologie di membrana
M1.1.6.4 [M12]	Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori per l'evoluzione di ossigeno (almeno 4 tipologie) e di idrogeno (almeno 4 tipologie) e membrane (almeno 4 tipologie) per operazioni in ambiente alcalino
M1.1.6.5 [M15]	Prime caratterizzazioni elettrochimiche per attività in HER e OER
M1.1.6.6 [M18]	Primi esperimenti in elettrolizzatori con celle da 5 cm ²
M1.1.6.7 [M24]	Protocollo per la preparazione della MEA"
M1.1.6.8 [M30]	Batch di materiali sufficiente alla preparazione di 6 diverse configurazioni di MEA con area di almeno 50 cm ²
M1.1.6.9 [M39]	Primi risultati sui test in celle monoplanari e stack con aree attive da 50 cm ²
M1.1.6.10 [M42]	Validazione prestazioni e stabilità in celle monoplanari di grande area (50 cm ²) e stack da 3 celle

Output:

- D1.1.6.1 [M3] Sintesi di almeno un batch di catalizzatori per HER, OER in ambiente alcalino con caratterizzazione morfologico/strutturale di catalizzatori per evoluzione di idrogeno in elettrolisi alcalina a membrana.
- D1.1.6.2 [M6] Sintesi e caratterizzazione fondamentale dei primi batch di membrane AEM
- D1.1.6.3 [M12] Sintesi e caratterizzazione morfologico strutturale di catalizzatori per l'evoluzione di ossigeno (almeno 4 tipologie) e di idrogeno (almeno 4 tipologie) e membrane (almeno 4 tipologie) per operazioni in ambiente alcalino
- D1.1.6.4 [M15] Rapporto Tecnico sullo stato di avanzamento della sintesi di membrane composite ed a base di nanocellulosa
- D1.1.6.5 [M18] Rapporto Tecnico sulla caratterizzazione elettrochimica fondamentale dei catalizzatori per HER e OER in ambiente alcalino
- D1.1.6.6 [M21] Rapporto Tecnico sulla selezione delle migliori membrane e dei migliori elettrocatalizzatori da impiegarsi nella fabbricazione di assemblati membrana elettrodo
- D1.1.6.7 [M24] Protocollo per la preparazione delle MEA con le membrane ed i catalizzatori assemblati nel corso dell'attività
- D1.1.6.8 [M27] Produzione e analisi delle performance di almeno sei tipologie di MEA basate sui catalizzatori e membrane selezionati
- D1.1.6.9 [M30] Analisi delle performance e caratterizzazione morfologico/strutturale delle tipologie di MEA in elettrolizzatore da 6 cm² con selezione di 2 MEA da impiegarsi nei test con elettrolizzatore da 50 cm²
- D1.1.6.10 [M39] Test di invecchiamento accelerati e analisi delle performance delle celle elettrolitiche da 50 cm² e di stack alimentati con sequenze che simulano le condizioni di alimentazioni tipiche delle applicazioni reali
- D1.1.6.11 [M42] Relazione finale del progetto: Principale risultati ottenuti e benchmarking dei risultati con lo stato dell'arte

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 - LA 1.1.7

Sviluppo di materiali e componenti con ridotto contenuto di metalli preziosi per elettrolizzatori protonici (PEM) basati su membrane innovative operanti anche ad elevata pressione differenziale

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Stefania Siracusano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 109.554,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 123.377,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 93.387,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 49.682,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 376.000,00

Descrizione attività:

Sviluppo materiali

Si prevede lo sviluppo di i) catalizzatori per il processo di evoluzione di ossigeno (OER) e di idrogeno (HER) ad elevata attività catalitica e con ridotto contenuto di Critical Raw Materials (CRM) e ii) di nuove membrane a scambio cationico (PEM) a matrice mista, con migliorate prestazioni elettrochimiche e stabilità rispetto a tradizionali membrane.

Per la OER saranno sviluppati catalizzatori a base di IrOx, integrati con catalizzatori di ricombinazione a base di leghe di Pt per ridurre il crossover di idrogeno. Si realizzeranno catalizzatori a base di Ir supportato da ossidi di titanio ed altri metalli di transizione a basso carico di CRM. Per la HER si realizzeranno catalizzatori di Pt basati su particelle core shell e/o supportate da ossidi e carburi metallici; verranno sviluppati anche catalizzatori molecolari di tipo diazadiene olefine supportati da carbon blacks a base di rutenio e flake di MoS₂ ad alta densità di vacanze monoatomiche di zolfo per HER con o senza Ru.

Le membrane PEM a base di perfluoropolimeri solfonati (PFSA) verranno combinate con additivi funzionali nano-strutturati, quali ossido di grafene con diverso spessore e anche rinforzate per migliorare la stabilità e le proprietà di trasporto.

Caratterizzazione fondamentale, morfologica e strutturale con tecniche ex-situ, quali XRD, XRF, SEM/TEM EELS, Raman, IR, FTIR-ATR, XPS e microscopia a forza atomica.

Sviluppo MEAs.

Dopo una adeguata caratterizzazione strutturale, compositiva, superficiale e morfologica dei catalizzatori, si procederà alla formatura di Membrane Electrode Assemblies (MEAs). Verranno prodotti e assemblati con differenti formulazioni di catalizzatore e ionomero. L'approccio del progetto sarà concentrarsi sullo sviluppo dell'inchiostro per la tecnica automatica di rivestimento spray ad ultrasuoni sulla membrana, un processo adatto alla produzione su larga scala. Particolare attenzione sarà riservata ai test elettrochimici in cella singola (5 e 8 cm²) utilizzando i protocolli di armonizzazione sviluppati dal JRC (Commissione Europea). Per valutare le prestazioni elettrochimiche verranno utilizzate diverse tecniche quali polarizzazione, spettroscopia di impedenza, test di durata e crossover a differenti pressioni operative. In parallelo si procederà a test in semicella per la determinazione delle attività HER e OER.

Test ex situ con ottimizzazioni materiali

Si studierà il degrado dovuto ad elettrolisi ad alta densità di corrente e ad elevate pressioni. Dopo i test di durata, verranno analizzati gli elettrodi post-analisi con XRD, XRF, SEM/TEM, Raman, IR, FTIR-ATR, XPS, EELS, e AFM. Identificata la causa del processo di degradazione, verranno ottimizzate le sintesi ed i processi di formatura MEAs con l'utilizzo di catalizzatori più performanti e stabili nel tempo. Una procedura di scale-up della sintesi dei catalizzatori avanzati sarà indirizzata a fornire per la produzione di MEA a livello di stack.

Validazione materiali ottimizzati su short-stack da 3 celle

L'attività sulle celle monoplanare da 50 cm² e sullo stack sarà indirizzata allo studio dei materiali sviluppati. Uno stack avanzato, basato su una compressione idraulica che migliora la tenuta delle celle, verrà utilizzato per testare i MEA prodotti con processo automatizzato di spray ad ultrasuoni. Il design dello stack sarà ottimizzato per un funzionamento in pressione. Oltre ai MEAs, verranno studiati i coating dei piatti a base di titanio per ridurre la resistenza di contatto durante il funzionamento ad alte correnti ed aumentare il tempo di vita delle celle. Tali collettori fungeranno da supporto per la membrana per il funzionamento ad alta pressione differenziale, pur mantenendo una appropriata porosità per facilitare la diffusione del reagente e la rimozione dei prodotti gassosi evitando perdite ohmiche. I componenti innovativi verranno convalidati in termini di prestazioni e stabilità in uno short-stack da 3 celle.

Risultati attesi:

M1.1.7.1 [M3] Sintesi dei primi batch di catalizzatori HER

M1.1.7.2 [M6]	Sintesi dei primi batch di catalizzatori OER
M1.1.7.3 [M9]	Sintesi di almeno 2 tipologie di membrana
M1.1.7.4 [M12]	Sviluppo di catalizzatori per OER a HER con elevata area superficiale (>150 m ² /g) e altamente dispersi
M1.1.7.5 [M12]	<p>Sviluppo di membrane rinforzate con spessori inferiori a 100 µm, con conducibilità ≥ 150 mS/cm ed un cross over < 0.5 % di H₂ in O₂</p> <p>Sviluppo di catalizzatori a base di Ir e IrOx sotto forma di nanocristalli dispersi (≤ 10 nm) e BET >150 m²/g con elevata attività e stabilità per il funzionamento ad alta densità di corrente. La maggiore attività e stabilità consentirà una diminuzione da 5 a 10 volte del carico di metalli preziosi negli elettrodi con una riduzione concreta del contenuto di materie prime critiche nell'elettrolisi PEM.</p> <p>Sviluppo di un catalizzatore di ricombinazione a base di leghe di Pt con struttura core-shell avente Pt negli strati più esterni e contenente un elemento elettropositivo all'interno. Questa configurazione consentirà di ridurre l'ossidazione del Pt ad alti potenziali; il catalizzatore di ricombinazione, utilizzato a bassissimo carico, sarà integrato nell'anodo all'interfaccia con la membrana per ossidare elettrochimicamente l'idrogeno permeato che non si è ricombinato al nanofiller della membrana.</p> <p>Sviluppo nuovi elettrocatalizzatori (EC) per la HER e la OER a basso carico di Pt e Ir con processi facilmente scalabili con fornitura di almeno 4 formulazioni di catalizzatori anodici (OER) e 4 formulazioni di catalizzatori catodici (HER).</p> <p>Sviluppo di nuove membrane a base di PFSA sottili, con conducibilità ≥ 150 mS/cm a 80°C, per ridurre la resistenza al trasporto ionico ed aumentare l'efficienza energetica dei processi elettrolitici, migliorando stabilità e proprietà barriera verso H₂ e O₂.</p>
M1.1.7.6 [M18-M24]	<p>Prime caratterizzazioni elettrochimiche per attività in HER e OER</p> <p>Riduzione del carico del catalizzatore, aumentando le prestazioni e l'efficienza, fino a 1 - 1,2 mg cm⁻² per MEA ed ottimizzando l'inchiostro catalizzatore-ionomero per estendere l'interfaccia di reazione mediante l'utilizzo di uno spray coater. Ciò aumenterà la superficie elettrochimicamente attiva [M24]</p>
M1.1.7.7 [M24-M42]	<p>Primi esperimenti in elettrolizzatori con celle da 5 e 8 cm² anche pressione differenziale [M24]</p> <p>Ottenimento di densità di corrente superiori 4 A cm⁻² a 1,85 V e 8 A cm⁻² a 2,2 V in cella singola ad 80-90°C. Test di durata di almeno 3000 h con velocità di degradazione inferiore a 15 µV/h; mantenere il crossover di H₂ in O₂ sotto i limiti di infiammabilità (4%) nel range di densità di correnti tra 0,2 - 4 A cm⁻² fino a 30 bar [M36]</p> <p>Scale-up procedure di produzione della sintesi fino a 30 g [M36]</p> <p>Sviluppo e test di una cella monoplanare da 50 cm² e di uno stack da 3 celle da 50 cm² con prestazioni relative ad efficienza di voltaggio superiore all'75% a 4 A cm⁻² [M42]</p>
M1.1.7.8 [M36]	Selezione dei catalizzatori più performanti dopo validazione in cella singola e scale-up delle sintesi in large-batch
M1.1.7.9 [M42]	Validazione di uno short stack in performance (4 A cm ⁻² ad un potenziale di cella < 1,8 V) e stabilità con velocità di degradazione < 15 µV h ⁻¹ con elettrodi

contenenti metalli del gruppo del platino e < 50 $\mu\text{V h}^{-1}$ con elettrodi senza metalli del gruppo del platino

Output:

D1.1.7.1 [M9]	Protocollo per la preparazione di membrane PEM a matrice mista
D1.1.7.2 [M12]	Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori per l'evoluzione di idrogeno per elettrolisi PEM
D1.1.7.3 [M12]	Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori per l'evoluzione di ossigeno per elettrolisi PEM"
D1.1.7.4 [M18]	Protocolli di Test elettrochimici per celle singole
D1.1.7.5 [M24]	Data-set attività catalitica, proprietà elettrochimiche e stabilità MEAs sviluppati
D1.1.7.6 [M36]	Ottimizzazione e scale-up componenti per elettrolizzatori avanzati
D1.1.7.7 [M36]	Protocolli di Test elettrochimici per short stack
D1.1.7.8 [M42]	Validazione prestazioni e stabilità in stack da 3 celle in elettrolisi PEM

TRL (inizio-fine): 3-4

ELETTROLISI AD ALTA TEMPERATURA

WP1.1 – LA1.1.8

Sviluppo, caratterizzazione e ottimizzazione dei processi di elettrolisi convenzionale e alternativa in sistemi ad ossidi solidi per la produzione di idrogeno e syngas

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 114.915,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 814.915,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività si pone l'obiettivo di ottimizzare le condizioni operative nella modalità elettrolisi per celle ad ossidi solidi (SOEC), attraverso lo sviluppo e la realizzazione di una stazione sperimentale *ad-hoc*, per la valutazione delle prestazioni elettrochimiche di cella (mediante variazione parametrica dei principali parametri operativi quali temperatura, densità di corrente, fattore di utilizzo di vapore, concentrazione $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$, etc.), e per la misura e la quantificazione, a livello sperimentale, dei gradienti termici e chimici che si sviluppano agli elettrodi in tali modalità. Le strategie di ottimizzazione adottate saranno focalizzate sulla valutazione e sul miglioramento della distribuzione dei flussi di gas e delle temperature agli elettrodi, quantificandone l'impatto sull'efficienza di conversione e sulla sua stabilità nel tempo.

La prima fase dell'attività prevede, quindi, la progettazione, realizzazione e validazione dell'impianto sperimentale per il *multi-campionamento localizzato* della composizione gas e delle temperature. Successivamente, l'impianto sarà utilizzato per lo studio dell'elettrolisi di vapore (SOEC) su celle ad ossidi solidi commerciali: le indagini elettrochimiche e le mappature termiche e di concentrazione

delle specie chimiche ottenute dal multi-campionamento saranno analizzate per delineare possibili ottimizzazioni ottenibili attraverso una modifica nella direzione dei flussi dei gas e/o nel loro pattern di diffusione lungo la superficie degli elettrodi.

I risultati ottenuti da questa prima campagna sperimentale sull'elettrolisi di vapore convenzionale saranno poi trasferiti su una seconda campagna sperimentale focalizzata sulla co-elettrolisi di vapore e CO₂ (co-SOEC), valutando se i possibili benefici ottenuti con l'ottimizzazione delle condizioni nell'elettrolisi convenzionale risultino altrettanto efficaci nella co-elettrolisi. Inoltre, sarà verificata l'effettiva compatibilità del syngas prodotto (H₂/CO) in diverse condizioni operative, come reattivo in processi per la sintesi di combustibili sintetici secondari (metanazione, Fischer Tropsch, etc.).

Infine, verrà investigata approfonditamente la modalità di elettrolisi assistita - *fuel assisted electrolysis* (SO FEC). In particolare, si invierà alla cella una quantità di un gas combustibile, come il metano, nel comparto anodico di una SOEC per ridurre drasticamente (fino al 90%) il consumo specifico (kWh_e/Nm³H₂). La modalità SO FEC sarà ottimizzata a partire dai risultati ottenuti nelle prime due campagne sperimentali e applicata sia all'elettrolisi da vapore che alla co-elettrolisi di vapore e CO₂, con l'obiettivo di determinare in quali condizioni questa modalità alternativa di elettrolisi produca un beneficio effettivo per la produzione di idrogeno (o syngas).

Si prevede l'assegnazione di un contratto di consulenza all'Università Sapienza di Roma - Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente (DICMA) - per un'attività volta allo studio ed elaborazione di pattern di flusso attraverso i piatti ed i canali della cella mediante lo sviluppo di modelli computazionali fluidodinamici, considerata la consolidata e riconosciuta competenza e esperienza sulla tematica suddetta.

Risultati attesi:

M1.1.8.1 [M12]	Realizzazione e validazione di un set-up innovativo per il campionamento localizzato di concentrazioni e temperature, ottimizzato per applicazioni in elettrolisi
M1.1.8.2 [M18]	Mappatura chimica e termica di celle ad ossidi solidi operanti in modalità SOEC convenzionale e ottimizzazione delle condizioni sperimentali a partire dai risultati elettrochimici, chimici e termici ottenuti con attraverso il set-up innovativo
M1.1.8.3 [M24]	Sviluppo di design per la distribuzione dei flussi e delle temperature volte all'ottimizzazione dei gradienti termici e chimici, valutandone il riscontro sull'efficienza di produzione di H ₂ e sulla sua stabilità nel tempo
M1.1.8.4 [M30]	Mappatura chimica e termica di celle ad ossidi solidi per la co-elettrolisi di vapore e CO ₂ e ottimizzazione delle condizioni sperimentali a partire dai risultati elettrochimici, chimici e termici ottenuti attraverso il set-up innovativo
M1.1.8.5 [M36]	Applicazione delle strategie di ottimizzazione sviluppate per l'elettrolisi di vapore, e valutazione del loro impatto nel caso della co-elettrolisi
M1.1.8.6 [M40]	Riduzione significativa della quota di energia elettrica necessaria all'elettrolisi e alla co-elettrolisi attraverso l'applicazione della <i>fuel assisted electrolysis</i> per entrambe le modalità e quantificazione degli effettivi benefici di questa strategia in termini energetici
M1.1.8.7 [M42]	Analisi delle performance di celle ad ossidi solidi operanti in modalità SOEC, co-SOEC e SO FEC, con il raggiungimento di un consumo specifico ≤ 4 kWh _e /Nm ³ H ₂ (i.e. efficienza di conversione elettricità-idrogeno $\geq 85\%$ in base al PCI) in modalità SOEC

Output:

D1.1.8.1 [M12]	Realizzazione del set-up per il multi-campionamento localizzato e relativo Rapporto tecnico sulla progettazione e validazione dello stesso
D1.1.8.2 [M24]	Rapporto tecnico sulle performance e l'ottimizzazione dell'elettrolisi di vapore (SOEC)
D1.1.8.3 [M36]	Rapporto tecnico sulle performance e l'ottimizzazione della co-elettrolisi di vapore e CO ₂ (co-SOEC)
D1.1.8.4 [M42]	Rapporto tecnico sulle performance dell'elettrolisi assistita (SOEC)

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.9***Sviluppo e ottimizzazione di materiali, componenti e nuove architetture di cella per elettrolizzatori a carbonati fusi***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Stefano Frangini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 180.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 180.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 128.620,06

Costo totale LA (escluse spese generali): € 638.620,06

Descrizione attività:

Particolare attenzione viene attualmente dedicata alla tecnologia di elettrolisi ad alta temperatura basata su elettroliti ad ossidi solidi, molto promettente dal punto della flessibilità, versatilità di utilizzo e dei ridotti consumi di energia, ma che, tuttavia, presenta delle limitazioni per quanto riguarda la durabilità di materiali e componenti di cella/stack.

Una possibile alternativa per una produzione totalmente rinnovabile di idrogeno è rappresentata dalle celle a combustibile a carbonati fusi che offrono maggiori opportunità di integrazione con fonti di energia termica rinnovabile (es, impianti solari a concentrazione), potendo operare a temperature inferiori grazie alla migliore conducibilità elettrolitica dei carbonati fusi rispetto agli elettroliti di ossidi solidi.

Nella presente linea di attività verranno sviluppati materiali e processi di elettrolisi a carbonati fusi seguendo due linee di ricerca principali, caratterizzate da temperature di esercizio diverse e da un differente livello di maturità tecnologica.

La prima linea di ricerca, a più alta maturità tecnologica, sfrutterà l'attuale temperatura (620-650°C) e tecnologia delle celle a combustibile a carbonati fusi, che oggi rappresenta una tecnologia commercialmente matura con impieghi diversificati nel settore della generazione distribuita di energia elettrica, ma il cui uso sarebbe assolutamente innovativo nell'ambito della produzione di idrogeno specialmente se inserito all'interno di reti Power-to-Gas per applicazioni di accumulo energetico. L'attività prevede di sviluppare materiali di cella modificati o innovativi che, sulla base della letteratura esistente, appaiono avere caratteristiche migliorate di funzionalità e stabilità nelle condizioni di lavoro impegnative (variazioni rapide del potenziale redox e del carico di corrente) che caratterizzano il funzionamento di una cella di elettrolisi o di una cella operante in regime misto di elettrolisi/fuel cell (cella reversibile). Data la necessità di sviluppare materiali innovativi, si prevede anche di realizzare un apposito banco di colaggio (tape casting) per la produzione su scala

significativa dei materiali di cella, che potrà essere adattato anche alla produzione di materiali per altre tipologie di celle di alta temperatura (celle ad ossidi solidi e a conduttori protonici). Lo studio e lo sviluppo di leghe metalliche e coatings protettivi innovativi per migliorare la stabilità dei collettori di corrente catodici e anodici nelle nuove condizioni lavoro è un altro tema che sarà trattato nell'ambito della suddetta LA. A valle di questi studi, è prevista la produzione di collettori di corrente da utilizzare per le attività di testing di cella su scala di laboratorio (10x10cm).

La seconda linea di ricerca avrà un carattere più esplorativo e tenderà allo sviluppo di elettrolizzatori di concezione e struttura innovativa che possano operare efficacemente a temperature medio-basse (480-550°C) per la produzione di idrogeno puro, sfruttando il fatto che a queste temperature la formazione di monossido di carbonio in ambienti gassosi riformanti è termodinamicamente sfavorita. Design innovativi di cella verranno studiati e sviluppati con l'intento di minimizzare le condizioni di reazione che possano favorire la formazione di monossido di carbonio (ad esempio, lunghi tempi di contatto fra gas ed elettrodo). Particolare attenzione verrà posta anche allo studio di materiali innovativi con cui realizzare celle ad elevate caratteristiche di stabilità ed efficienza alle temperature medio/basse.

Nello specifico, la presente LA si articola in tre attività principali:

- Attività 1 - Sviluppo e messa a punto di un banco di colatura per la produzione di componenti per celle a combustibile a carbonati fusi reversibili. Caratterizzazione chimico-fisica dei componenti prodotti.
- Attività 2 - Testing e analisi post-mortem di celle a combustibili a carbonati fusi reversibili, in accordo con i componenti preparati durante l'attività 1.
- Attività 3 - Studio e sviluppo di nuovi materiali e di nuove strutture di cella per elettrolizzatori a carbonati fusi operanti a $T < 550^{\circ}\text{C}$ e finalizzati alla produzione di idrogeno puro.

Risultati attesi:

Di seguito si riportano i Milestones dell'attività:

M1.1.9.1 [M18]	Completamento acquisizione materiali e attrezzature per la preparazione dei tapes
M1.1.9.2 [M24]	Sviluppo di materiali e coatings innovativi per collettori di corrente, con relativi test di caratterizzazione
M1.1.9.3 [M30]	Progettazione e realizzazione prototipale di una cella di elettrolisi a medio/bassa temperatura, e relativi test di caratterizzazione
M1.1.9.4 [M36]	Sviluppo e messa a punto delle procedure di produzione dei materiali elettrodici e matrice via tape casting
M1.1.9.5 [M42]	Completamento attività di single-cell testing (10x10cm) con i componenti di cella e collettori di corrente prodotti durante l'attività

Output:

D1.1.9.1 [M24]	Rapporto Tecnico "Materiali e coatings innovativi per celle di elettrolisi a carbonati fusi e collettori"
D1.1.9.2 [M42]	Rapporto Tecnico "Sviluppo e caratterizzazione di una cella di elettrolisi a carbonati fusi funzionante a media/bassa temperatura"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.10

Studio parametrico dei principali fenomeni chimico-fisici di elettrolizzatori a carbonati fusi alimentati da RES

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 55.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 655.000,00

Descrizione attività:

La presente LA mira ad effettuare un dettagliato e sistematico studio parametrico dei fenomeni chimico fisici degli elettrolizzatori a carbonati fusi (MCEC), al fine di acquisire informazioni fondamentali per lo sviluppo ed il miglioramento della tecnologia per la produzione di idrogeno.

Le attività sperimentali si concentreranno su due aspetti principali:

- Analisi approfondita dei meccanismi di reazione chimici ed elettrochimici all'interno dell'elettrolizzatore
- Studio delle performance in un comportamento dinamico che simuli un accoppiamento delle MCEC con una fonte rinnovabile.

La prima parte delle attività sperimentali sarà interamente dedicata ad uno studio sistematico, tramite i principali strumenti di misura delle performance elettrochimiche (e.g. test di polarizzazione galvanostatica, spettri di impedenza), dei fenomeni chimico-fisici che governano e influenzano il corretto funzionamento della cella in condizioni stazionarie.

Per raggiungere questo scopo ci si avvarrà di un approccio ibrido modellistico-sperimentale. Tale approccio prevede la definizione di una campagna sperimentale ad-hoc tarata sulle potenzialità di diverse stazioni di prova: i.e. celle a bottone da 3cm² con elettrodi di riferimento in grado di fornire dati elettrochimici sia tutta la cella che sui singoli componenti, celle singole da 100 cm² sulle quali è possibile effettuare un'analisi gas sia in ingresso che in uscita dei compartimenti anodici e catodici. I dati raccolti saranno utilizzati per un'analisi modellistica basata sulla meccanica quantistica multi scala mirata a definire energie di attivazione, conduttività ionica e resistenza alla diffusione per materiali e componenti allo stato dell'arte delle MCEC. Questo permetterà, da un lato, di individuare con maggiore precisione la migliore finestra operativa per questa tecnologia, e, dall'altro, di teorizzare formulazioni innovative per materiali e struttura dei componenti di una MCEC. La seconda parte di questa linea di attività si concentrerà, invece, sullo studio dell'accoppiamento degli elettrolizzatori a carbonati fusi in un contesto reale di approvvigionamento da fonti rinnovabili non programmabili (fotovoltaico ed eolico). A tal fine verranno definite delle campagne sperimentali dinamiche che simulino alcuni giorni tipo dell'anno e il conseguente approvvigionamento di energia elettrica. Le prove sperimentali si concentreranno, dunque, sulla risposta dinamica dei dispositivi MCEC alimentati da una potenza elettrica variabile nell'arco della giornata. In previsione di una gestione quanto più possibile integrata di questi dispositivi con la rete elettrica, verranno testate alcune strategie che possano garantire un "hot standby" dell'elettrolizzatore nel momento in cui la risorsa rinnovabile non sia disponibile (e.g. periodo notturno). Nello specifico si prenderanno in considerazione le seguenti opzioni:

- funzionamento a carico minimo: studiando sperimentalmente il punto di ottimo funzionamento in termini di fattori di utilizzo, energia presa dalla rete elettrica e potenza termica necessaria per mantenere in temperatura l'elettrolizzatore.
- funzionamento reversibile: la cella verrà operata in modalità fuel cell per tutto il periodo di mancanza di approvvigionamento da RES, valutando sperimentalmente il miglior compromesso

tra combustibile consumato, potenza elettrica prodotta ed energia termica necessaria al corretto funzionamento.

Al termine delle campagne sperimentali preliminari saranno concluse si procederà con dei test di lunga durata (e.g. 500 ore) volti a mettere in luce i fenomeni di degrado nel tempo, di un funzionamento dinamico delle MCEC.

L'attività si avvarrà della collaborazione dell'università di Napoli Federico II, Dipartimento di Chimica, per effettuare un'analisi modellistica basata sulla meccanica quantistica multi scala, volta a definire energie di attivazione, conduttività ionica e resistenza alla diffusione per materiali e componenti allo stato dell'arte delle MCEC. Saranno estese alla tecnologia dei carbonati fusi le competenze e le esperienze, possedute dal gruppo di ricerca selezionato, sulla tematica della fisica quantistica applicata alle fuel cell.

Risultati attesi:

- M1.1.10.1 [M3] Definizione di una matrice sperimentale idonea all'individuazione dei fenomeni chimico-fisici preponderanti nelle MCEC in condizioni stazionarie al variare dei parametri operativi e in test di lunga durata
- M1.1.10.2 [M18] Completamento della prima campagna sperimentale
- M1.1.10.3 [M18] Calibrazione e taratura del modello multiscala basato sulla meccanica quantistica per l'identificazione dei meccanismi di reazione e dei fenomeni chimico-fisici all'interno della MCEC
- M1.1.10.4 [M36] Completamento della seconda campagna sperimentale basata su test di lunga durata mirata a identificare i fenomeni di degrado nel tempo
- M1.1.10.5 [M42] Ulteriore affinazione del modello multiscala basato sui risultati della seconda campagna sperimentale e teorizzazione di formulazioni innovative dei componenti delle MCEC

Output:

- D1.1.10.1 [M12] Rapporto Tecnico "Definizione delle campagne sperimentali"
- D1.1.10.2 [M24] Rapporto Tecnico "Risultati sperimentali ottenuti nella prima campagna di test mirata alla variazione dei parametri operativi in condizioni stazionarie"
- D1.1.10.3 [M28] Rapporto Tecnico "Sviluppo del modello multiscala"
- D1.1.10.4 [M42] Rapporto Tecnico "Risultati sperimentali ottenuti nella seconda campagna di test mirata all'identificazione dei principali fenomeni di degrado nel tempo"

TRL (inizio-fine): 3-4

WP1.1 – LA1.1.11

Sviluppo di materiali e componenti innovativi per elettrolisi di vapore in celle ad ossidi solidi operanti a temperatura intermedie (<750 °C) e validazione in dispositivi prototipali da laboratorio

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Angela Gondolini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 69.960,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 104.752,50

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 113.679,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 87.608,50

Costo totale LA: € 376.000,00

Descrizione attività:

La presente LA è caratterizzata da un approccio multidisciplinare riguardante la sintesi di materiali, la realizzazione di nuove architetture di celle, la caratterizzazione di dispositivi elettrochimici, l'ottimizzazione di processi elettrochimici e valutazione dei meccanismi di reazione e dei meccanismi di usura delle celle. Sulla base dell'esperienza pregressa, si propone di: i) sviluppare materiali e componenti innovativi a contenuto basso o nullo di materiali critici e/o tossici da integrare in celle ad architettura planare, ii) lo sviluppo di componenti di cella a conduzione protonica mediante processi innovativi (come il freeze casting) per l'ottenimento di sistemi operanti a temperature intermedie per la produzione di idrogeno ad alta efficienza.

Il primo anno di attività prevede un attento studio di materiali e architetture rappresentanti lo stato dell'arte per la realizzazione di celle ad ossidi solidi planari a conduzione protonica H-SOEC. In primo luogo, verranno messe a punto le procedure di preparazione di elettrodi e elettroliti innovativi. Contestualmente, verranno formulate ed ottimizzate sospensioni di materiali a base di cerati-zirconati per l'elettrolita e di elettrodi innovativi a base di perovskiti exsolute. In questa fase verranno inoltre prodotte semicelle da utilizzarsi come riferimento mediante processi convenzionali di colaggio su nastro e serigrafia. [TRL 2]

Durante il secondo anno, la ricerca verrà focalizzata sulla messa a punto del processo di freeze-casting per lo sviluppo di una cella innovativa SOEC a conduzione protonica. L'attività dovrà prevedere l'ottimizzazione di sospensioni a base cerati-zirconati idonee al processo di freeze casting nonché lo sviluppo di opportuni inchiostri serigrafici dello stesso materiale per la realizzazione di un backbone poroso/denso. L'elettrodo poroso verrà impregnato con elettrocatalizzatori standard o innovativi a base di perovskiti exsolute al fine di realizzare elettrodi con basso o nullo contenuto di Ni. Contemporaneamente, verrà messo a punto il processo di produzione di una cella riferimento a conduzione protonica elettrodo supportata, mediante colaggio su nastro e serigrafia. I multilayers prodotti verranno ampiamente caratterizzati dal punto di vista morfologico/strutturale/funzionale. Lo studio chimico-fisico ed elettrochimico dovrà definire i materiali più promettenti. [TRL 2-3]

Il terzo anno prevede lo studio e la sintesi di materiali, individuati durante la prima annualità, da infiltrare nel comparto elettrodico prodotto mediante freeze casting. Soluzioni contenenti i precursori dei sistemi desiderati o loro sospensioni colloidali verranno sviluppate a tal scopo. Le semicelle innovative prodotte verranno caratterizzate dal punto di vista strutturale, morfologico e funzionale. I risultati dei test elettrochimici definiranno la miglior architettura di cella e verranno confrontati con gli output provenienti dalla cella SOEC di riferimento basandosi sulla resistenza di polarizzazione dei diversi elettrodi prodotti a diverse temperature < 750 °C e in diverse atmosfere. [TRL 3-4]

L'attività prevista nell'ultima annualità concerne la produzione e caratterizzazione della cella SOEC innovativa completa. In questa fase verrà formulato il corrispettivo controelettrodo (air o fuel electrode) da depositare sulla cella catodo o anodo supportata. Le celle (diametri > 10 mm) verranno caratterizzate dal punto di vista morfologico e funzionale. Le informazioni acquisite in fase di testing verranno utilizzate per implementare ed ottimizzare il processo di produzione. Verrà anche valutata la stabilità di tali celle mediante caratterizzazione post-mortem. [TRL 4]

Risultati attesi:

M1.1.11.1 [M6] Definizione dei materiali più promettenti attualmente stato dell'arte per la produzione di celle ad ossido solido a conduzione protonica per applicazione in elettrolizzatori a temperatura intermedia

- M1.1.11.2 [M9] Rassegna delle architetture di cella attualmente stato dell'arte, definendone vantaggi e svantaggi
- M1.1.11.3 [M12] Produzione di sospensioni a base di cerati-zirconati, idonee al processo di collaggio su nastro e serigrafia e delle relative semicelle elettrodo-supportate da utilizzarsi come riferimento
- M1.1.11.4 [M21] Realizzazione e caratterizzazione di un back-bone poroso/denso a base di cerati-zirconati, costituito da un supporto avente porosità allineata prodotto mediante freeze-casting un elettrolita denso applicato mediante serigrafia
- M1.1.11.5 [M21] Produzione di una cella a conduzione protonica, elettrodo supportata attraverso processi convenzionali
- M1.1.11.6 [M24] Realizzazione e caratterizzazione della semicella innovativa infiltrata con elettrocatalizzatori standard
- M1.1.11.7 [M33] Sintesi dei materiali elettrodici ritenuti stato dell'arte e infiltrazione/impregnazione del supporto a porosità orientata costituente il back-bone per l'ottenimento di semicelle a conduzione protonica innovative
- M1.1.11.8 [M36] Caratterizzazione morfologica e funzionale completa di tutte le semicelle innovative realizzate
- M1.1.11.9 [M39] Produzione di una sospensione del controelettrodo idonea al processo di deposizione mediante serigrafia per la realizzazione della cella innovativa completa
- M1.1.11.10 [M42] Realizzazione e caratterizzazione morfologica e funzionale completa della cella innovativa

Output:

- D1.1.11.1 [M6] Rapporto tecnico "Data-sheet dei materiali più promettenti e delle architetture di cella attualmente stato dell'arte per applicazioni come H-SOEC"
- D1.1.11.2 [M9] Prototipo di sospensioni a base di cerati-zirconati, idonee al processo di collaggio su nastro e serigrafia, per la realizzazione di semicelle elettrodo-supportate da utilizzarsi come riferimento
- D1.1.11.3 [M12] Prototipo di semicelle elettrodo-supportate da utilizzarsi come riferimento
- D1.1.11.4 [M15] Prototipo di Back-bone poroso/denso a base di cerati-zirconati e cella elettrodo supportata convenzionale
- D1.1.11.5 [M18] Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di un back-bone poroso/denso a base di cerati-zirconati mediante freeze-casting/serigrafia e di una cella elettrodo supportata attraverso processi convenzionali"
- D1.1.11.6 [M20] Rapporto tecnico "Data sheet delle caratteristiche funzionali della cella convenzionale e delle semicelle prodotte"
- D1.1.11.7 [M30] Rapporto tecnico "Protocollo di sintesi di materiali elettrodici ritenuti stato dell'arte idonei a processi di infiltrazione/impregnazione e data-sheet delle caratteristiche morfologiche/strutturali delle semicelle innovative"
- D1.1.11.8 [M33] Rapporto tecnico "Data sheet delle caratteristiche funzionali di semicelle costituite da materiali ed architetture innovative e loro stabilità"
- D1.1.11.9 [M39] Prototipo di cella innovativa completa costituita da un elettrodo supportante avente porosità direzionata
- D1.1.11.10 [M42] Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di sospensioni del controelettrodo e di celle innovative complete"

D1.1.11.11 [M42] Rapporto tecnico "Data sheet delle caratteristiche funzionali di celle costituite da materiali ed architetture innovative"

TRL (inizio-fine): 2-4

TEST E VALIDAZIONE DI TECNOLOGIE INNOVATIVE E/O MATURE E COMMERCIALI

WP1.1 – LA1.1.12

Valutazione delle prestazioni elettrochimiche di celle ad ossidi solidi operanti in modalità reversibile: quantificazione dei fenomeni di degrado e sviluppo di strategie di mitigazione

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 450.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 125.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 99.465,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 974.465,00

Descrizione attività:

La LA1.1.12 ha come obiettivo generale la validazione di sistemi rSOC maturi e/o commerciali (celle e/o short stack), al fine di favorirne una diffusione sul mercato. Nell'ambito della LA saranno condotte analisi sperimentali di celle/stack ad ossidi solidi (SOC) operanti in modalità reversibile (rSOC), capaci di alternare la modalità elettrolisi (SOEC) alla modalità cella a combustibile (SOFC). In una prima campagna sperimentale si alterneranno periodi di operazione in regime di carico costante in modalità SOEC e in modalità SOFC in condizioni di esercizio standard per ciascuna modalità operativa (temperatura, composizione, fattori di utilizzo, etc.). In tal modo, sarà possibile identificare l'influenza sulle performance elettrochimiche (e fenomeni di degrado) in relazione ai principali parametri operativi relativi alla modalità rSOC (durata della modalità SOEC/SOFC, frequenza di scambio tra modalità SOEC/SOFC, rapporto di potenza SOEC/SOFC, etc.), che saranno variati in via parametrica.

Una seconda campagna sperimentale sarà implementata a partire dai dati ottenuti in condizioni stazionarie, per valutare la risposta dinamica di una cella/stack rSOC con condizioni di input/output elettriche variabili nel tempo. Si concentrerà l'analisi sugli scenari di accoppiamento con sistemi di conversione da RES variabili e non programmabili (ad esempio solare fotovoltaico, eolico) impostando come condizioni di input/output elettriche quelle ottenute dall'analisi statistica della producibilità di tali impianti e dei profili di domanda elettrica per diversi tipi di utenze rilevanti. Il sistema rSOC in questo modo lavorerà in inseguimento elettrico, in modalità SOEC durante le ore di disponibilità di energia elettrica da RES per produrre idrogeno ed in modalità SOFC nelle ore restanti per produrre potenza per soddisfare il carico individuato. Durante la modalità SOEC l'idrogeno prodotto sarà contabilizzato per essere successivamente consumato in modalità SOFC (simulando un accumulo locale), valutando anche l'alimentazione diretta da rete gas naturale al fine di studiare l'interoperabilità tra le reti (elettrica/gas).

Analisi sperimentali specifiche saranno condotte riguardo la gestione del transitorio tra le due modalità operative (nell'ordine dei minuti), analizzando i transitori elettrici, chimici e termici della cella elettrochimica stessa e dei sistemi al contorno (alimentazione gas, elettrica, etc.) legati al passaggio dalla modalità SOEC alla modalità SOFC (e viceversa). Saranno sviluppate strategie di

gestione di tale transitorio, individuando le condizioni di trade-off tra la rapidità dello switch e la salvaguardia della vita utile della cella.

Le performance elettrochimiche saranno analizzate mediante monitoraggio di voltaggio di cella/stack sotto carico, curve di polarizzazione (fino a densità di corrente elevate) e mediante misure sistematiche di spettroscopia d'impedenza al fine di identificare i principali fenomeni fisico-chimici coinvolti. L'analisi di impedenza (EIS e successiva analisi mediante tecnica DRT e ECM) permetterà l'identificazione della natura, dipendenza ed evoluzione dei principali processi limitanti e meccanismi di degradazione nell'operazione della cella in modalità rSOC. L'analisi elettrochimica sarà corredata dalla caratterizzazione morfologica/microstrutturale pre/post-test mediante tecniche di microscopia (SEM, EDS-EDX).

Si prevede lo sviluppo e/o upgrade di un tool numerico per l'analisi semi-quantitativa delle immagini SEM grazie all'implementazione di tecniche di analisi d'immagine (IAM) quali il metodo dell'intercetta, in modo da quantificare parametri rilevanti come porosità, distribuzione delle particelle, diametro medio delle particelle, etc. che possono influire nelle performance. Tali informazioni saranno incrociate con i dati elettrochimici per una migliore determinazione quantitativa ed integrata sulla natura e dei meccanismi di degrado precedentemente individuati.

L'attività si potrà avvalere della collaborazione dell'Università di Genova, Dipartimento di ingegneria civile, chimica e ambientale, per attività legate alla caratterizzazione chimico-fisica di materiali e componenti, con tecniche avanzate.

Risultati attesi:

M1.1.12.1 [M24] Mappatura dei principali meccanismi di degrado di celle a ossidi solidi operate in modalità rSOC ottenuti mediante l'analisi dei dati sperimentali su celle per un numero rilevante di combinazioni dei parametri relativi alla modalità di operazione rSOC (durata SOEC/SOFC; frequenze di switch SOEC/SOFC; rapporti di potenza SOEC/SOFC)

M1.1.12.2 [M36] Dimostrazione, a livello di cella, dei seguenti KPI:

- Operazione sotto protocollo rSOC stazionario per almeno 3000 h aggregate
- Frequenza switch: dimostrazione della possibilità di almeno #2 switch giornalieri
- Tempo di switch: ca. 30 minuti, ripetuto per almeno #10 switch
- Efficienza di round-trip: >38% (SOFC alimentato da idrogeno)
- Degradazione: <5%/1000 h; <0.6%/10 cicli SOEC/SOFC (2 cicli/giorno)
- Rapporto tra potenza nominale SOEC/SOFC: >3

M1.1.12.3 [M42] Dimostrazione di almeno #1 test dinamico di 100 h (4x giornate caratteristiche divise per stagione) a livello stack di un sistema stand-alone in modalità rSOC secondo profili caratteristici di generazione RES e domanda elettrica

Output:

Gli output relativi alla LA si possono riassumere nei seguenti rapporti tecnici:

D1.1.12.1 [M24] Rapporto Tecnico "Sviluppo di un tool numerico per l'analisi semi-quantitativa delle immagini SEM grazie all'implementazione di tecniche di analisi d'immagine (IAM)"

D1.1.12.2 [M24] Rapporto Tecnico "Prima campagna sperimentale, per identificare i principali processi fisico-chimici limitanti nella operazione in modalità rSOC ed i principali fenomeni di degrado"

- D1.1.12.3 [M36] Rapporto Tecnico “Analisi e gestione ottimale del transitorio di switch SOEC/SOFC”
- D1.1.12.4 [M42] Rapporto Tecnico “Seconda campagna sperimentale di testing dinamico, in configurazioni di accoppiamento con RES”

TRL (inizio-fine): 3-5

WP1.1 – LA1.1.13

***Test prestazionali stazionari e dinamici di elettrolizzatori innovativi
nella test facility multienergy di RSE***

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Andrea Rossetti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 190.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 202.031,47

Costo totale LA (escluse spese generali): € 682.031,47

Descrizione attività:

Un sistema P2G è costituito da una unità principale, ovvero l'elettrolizzatore, e una serie di componenti ausiliari quali scambiatori di calore, compressori, sistemi di accumulo di idrogeno, unità di essiccazione, che sono tutti essenziali nel garantire le performance del sistema. Nell'ambito dell'attività svolta in questa LA verranno prese in considerazione le tecnologie a bassa temperatura ($T < 120^{\circ}\text{C}$) quali alcalina e/o PEM.

L'attività si pone lo scopo di sperimentare nella facility multienergy RSE, elettrolizzatori di diversa tecnologia volti alla produzione di idrogeno direttamente da energia elettrica proveniente da fonte rinnovabile nell'ottica di valutarne le prestazioni, le criticità e i possibili sviluppi con particolare riferimento a questa particolare applicazione dove l'elettrolizzatore si trova ad operare in condizioni molto variabili. Le prestazioni saranno indagate in termini di purezza dell'idrogeno prodotto, efficienza, funzionamento a carichi parziali, transitori termici etc. Si procederà all'identificazione dei profili di carico di produzione di energia elettrica da fonte eolica e solare, da applicare sia a livello modellistico, sia a livello sperimentale direttamente nella facility multienergy di RSE, dove verrà installato e sperimentato l'elettrolizzatore.

- In letteratura sono disponibili diversi lavori sulla tecnologia P2G in sé, ma un'analisi dettagliata delle criticità operative relative all'integrazione di un elettrolizzatore in un sistema energetico complesso non è ancora stata affrontata pienamente dal punto di vista tecnico-economico. Si citano alcuni esempi: la gestione della temperatura operativa dell'elettrolizzatore in funzione della natura della corrente elettrica in ingresso ha un significativo impatto nella massimizzazione della produzione di idrogeno: infatti recenti lavori focalizzati sull'analisi sperimentale evidenziano che l'efficienza dell'elettrolizzatore PEM è inferiore quando viene azionato con una corrente elettrica variabile nell'ordine dei secondi a causa del ritardo nel tempo di risposta termica.
- Gli elettrolizzatori alcalini presentano problematiche di contaminazione (H_2 nel flusso di O_2) e di gestione dell'elettrolita a bassi carichi.

L'analisi delle problematiche operative degli elettrolizzatori è, quindi, fondamentale per l'ottimizzazione dell'esercizio ed il dimensionamento in fase di progetto di un sistema complesso che vede una o più fonti rinnovabili abbinati ad una tecnologia P2G.

Risultati attesi:

M.1.1.13.1 [M36] Installazione di elettrolizzatori innovativi nella facility RSE e definizione della campagna di prova

M.1.1.13.2 [M36] Campagna sperimentale di 300-500 ore volta a mettere in luce l'influenza dei parametri operativi e della sorgente di energia elettrica sulla produzione di idrogeno

Output:

D1.1.13.1 [M30] Rapporto tecnico "Installazione di elettrolizzatori a bassa temperatura in applicazioni P2G da fonte eolica/solare"

D1.1.13.2 [M42] Rapporto tecnico "sperimentazione di elettrolizzatori a bassa temperatura in applicazioni P2G da fonte eolica/solare"

TRL (inizio-fine): 4-5

***PRODUZIONE DI IDROGENO DA PROCESSI TERMOCHIMICI INTEGRATI CON FONTI RINNOVABILI,
CARATTERIZZATI DA NEUTRALITA' CARBONICA***

WP1.1 – LA1.1.14

Studio e sviluppo di gassificazione O₂/vapore in reattore a letto fluidizzato

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Donatella Barisano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 84.580,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 380.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 535.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 215.120,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.214.700,00

Descrizione attività:

La LA1.1.4 mira a studiare e sviluppare un processo di gassificazione, intensificato e scalabile, per la produzione di idrogeno verde da una ampia tipologia di biomasse residuali e frazioni biogeniche di rifiuti, nella loro qualità di matrici carboniose rinnovabili, e quindi caratterizzate da intrinseca neutralità carbonica.

Il processo si baserà sull'utilizzo di un gassificatore a letto fluidizzato contraddistinto da alcuni elementi migliorativi sia delle prestazioni di processo dei reattori fluidizzati convenzionali. Un primo elemento innovativo è rappresentato dal ricircolo interno del materiale del letto (gassificatore ICBFB, *Internally Circulating Bubbling Fluidized Bed*) per aumentare il tempo di residenza della matrice alimentata a beneficio della conversione in prodotto gassoso (syngas) e della sua qualità. Un secondo elemento d'innovazione è rappresentato dall'integrazione del processo di gassificazione con la purificazione del gas, ottenuta alloggiando nel *freeboard* del reattore un sistema a candele ceramiche per filtrazione ad alta temperatura. In tal modo diventa possibile eliminare lo stadio di filtrazione del gas all'uscita del reattore, a vantaggio di una maggiore compattezza d'impianto. L'integrazione delle candele con catalizzatore per upgrading del syngas può da ultimo intervenire per una ulteriore intensificazione di processo.

Nel corso delle attività di R&S verranno implementate soluzioni finalizzate alla riduzione del carico di contaminanti del syngas e al suo arricchimento endogeno in idrogeno. Per massimizzare il potenziale applicativo della tecnologia, in previsione di una produzione di idrogeno ampia e sostenibile, sia dal punto di vista tecnico sia economico, attenzione verrà posta ad un possibile utilizzo di matrici di tipologia più diversificata possibile.

L'attività verrà inizialmente focalizzata sulla caratterizzazione del processo di gassificazione ICBFB O₂/vapore in funzione delle caratteristiche delle matrici in alimentazione. Verranno esplorati gli intervalli dei parametri di processo più rappresentativi: ER (0,2÷0,5), rapporto vapore/biomassa (0,5÷2), temperatura di gassificazione (600÷850 °C). Se ne valuteranno, quindi, le prestazioni in termini di resa e qualità del syngas, conversione del carbonio (tar e *char* residuo), bilanci di massa e di energia. La sperimentazione verrà condotta su matrici di diversa tipologia e origine (es. legnose, agricole, agroindustriali, FORSU, digestato) utilizzando un reattore ICBFB scala banco (alimentazione 2 kg/h).

Si procederà, quindi, ad investigare l'effetto di catalizzatori primari (*in-bed*) e secondari (*downstream*) per migliorare la qualità del syngas prodotto per riduzione del carico di Tar, aumento della resa e del contenuto di idrogeno. I "primari" condizioneranno il gas direttamente nel gassificatore contrastando la formazione dei Tar. I "secondari" verranno utilizzati in una unità catalitica a valle al fine di abbattere il carico di tar residui. Grazie al trattamento *in-bed*, per il catalizzatore secondario si ridurranno i rischi di disattivazione, a vantaggio di un aumento del suo tempo di vita. Partendo da un letto fluidizzato di sola olivina commerciale, verranno testate miscele di olivina e materiali naturali di basso valore commerciale (es. dolomite, bauxite, bentonite), a diverso rapporto relativo, per individuare i più efficaci. Per il trattamento secondario del syngas verranno utilizzati catalizzatori commerciali (es. BASF, J&M). Con il catalizzatore più performante, verranno in ultimo condotte prove con alloggiamento in candele ceramiche per valutazioni su ulteriore intensificazione di processo.

L'attività si completerà con l'indagine sull'arricchimento endogeno in idrogeno per trattamento con sorbenti per la cattura di CO₂ e promozione della reazione di WGS. Allo scopo correnti di syngas reali, purificate, verranno trattate con materiali contenenti CaO (es. dolomite calcinata), idrotalciti commerciali e sperimentali.

In ciascuna prova di gassificazione ossigeno/vapore all'ICBFB il processo verrà caratterizzato con le opportune misure on line e off line per le valutazioni delle performance. Il syngas verrà qualificato nella sua composizione: contenuto di umidità, gas permanenti (H₂, CO, CO₂, CH₄ e idrocarburi leggeri), contaminanti organici (Tar) ed inorganici (H₂S, HCl, NH₃ ecc.) e sulla base dei risultati acquisiti, per ciascuna tipologia di matrice verranno valutate le condizioni ottimali di gassificazione verso la massima resa in gas permanenti e il più alto contenuto di idrogeno, unitamente a basso contenuto di Tar.

I dati sperimentali acquisiti, affiancati da dati termogravimetrici per caratterizzare la reattività intrinseca delle matrici e dei char prodotti a fine processo, verranno analizzati ed elaborati per la definizione di modelli cinetici di gassificazione che simuleranno il processo allo stato stazionario. Ciascuna delle camere del reattore ICBFB sarà simulata da un modulo CSTR dove avverranno le reazioni gas-solido di gassificazione del char mentre il freeboard sarà simulato da un modulo PFR dove avverranno reazioni gas-gas. Il modello sarà predittivo della resa di gas e della sua composizione (CO, H₂, CO₂, CH₄), tenore di contaminanti organici nel gas e altri sottoprodotti di processo (char e acqua).

Nelle prove condotte in presenza di catalizzatori, particolare attenzione verrà dedicata all'analisi dei tar (cromatografia HPLC, GCMS) per valutare l'efficacia della loro azione sul contenuto delle classi di composti più significativi (es. aromatici a singolo anello e policiclici, fenoli, eterociclici). Le valutazioni di performance catalitiche verranno affiancate da caratterizzazioni chimiche e

morfologiche (es. porosimetria, XRD, SEM/EDX) condotte su campioni dei catalizzatori raccolti al termine delle prove più rappresentative al fine di verificarne lo stato di integrità. Dall'azione combinata dei catalizzatori primari e secondari è atteso un gas con contenuto complessivo di tar dell'ordine del $\text{mg/Nm}^3_{\text{secco}}$.

Si prevede una collaborazione con l'Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia, che fornirà supporto sulle caratterizzazioni chimiche e morfologiche dei vari materiali, sorbenti e catalizzatori, utilizzati nella sperimentazione. In particolare, il gruppo di lavoro ha competenze e specifica familiarità con i processi di gassificazione e con i materiali che saranno utilizzati garantendo una corretta interpretazione dei risultati di analisi. Una seconda collaborazione è prevista con l'Università Marconi, Ingegneria Energetica, per il supporto alla progettazione dell'unità prototipale avanzata per la gassificazione in letto fluidizzato, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza nella tematica suddetta.

Risultati attesi:

Sulla base dello studio dell'attività condotta nei test di gassificazione con diverse matrici e in presenza di catalizzatori si procederà ad una revisione del set up sperimentale del gassificatore prototipale con valutazioni sulla sua geometrica (es. altezza del *freeboard*, setto interno di circolazione del letto), condizioni di fluidizzazione alle due camere, alimentazione matrici e integrazione di candele ceramiche per filtrazione ad alta temperatura al fine di progettare e realizzare un prototipo avanzato.

Le prestazioni del nuovo prototipo verranno, quindi, validate in campagne sperimentali condotte a condizioni rappresentative del processo, con almeno due tipologie di biomasse scelte tra quelle risultate con le prestazioni agli estremi nella campagna precedente e con i migliori catalizzatori primario e secondario.

I test sull'arricchimento endogeno in idrogeno del syngas saranno condotti al fine di valutare la capacità sorbente specifica e le condizioni per l'eventuale rigenerazione dei materiali e separazione della CO_2 di origine rinnovabile. Test ciclici di assorbimento/desorbimento permetteranno di valutare la stabilità della capacità captante nel tempo. Per i materiali con le caratteristiche più promettenti, verranno prelevate a fine test aliquote rappresentative e sottoposti a caratterizzazioni chimiche e morfologiche per valutazioni su possibili cambiamenti della capacità sorbente alle condizioni di processo, captazione/rigenerazione, e per azione della contaminazione residua delle correnti di syngas reali utilizzate.

I dati raccolti verranno analizzati e utilizzati per valutazioni delle performance, definizione di criticità e individuazione di possibili modifiche per l'upgrading del set-up sperimentale integrato con il gassificatore ICBFB. L'intero processo verrà in ultimo valutato rispetto alla disponibilità delle matrici e fattibilità tecnico-economica.

I risultati attesi saranno suddivisi nelle seguenti milestone.

- | | |
|-----------------|--|
| M1.1.14.1 [M12] | Ottimizzazione del processo di gassificazione O_2 /vapore su matrici di diversa tipologia e origine |
| M1.1.14.2 [M24] | Modello del processo di gassificazione in reattore a camere circolanti interconnesse |
| M1.1.14.3 [M30] | Condizioni di processo per l'ottenimento di syngas a basso contenuto di contaminanti |
| M1.1.14.4 [M36] | Progettazione e realizzazione di unità di gassificazione prototipale avanzata |
| M1.1.14.5 [M36] | Progettazione e realizzazione di unità di gassificazione prototipale avanzata |
| M1.1.14.6 [M42] | Completamento delle attività di validazione del nuovo prototipo e valutazioni tecnico-economiche |

Output:

- D1.1.14.1 [M12] Rapporto Tecnico “Caratterizzazione matrici e studio termogravimetrico della reattività”
- D1.1.14.2 [M24] Rapporto Tecnico “Ottimizzazione dei parametri di gassificazione O₂/vapore e massimizzazione delle prestazioni in reattore ICBFB - configurazione ENEA - per la produzione di syngas ricco in H₂ da matrici di diversa tipologia e origine”
- D1.1.14.3 [M24] Rapporto Tecnico “Modello di simulazione del processo di gassificazione O₂/vapore in reattore ICBFB di configurazione ENEA”
- D1.1.14.4 [M36] Rapporto Tecnico “Caratterizzazione delle prestazioni di processo in presenza di catalizzatori primari e secondari per il condizionamento del syngas e riduzione delle principali classi di Tar in condizioni di gassificazione O₂/vapore”
- D1.1.14.5 [M36] Rapporto Tecnico “Caratterizzazione delle prestazioni di sorbenti per l’arricchimento in idrogeno di correnti reali di syngas e simultanea cattura di CO₂”
- D1.1.14.6 [M36] Prototipo avanzato di gassificazione O₂/vapore
- D1.1.14.7 [M42] Rapporto Tecnico “Studio della fattibilità tecnico-economica del processo di gassificazione O₂/vapore, integrazione dei sorbenti SEWGS e scale up”

TRL (inizio fine): 2-4

WP1.1 - LA 1.1.15***Studio e sviluppo di sistemi di gassificazione delle biomasse ad alta efficienza***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Nadia Cerone

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 232.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 400.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 400.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 180.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.212.000,00

Descrizione attività:

Obiettivo generale della LA è di favorire la diffusione e l’utilizzo di gassificatori updraft, caratterizzati da tecnologia semplice e robusta, per la produzione di idrogeno da biomassa, attraverso la risoluzione dei problemi legati alla produzione di tar in cui può trasformarsi il solido in seguito a reazioni di pirolisi.

Nell’ambito di esperienze pregresse, in cui è stato esercito un gassificatore updraft, è stata documentata una grande variabilità nella produzione di tar riuscendo a ridurre il contenuto a meno di 1 g/Nm³ (un risultato di tutto rilievo se paragonato ai 150 g/Nm³- 220 g/Nm³ mediamente ottenuti). Nell’ambito della LA si intende procedere con una ri-progettazione del reattore e dei sistemi ancillari per stabilizzare il dato di performance migliore. In particolare, si intende ottimizzare la fluidodinamica all’interno del reattore determinando sperimentalmente la variazione di profilo di un impulso di gas nobile ottenendo indicazioni sull’esistenza ed incidenza dei cammini preferenziali nel letto di combustibile a diverse condizioni operative e di impaccamento con lo scopo di avvicinare il funzionamento a quello di un plug flow. L’obiettivo è identificare le condizioni di funzionamento del gassificatore in cui i cammini preferenziali siano minimizzati a vantaggio della serie di condensazione e volatilizzazione dei composti organici volatili sulle particelle solide del letto che

contribuiscono alla diminuzione dei tar. Oltre all'ottenimento di un syngas più pulito, anche la resa di gasificazione in idrogeno sarà proporzionalmente aumentata.

Saranno condotte campagne di gassificazione con ossigeno e vapore secondo layout di processi avanzati in cui il gassificare viene operato in sinergia con un elettrolizzatore che fornisce, oltre a idrogeno di integrazione per le reazioni di FT, ossigeno puro coprodotto dall'elettrolisi dell'acqua. Un flusso di 1 Nm³/h di syngas verrà inviato ad un reattore catalitico operante tra 400°C - 800°C per ridurre ulteriormente il contenuto di tar. Per ottimizzare le prestazioni e, in prospettiva, i costi si opererà in un due stadi consecutivi. Nel primo stadio sarà utilizzato un catalizzatore di basso costo (tipo dolomite), nel secondo un catalizzatore più efficiente a base di Nichel. Le reazioni di cracking e di steam-cracking del tar faranno aumentare la concentrazione di idrogeno e si otterrà un syngas dal grado di purezza compatibile con le specifiche dei catalizzatori.

Saranno investigati i metodi per aumentare la resa della reazione WGS in H₂, anche oltre i limiti dell'equilibrio chimico e la separazione di H₂ ultra puro. La composizione tipica del syngas ottenuto in prove di gassificazione di biomasse lignocellulosiche con aria/ossigeno/vapore è H₂ 24% -37%; CO 24% - 28%, CO₂ 20% - 27%. La separazione dell'idrogeno in dispositivi reattivi e non reattivi sarà studiata sperimentalmente utilizzando sistemi di permeazione Pd-Ag e reattori a membrana catalitico (MR) per testare l'effetto della conversione di CO sulla reazione WGS. Il reattore a membrane (MR) sarà costituito esternamente da membrane Pd-Ag, che presentano un'elevata selettività all'idrogeno e contengono Pt come catalizzatore su ZrO₂. Pertanto, la permeazione selettiva di H₂ e l'arricchimento con la reazione di WGS saranno accoppiati in un unico reattore a membrana. In questa unità il catalizzatore è confinato nel cuore della membrana permeante a base di Pd che consente la rimozione continua dell'idrogeno prodotto, flusso che sposta continuamente la reazione verso un'ulteriore conversione. Di conseguenza, si ottiene contemporaneamente un flusso di H₂ ultrapuro e un'elevata conversione. Gli esperimenti saranno condotti in un impiantino in grado di trattare fino a 0,25 Nm³/h di syngas a 673 K - 723 K e 1 bar -10 bar, dotato di un'alimentazione di vapore surriscaldato nel reattore di WGS per ottenere un rapporto molare H₂O/CO compreso tra 1-2. Durante le prove, i principali parametri di funzionamento, quali portate di processo, profili di temperatura attraverso i reattori, controllo di temperatura e pressione lungo le tubazioni a valle, saranno acquisiti ed elaborati in continuo da un sistema di gestione e controllo da remoto dedicato. Lungo le tubazioni saranno, inoltre, disposti punti di campionamento del gas per l'analisi GC in linea.

Si prevede una collaborazione con l'Università di Messina, Dipartimento di Scienze chimiche, biologiche, farmaceutiche e ambientali, che fornirà supporto per lo sviluppo di catalizzatori innovativi, non disponibili commercialmente, da utilizzare in un reattore per il condizionamento del syngas proveniente dalla gasificazione a letto fisso delle biomasse, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza sulla tematica suddetta.

Risultati attesi:

Il contenuto di tar nel syngas in uscita al gassificatore sarà ridotto almeno del 90% mediante catalisi a doppio stadio, con conseguente aumento della resa in syngas, della percentuale di idrogeno e dell'efficienza di conversione del carbonio.

La resa di idrogeno, sia come flusso ultra puro che come prodotto della reazione di WGS, sarà confrontata con la soglia termodinamica. Saranno, inoltre, valutate le prestazioni della membrana nelle modalità di permeazione e permeazione/reazione. La resa della reazione di water gas shift dovrebbe variare in un intervallo dal 40% al 100% rispetto ai valori stechiometrici teorici, oltre la soglia termodinamica a quelle pressioni, temperature e rapporti di H₂/CO (come mostrato dai dati di simulazione CHEMCAD), evidenziando così l'effetto positivo della permeazione sulla produzione di idrogeno. I risultati attesi si esplicheranno attraverso le seguenti milestone.

- | | |
|-----------------|---|
| M1.1.15.1 [M12] | Sviluppo e validazione del processo di gassificazione per ridurre il contenuto di tar nel syngas |
| M1.1.15.2 [M24] | Sviluppo e validazione sperimentale di reattori a membrana per ottenere H ₂ ultra puro ad alta resa. |
| M1.1.15.3 [M36] | Sviluppo e validazione sperimentale del reattore di cracking di tar |

Output:

- | | |
|-----------------|--|
| D1.1.15.1 [M24] | Rapporto Tecnico “Definizione di criteri per la progettazione e l’operatività del gassificatore a letto fisso per massimizzare la conversione del carbonio in vettori energetici gassosi” |
| D1.1.15.2 [M36] | Rapporto Tecnico “Studio e Sviluppo di un prototipo di reattore catalitico a doppio stadio per trattare circa 1 Nm ³ /h di syngas grezzo per ridurre il contenuto di tar ed inquinanti aumentando le rese di conversione in H ₂ ” |
| D1.1.15.3 [M42] | Rapporto Tecnico “Studio e Sviluppo di reattori a membrana basati sulla permeazione di idrogeno, in grado di trattare 0,25 Nm ³ /h di miscela gassosa per l’ottenimento di idrogeno iper puro e rese delle reazione di water gas shift oltre il limite di equilibrio termodinamico” |

TRL reattore a membrana WGS (inizio-fine): 3-4

TRL reattore catalitico (inizio-fine): 3-5

WP1.1 - LA 1.1.16

Sviluppo di metodi elettrochimici per il trattamento dei reflui solidi e liquidi della gasificazione con produzione di idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Nadia Cerone

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 152.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 652.000,00

Descrizione attività:

La riduzione del carico organico di reflui di processo mediante ossidazione, attraverso un processo di elettrolisi, consente di ottenere simultaneamente produzione di idrogeno al catodo.

Inoltre, lo stesso processo di elettrolisi, può rappresentare una valida alternativa per frammentare macromolecole, quali la lignina, e produrre monomeri a base aromatica, interessanti nel settore dei biocombustibili (è possibile ottenere una degradazione del 97% di lignina, con una resa del 34% in peso di aromatici: toluene, stirene etc.)

L’obiettivo della LA è di sviluppare metodi innovativi basati sull’elettrolisi delle biomasse. Nel caso specifico, si utilizzeranno le frazioni reflue (solide e liquide) di un impianto di gasificazione, che devono essere sempre opportunamente trattati e smaltiti. Oltre alle ceneri, che possono essere utilizzate in modo ottimale come fertilizzanti ed emendanti del terreno, una parte della biomassa viene persa come fini o sotto forma di molecole organiche dissolte nei liquidi di scrubbing del syngas. Le celle elettrochimiche a funzionamento batch costituiranno la base di partenza per metter a punto

processi in continuo con separazione in situ dei prodotti, utilizzando le geometrie più complesse e studiate ad hoc.

Verrà, quindi, studiata la possibilità di convertire la corrente di fini solidi separata dai cicloni e non alimentabile al gassificatore. I fini sono costituiti in gran parte da materiale lignocellulosico che verrà sottoposto ad elettrolisi per ottenere simultaneamente la produzione di idrogeno e la depolimerizzazione della lignina.

Inoltre, verranno considerati i reflui liquidi in cui sono concentrate le molecole organiche volatili sottoprodotti della gasificazione.

Con l'affermarsi dei processi di conversione termica delle biomasse, ma anche delle bioraffinerie, la quantità di acque reflue sta aumentando in modo significativo e la composizione è diventata sempre più complessa, inclusi fenoli, idrocarburi policiclici aromatici e cianuro, tutti altamente tossici per la maggior parte dei microrganismi utilizzati nel trattamento di digestione anaerobica.

Nell'ambito della LA sarà ottimizzato l'allestimento di un laboratorio dedicato all'elettrolisi delle biomasse per consentire la manipolazione di intermedi di elettrolisi (POM-poliossimetallati), la determinazione dei COD, e l'uso di tecniche specifiche, quali elettrodialisi, la costruzione di elettrodi e celle ad hoc mediante tecniche di stampa 3D.

Si prevede una collaborazione con l'Università di Cagliari, che fornirà supporto per la messa a punto di un processo elettrochimico per il trattamento dei reflui organici della gasificazione delle biomasse con produzione di idrogeno, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza sulla tematica suddetta.

Risultati attesi:

Saranno messe a punto le metodiche di analisi chimica e chimico fisica di alcuni reflui degli impianti a biomassa, quali i fini e le frazioni idrosolubili dei tar, composti organici condensabili derivanti dalla pirolisi delle biomasse, in accordo alle seguenti milestone.

M1.1.16.1 [M12] Sviluppo e validazione di metodi chimico analitici per la determinazione dei prodotti di reazione. Caratterizzazione di reflui solidi e liquidi

M1.1.16.2 [M18] Messa a punto di nuovi metodi per ottenere idrogeno da biomasse tal quali o dai componenti primari (cellulosa, lignina, emicellulosa) e test di elettrolisi di cellulosa, lignina, emicellulosa

M1.1.16.3 [M24] Test di elettrolisi dei fini da impianti a biomasse

M1.1.16.4 [M36] Test di elettrolisi di acidi organici, furfurali, aromatici, lignina pirolitica

M1.1.16.5 [M42] Test di elettrolisi di tar idrosolubili da impianti di gasificazione

Output:

D1.1.16.1 [M18] Rapporto Tecnico "Metodi per ottenere idrogeno da biomasse e test di elettrolisi di cellulosa, lignina, emicellulosa"

D1.1.16.2 [M24] Rapporto Tecnico "Ossidazione elettrochimica delle frazioni organiche reflue dei processi di gasificazione con produzione di idrogeno e riduzione del COD"

D1.1.16.3 [M36] Rapporto Tecnico "Test di elettrolisi di acidi organici, furfurali, aromatici, lignina pirolitica"

D1.1.16.4 [M42] Prototipo scala laboratorio di cella elettrochimica per il trattamento in continuo dei reflui da impianti a biomasse

TRL (inizio-fine): 2-3

WP1.1 – LA1.1.17

Sviluppo di materiali e processi per la produzione termochimica d'idrogeno da biomasse intensificata dalla separazione di CO₂ mediante sorbenti solidi

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Stefano Stendardo

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 324.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 230.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 152.371,81

Costo totale LA (escluse spese generali): € 806.371,81

Descrizione attività:

Ad oggi più del 95% dell'idrogeno prodotto deriva da processi convenzionali (gassificazione, reforming del metano) ed è responsabile di circa 830 Mt di CO₂ emesse ogni anno (IEA, 2019). Attualmente i livelli di efficienza dei processi convenzionali di produzione di idrogeno da processi convenzionali (i.e. gassificazione, reforming del metano) sono tali che per raggiungere sostanziali riduzioni di emissione di CO₂ si rende necessaria l'implementazione di tecnologie per la cattura di CO₂. Anche l'idrogeno verde prodotto da fonti rinnovabili (e.g. biomasse residuali) può giovare dell'integrazione di processi di cattura di CO₂, in grado così di assicurare una rimozione netta di GHG dall'atmosfera.

In questa attività verranno sviluppati materiali sorbenti con elevata capacità di assorbimento di CO₂ nelle condizioni tipiche in cui vengono realizzati i processi termochimici di produzione di idrogeno. Tale sviluppo supporterà l'intensificazione di processi di produzione termochimica e purificazione dell'idrogeno da biomasse mediante rimozione di CO₂. In particolare, lo studio sarà rivolto alle seguenti reazioni:

- gassificazione di biomasse residuali (*Sorption Enhanced Gasification*, SEG)
- reforming di metano di origine biologica mediante vapore (*Sorption Enhanced Steam Methane Reforming*, SE-SMR)
- produzione di gas d'acqua (*Sorption Enhanced Water Gas Shift*, SE-WGS).

A tale scopo verranno impiegate una tecnologia a doppio letto fluido (DFB, Dual Fluidised Bed) ed una a tamburo rotante (Rotary Drum Reactor, RDR) che permetteranno un diverso contatto tra i materiali sorbenti e/o catalitici ed il combustibile da valorizzare (i.e. biomassa, biometano, monossido di carbonio). Gli obiettivi delle campagne sperimentali saranno: (i) produzione di H₂ in miscela (~80% su secco) a più bassa temperatura (650 °C) rispetto ai processi industriali convenzionali, (ii) bassa produzione di tar (tar <6 g/Nm³) e abbattimento polveri >95%; (iii) riduzione dei costi di produzione di H₂ a circa 2 €/kg, confrontabili con il costo dell'idrogeno grigio (1,5 €/kg); (iv) riduzione del 50% dei costi della CO₂ separata da >80€/t CO₂ a <40€/t CO₂.

Con l'ulteriore utilizzo di PSA (*Pressure Swing Adsorption*) si otterrà idrogeno puro da poter essere utilizzato in celle a combustibile o come gas riducente in processi industriali (e.g. ferro, acciaio). Al fine di intensificare la produzione di H₂ verde verranno sviluppati materiali sorbenti in grado di reagire con la CO₂ rimuovendo tale gas acido dalla corrente di idrogeno. I materiali sorbenti verranno studiati in vista della loro possibile integrazione nel processo di produzione d'idrogeno verde da biomassa residuale (gassificatori, reattori di WGS e di steam reforming di biogas) per ottenere maggiori rese e ridurre i volumi. I materiali sorbenti che si intende sviluppare saranno a base di calcio per la rimozione della CO₂ supportato da Ca₁₂Al₁₄O₃₃ o da CaZrO₃. Sarà prodotto un lotto di sorbente di CO₂ su scala significativa (>10 kg) tale da poterlo utilizzare nel DFB o nel RDR. Si prenderanno in considerazione anche materiali sorbenti funzionalizzati con catalizzatori per il reforming del metano.

Lo studio sperimentale di questi processi intensificati SEP (*Sorption Enhanced Processes*) verrà condotto: (i) a ciclo chiuso in cui la CO₂ verrà separata in una corrente gassosa concentrata mediante rigenerazione del materiale sorbente (e.g. PSA o TSA *Temperature Swing Adsorption*), (ii) a ciclo aperto in cui la CO₂ verrà stoccata in modo permanente in una matrice solida inerte con la co-produzione di carbonati (e.g. CaCO₃). Con riferimento a quest'ultimo ciclo verranno ottimizzati processi ad emissioni negative per la rimozione indiretta di CO₂ dall'atmosfera. L'anidride carbonica concentrata nella biomassa residuale precedentemente presente in atmosfera verrà fissata permanentemente in carbonati accelerando processi naturali di mineralizzazione di CO₂.

L'attività di ricerca sarà così organizzata:

- Progettazione di processi e materiali combinati per la contemporanea cattura della CO₂ e produzione catalitica di idrogeno da biomassa residuale. I materiali che verranno sviluppati in questa attività saranno tutti sorbenti a base di calcio a basso o nullo impatto ambientale e a basso costo, che utilizzano supporti differenti (e.g. alluminati o zirconati di calcio) e prodotti con metodi differenti. Sarà considerata l'integrazione nel materiale sorbente della funzione catalitica per la gassificazione ed il reforming del biometano valutando anche la sostituzione del nichel con materiali a più basso impatto ambientale (e.g. ferro e rutenio). Si svilupperanno soluzioni per sistemi catalitici resistenti ai composti solforati presenti durante la produzione di idrogeno. Per la caratterizzazione e validazione di materiali e processi sopra descritti si realizzerà un reattore tubolare in scala da laboratorio con sistema di controllo integrato che consenta di alimentare in continuo gas e vapore per la conduzione di sistemi SEP.
- Condizionamento del syngas e ottimizzazione di sistemi di produzione di idrogeno. Tradizionalmente, la purificazione del syngas prodotto mediante gassificazione di biomasse avviene tramite filtrazione e lavaggio per ridurre il particolato, i tar e gli altri composti in traccia. La pulizia non è però sempre efficace, riducendo inoltre la resa del sistema ed originando reflui difficili da smaltire: ciò contribuisce ad elevati costi d'investimento e di gestione e spesso ad un impatto ambientale sfavorevole di tali sistemi. Questa attività prevede la selezione e dimostrazione a TRL 6 di sistemi filtranti catalitici ad alta temperatura per l'abbattimento di polveri e del tar.
- Valutazione dei criteri di efficienza e delle configurazioni per la produzione di idrogeno. Individuazione dei criteri per il processo di produzione di idrogeno da biomassa, in particolare i seguenti "Key Performance Indicators": (i) SPECCA, Specific Primary Energy Consumption for Carbon Avoided, (ii) costo della CO₂ evitata; (iii) livello minimo di cattura della CO₂; (iv) conversione del potere calorifico della biomassa nel gas ad alto contenuto di idrogeno (syngas);
- Valutazione dei criteri di prestazione (e.g. costo del prodotto livellato dell'idrogeno) in scala industriale per produzione di idrogeno verde da biomassa. Formulazione del bilancio di materia ed energia applicato a processi hard-to-abate (e.g. acciaio, cemento). Si analizzeranno nuove configurazioni di distretti industriali per la fattibilità di soluzioni integrate per l'ulteriore: (i) abbattimento di CO₂, (ii) valorizzazione degli eccessi di energia e materia (e.g. carbonio e scorie), (iii) incremento di efficienza.

Si prevede una collaborazione con l'Università dell'Aquila, che svilupperà materiali filtranti, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza sulla tematica suddetta.

Risultati:

M1.1.17.1 [M12] Sintesi del materiale (sorbente e catalizzatore) e delle condizioni operative del processo di riferimento. Saranno individuati i principali criteri di target sia dei materiali da selezionare sia dei processi da implementare sul banco prova. Verrà fatta la sintesi di un campione da 10 Kg per il sorbente e per il catalizzatore

- M1.1.17.2 [M24] Up-grading di gassificatori a doppio letto fluido e a tamburo rotante per la produzione in continuo di idrogeno da syngas. Disponibilità di banche prova per la conduzione di processi SEP
- M1.1.17.3 [M42] Dimostrazione dei processi intensificati SEP e validazione dei modelli e valutazione di brevetti. Raccolta dei dati sperimentali per la verifica della fattibilità del processo.
- M1.1.17.4 [M42] Valutazione degli indici prestazionali dei processi SEP ottenuti da bilanci di materia ed energia e validati dai dati sperimentali

Output:

Di seguito viene riportato l'elenco degli output.

- D1.1.17.1 [M12] Rapporto Tecnico "Sintesi e caratterizzazione di sistemi combinati catalizzatore e sorbente per la produzione di idrogeno da gas riformati di biometano e biomassa residuale"
- D1.1.17.2 [M12] Materiale sorbente da utilizzare per la produzione intensificata di idrogeno da biomassa residuale
- D1.1.17.3 [M12] Campioni di filtri ceramici per la pulizia del gas riformato prodotto da processo SEG
- D1.1.17.4 [M24] Rapporto Tecnico "Up-grading del DFB e dell'RDR per la produzione di idrogeno attraverso la valorizzazione di biomassa residuale"
- D1.1.17.5 [M36] Rapporto Tecnico "Produzione di idrogeno da biomasse residue e biometano a scala pilota con tecnologia DFB e RDR"
- D1.1.17.6 [M42] Rapporto Tecnico "Protocollo sperimentale di processi SEG e raccolta dati su banco prova"
- D1.1.17.7 [M42] Rapporto Tecnico "Valutazione economica e termodinamica finale di processi industriali (e.g. acciaio, ferro, cemento) integrati con tecnologie di produzione SEP mediante l'impiego di sorbenti solidi a base di calcio"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA.1.1.18

Valorizzazione di materiali carboniosi prodotti da processi termochimici di lignine e plastiche

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Elisabetta Borsella

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo totale LA - 1 anno (escluse spese generali): € 200.000

Costo totale LA - 2 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo totale LA - 3 anno (escluse spese generali): € 110.000,00

Costo totale LA - 4 anno (escluse spese generali): € 65.031,46

Costo totale LA (escluse spese generali): € 465.031,46

Descrizione attività:

L'obiettivo generale della LA è di consentire, a partire da biomasse polifenoliche e residui plastici selezionati e passando per un unico step di processo, la produzione di analoghi sintetici del grafene. Il materiale prodotto verrà testato in due campi applicativi, che beneficiano della combinazione di più caratteristiche del materiale carbonioso funzionalizzato, che sono oggi di grande interesse per la produzione di idrogeno: come catalizzatore metallo-grafite e come elettrodo nelle celle

elettrolitiche. L'attività catalitica sarà validata nella reazione di gassificazione di biomassa con produzione di H_2 e nella conversione dell'anidride carbonica in idrocarburi. In campo elettrochimico, le proprietà del grafene prodotto (buona conduttività elettrica, ottima conducibilità ionica, stabilità meccanica dei piani basali) saranno testate come materiale anodico nel processo di elettrolisi dell'acqua.

L'attività sarà focalizzata sull'ottimizzazione della formazione di un materiale catalitico con una struttura reticolare altamente modulare e regolabile. Inizialmente, l'attività consisterà nella sintesi/formazione di un materiale carbonioso da un processo di pirolisi, che vede coinvolte differenti tipologie di lignine tecniche e opportune miscele di lignina e plastiche di scarto; il materiale carbonioso, utilizzabile come base per matrici di supporto, deve essere un materiale "reattivo" e, pertanto, tale da poter essere utilizzato, dopo opportuna funzionalizzazione, in campo energetico, come materiale per elettrodi usati in celle elettrolitiche per la produzione di idrogeno, e come supporto di catalizzatori in processi di gassificazione.

Nella prima fase dell'attività, si procederà alla realizzazione di un nuovo setup di pirolisi che consenta un completo controllo sia della formazione del prodotto sia della sua separazione durante il processo. Determinate le condizioni operative più vantaggiose si procederà a modificare il materiale carbonioso per assimilarlo il più possibile alla grafite.

Obiettivo generale è di ottenere un unico step di processo capace di produrre analoghi sintetici del grafene, ossidato e ossidato-ridotto, in funzione di parametri fisici di processo facilmente controllabili. In questa fase dell'attività, saranno effettuate la caratterizzazione dei materiali di partenza, la loro conversione termochimica, in varie condizioni operative e in diversi rapporti in peso per produrre grafene sintetico e, infine, la caratterizzazione del grafene prodotto, soprattutto in termini di proprietà del materiale: distanza tra i piani basali, area specifica superficiale ($SSA \sim 240 \text{ m}^2/\text{g}$), distribuzione e dimensioni dei pori, capacità specifica teorica ($tsc = 150\text{-}310 \text{ mAh g}^{-1}$) e contenuto del gruppo/gruppi funzionali residui. I prodotti gassosi e liquidi formati durante la sintesi del grafene saranno analizzati spettrometricamente e spettroscopicamente.

In parallelo si condurranno attività volte a introdurre il ferro durante il processo di formazione del grafene. In particolare, si utilizzerà ferro, in forma metallica, come nanoparticelle, come sale o come cluster metallici, come specie contenuta in diversi minerali o in eventuali additivi mediatori di ossidoriduzione. La ricerca mirerà all'ottimizzazione della formazione di grafene drogato con ferro, tenendo conto di importanti parametri: quantità del metallo, area superficiale, dimensioni e distribuzione dei pori, formazione degli strati e interazione metallo-superficie. Verosimilmente, si potrà procedere ad un ulteriore drogaggio con azoto e fosforo, al fine di ottimizzare il potenziale redox della matrice stessa, aggiungendo, durante la formazione del materiale carbonioso, opportuni additivi contenenti questi eteroatomi.

Le attività sperimentali saranno corredate dallo studio del modello cinetico relativo al processo di pirolisi e dall'implementazione di un algoritmo di Machine Learning per la sua ottimizzazione.

Nell'ambito dello svolgimento delle attività di tipo sperimentale è prevista una collaborazione con l'Università di Milano Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, per la caratterizzazione dei campioni biochar prodotti, mediante l'utilizzo di tecniche NMR, e supporto teorico alla funzionalizzazione degli stessi, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza nella tematica suddetta.

Risultati attesi:

M1.1.18.1 [M12] Set-up di un processo di pirolisi in un nuovo reattore dotato: i) di un innovativo riscaldamento alternativo che consente un controllo più preciso dei parametri; ii) un sistema di separazione dei prodotti che riduca la quantità di

	reazioni secondarie indesiderate nei reattori; iii) rapidità nelle transizioni di temperatura di processo compreso tra 20 e 1100°C
M1.1.18.2 [M12]	Ottimizzazione del processo di scale-up e separazione delle frazioni;
M1.1.18.3 [M30]	Caratterizzazione e funzionalizzazione del materiale carbonioso prodotto per utilizzo in campo energetico
M1.1.18.4 [M36]	Proof-of-concept del processo di gassificazione per la produzione di H ₂ con catalizzatore metallo-grafite sintetizzato
M1.1.18.5 [M36]	Proof-of-concept del processo chimico di refining della CO ₂ catalizzato dai nuovi materiali carboniosi
M1.1.18.6 [M42]	Proof-of-concept del processo di elettrolisi utilizzando il grafene prodotto come materiale anodico

Output:

D1.1.18.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Selezione e caratterizzazione di matrici di biomassa e plastiche da utilizzare nel processo di pirolisi”
D1.1.18.2 [M24]	Reattore per una rapida produzione di grafene sintetico da pirolisi di biomassa
D1.1.18.3 [M24]	Catalizzatore grafene sintetico da biomassa per processi industriali
D1.1.18.4 [M24]	Elettrodi di grafene sintetico da biomassa per uso in campo elettrolitico
D1.1.18.5 [M30]	Rapporto Tecnico “Caratterizzazione e funzionalizzazione del materiale carbonioso prodotto per utilizzo in campo energetico”
D1.1.18.6 [M42]	Rapporto Tecnico “Modello cinetico di pirolisi e addestramento dell’algoritmo di Machine Learning per il miglioramento del processo di pirolisi”

TRL (inizio fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.19

Sviluppo di un processo di Steam Reforming elettrico

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alberto Giaconia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 570.173,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 449.821,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 484.821,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 100.536,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.605.351,00

Descrizione attività:

Tale attività prende spunto dall'esperienza e competenza ENEA maturate nello sviluppo di reformer di nuova generazione, alimentati con fonti rinnovabili. Si tratta di una nuova frontiera dell'ingegneria in vista della decarbonizzazione mediante elettrificazione diretta dei processi industriali particolarmente energivori. Tale soluzione consentirebbe, infatti, di sostituire le comuni fornaci alimentate con gas combustibile (gas naturale, “off-gas” di processo, ecc.) con riscaldatori elettrici a loro volta alimentati da un mix di sorgenti nel quale prevarrà la componente rinnovabile. Ne risulta un sistema privo di emissioni di gas combustibili, che ben si adatta a scenari applicativi per la produzione d'idrogeno verde in ambienti civili e industriali, come back-up degli elettrolizzatori, diversificando le fonti energetiche (in tal caso un mix di elettricità da rinnovabili e biomasse).

L'attività R&D avrà come obiettivo l'intensificazione di processo e l'integrazione con sistemi di accumulo di calore che consentano di sfruttare al meglio l'energia elettrica rinnovabile quando disponibile a costi più bassi (ad es. in periodi off-peak o di curtailment).

È previsto lo sviluppo e validazione sperimentale di su due diversi tipi di reformer elettrico su scala prototipale (circa 200 NI/h d'idrogeno prodotto) presso i laboratori di ENEA-Casaccia: steam reforming elettrico a bassa temperatura (<600°C) e ad alta temperatura (>700°C). Si utilizzerà un feedstock con caratteristiche tipiche del biometano.

Nel caso dello steam reforming elettrico ad alta temperatura (eSR-HT) verrà sviluppato e testato un reformer elettrico a temperature prossime a quelle dei reformer convenzionali (>700°C) con la realizzazione di un prototipo mono-tubolare. Si studierà la possibilità di riscaldamento diretto del tubo (effetto Joule diretto) e soluzioni innovative che prevedono il riscaldamento diretto del catalizzatore il cui supporto strutturato diviene elemento scaldante. Si studierà inoltre l'integrazione con idonei sistemi di accumulo di calore per elevate temperature (> 700°C, solidi refrattari, materiali a cambiamento di fase, ecc.). Il riscaldamento elettrico potrà essere di tipo ohmico o induttivo o misto.

Nel caso dello steam reforming elettrico a bassa temperatura (eSR-LT, <600°C) verrà sviluppato un reattore a membrana riscaldato mediante sali fusi utilizzati sia come fluido termovettore che come mezzo di stoccaggio del calore rinnovabile. Questa attività capitalizza i risultati ottenuti in progetti precedenti coordinati dall'ENEA (progetti CoMETHy, RdS PTR 2019-21). Lo sviluppo del reattore di eSR-LT richiederà lo sviluppo di specifiche membrane selettive e permeabili all'idrogeno per alte temperature (250-600°C). Verrà, inoltre, studiato un sistema con riscaldamento elettrico diretto di tipo resistivo in prossimità delle superfici di scambio termico, con e senza interposizione di materiali di accumulo termico.

Rispetto ai processi riscaldati con combustibili, nel caso del reforming elettrico diventa importante spingere la conversione del biometano in modo da alleggerire il carico energetico delle unità di separazione dei prodotti. Verrà pertanto studiata anche l'integrazione con soluzioni innovative, tra cui materiali adsorbenti del CO₂ con l'obiettivo è di ottenere un consumo inferiore a 25 kWh_e per kg di idrogeno prodotto (nei processi di elettrolisi il consumo elettrico è comunemente >50 kWh_e/kgH₂).

Si prevede infine lo scale-up di processo dalla scala di laboratorio a quella minima per applicazioni commerciali (>50 Nm³/h) e valutazioni tecnico-economiche secondo casi studio di integrazione con una rete elettrica che nella transizione energetica prevedrà la crescente penetrazione di sorgenti rinnovabili, fino all'utilizzo esclusivo di fonti rinnovabili. I risultati verranno confrontati con i processi di elettrolisi alimentati dalla stessa rete.

Si prevede la collaborazione con l'Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale, per lo sviluppo e la fornitura di catalizzatori speciali ed innovativi per i processi eSR-LT ed eSR-HT, considerata la consolidata e riconosciuta competenza e esperienza nella tematica suddetta.

Risultati attesi:

M1.1.19.1 [M12]	Completamento design preliminare dei prototipi di reattori eSR-LT ed eSR-HT
M1.1.19.2 [M12]	Messa a punto delle tecniche per la realizzazione delle membrane permeabili all'idrogeno da integrare nei reattori eSR-LT
M1.1.19.3 [M24]	Realizzazione e completamento della caratterizzazione di prototipi di membrane per il reattore eSR-LT
M1.1.19.4 [M24]	Completamento del design dei prototipi di reattori eSR-LT ed eSR-HT da circa 200 NI/h d'idrogeno prodotto
M1.1.19.5 [M30]	Realizzazione e acquisizione dei catalizzatori e delle membrane per i prototipi di reattori eSR-LT ed eSR-HT

- M1.1.19.6 [M30] Completamento dei prototipi di reattori eSR-LT ed eSR-HT da circa 200 NI/h d'idrogeno prodotto presso i laboratori di ENEA-Casaccia
- M1.1.19.7 [M42] Completamento test di validazione sperimentale di diverse soluzioni di reformer elettrico
- M1.1.19.8 [M42] Completamento analisi tecnico-economica del processo integrato su scala commerciale (>50 Nm³/h)

Output:

- D1.1.19.1 [M12] Rapporto Tecnico "Design di un reattore mono-tubolare eSR-HT con riscaldamento elettrico con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto"
- D1.1.19.2 [M12] Rapporto Tecnico "Design di un reattore a membrana di eSR-LT con riscaldamento indiretto a sali fusi con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto"
- D1.1.19.3 [M12] Rapporto Tecnico "Design di un reattore a membrana di eSR-LT con riscaldamento elettrico diretto con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto"
- D1.1.19.4 [M12] Rapporto Tecnico "Messa a punto delle tecniche per la realizzazione delle membrane permeabili all'idrogeno da integrare nei reattori eSR-LT"
- D1.1.19.5 [M24] Prototipi di membrane per l'integrazione nei reattori eSR-LT
- D1.1.19.6 [M24] Rapporto Tecnico "Caratterizzazione di membrane per l'integrazione nei reattori eSR-LT"
- D1.1.19.7 [M36] Prototipo di reattore mono-tubolare eSR-HT con riscaldamento elettrico con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto
- D1.1.19.8 [M36] Prototipo di reattore a membrana di eSR-LT con riscaldamento indiretto a sali fusi con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto
- D1.1.19.9 [M42] Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale di diverse soluzioni di reformer elettrico"
- D1.1.19.10 [M42] Rapporto Tecnico "Studio di scale-up di processo dalla scala di laboratorio a quella minima per applicazioni commerciali (alimentazione biogas >300 Nm³/h di biogas) e valutazioni tecnico-economiche secondo casi studio di integrazione con una rete elettrica avente prevalenza di sorgenti rinnovabili"

TRL (inizio fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.20

Produzione d'idrogeno mediante reforming e idrogassificazione di biomasse

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alberto Giaconia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 300.107,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 259.106,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 177.860,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 88.928,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 826.001,00

Descrizione attività:

L'attività è rivolta allo sviluppo a livello di laboratorio di un nuovo processo di produzione d'idrogeno a partire da matrici carboniose come biomasse residuali, frazioni biogeniche dei rifiuti, ecc. Secondo tale processo, recentemente brevettato dall'ENEA ("Process for the production of methane from refuse-derived fuel", European Patent Grant EP 3434753 del 4/8/2021; "Processo e impianto di trattamento dei rifiuti a matrice carboniosa", domanda di brevetto n. IT102021000018125 del 9/7/2021), i materiali carboniosi vengono in primo luogo trattati con idrogeno in un reattore di idrogassificazione (HG) a temperature comprese tra 250 e 500°C e in presenza di catalizzatori. Rispetto ai processi di gassificazione con O₂/aria, la biomassa (anche umida) non verrà ossidata, bensì ridotta, in un processo esotermico che richiede apporto d'idrogeno dall'esterno, con produzione di metano. Il CH₄ così prodotto verrà purificato e inviato a una sezione di reforming di nuova generazione (SMR alimentato con calore derivato da fonti rinnovabili) per la produzione di idrogeno: parte dell'idrogeno così prodotto verrà ricircolato per alimentare l'unità HG, mentre vi sarà un surplus di idrogeno che rappresenterà la produzione netta.

Una descrizione dettagliata del processo è pubblicata sulla rivista "La Chimica e l'Industria" (n.3/2022). Dai bilanci di materia ed energia si dimostra che il processo HG integrato con SMR innovativo determina un'elevata efficienza di conversione della biomassa in idrogeno e rappresenta un metodo per l'immagazzinamento delle FER sotto forma di idrogeno.

Gli schemi concettuali sviluppati dall'ENEA (TRL2) verranno dimostrati in un impianto dimostrativo da realizzare su scala di laboratorio (TRL3) per la produzione di circa 100 NI/h di idrogeno da matrici carboniose di vario genere.

La prima fase dell'attività riguarda la messa a punto e il testing del prototipo di reattore HG, utilizzando diverse tipologie di feedstock, da materiali omogenei "modello" a composizione nota fino al trattamento di campioni di biomasse residuali e frazioni biogeniche di rifiuti forniti da operatori nel settore.

Obiettivo di tale attività è quello di massimizzare le rese in metano da HG e al tempo stesso limitare o azzerare la formazione di potenziali co-prodotti nocivi. I test di laboratorio (almeno 1 kg/giorno di materiale trattato) saranno necessari per definire le condizioni operative (temperatura dai 250 ai 550°C, pressione da 1 a 30 bar, rapporto idrogeno/biomassa, ecc.), il sistema catalitico e validare la stabilità del reattore per tempi prolungati (almeno 1.000 ore).

Dopo aver determinato la mappa prestazionale del reattore HG in diverse condizioni operative verranno studiati i processi di purificazione della corrente prodotta ricca in metano, con l'obiettivo di eliminare tracce di contaminanti (HCl, NH₃, H₂S, ecc.) potenziali veleni per i catalizzatori dei reattori di SMR e WGS. A tal fine verranno esaminati setacci molecolari e soluzioni innovative che possano migliorare l'efficienza dell'intero processo.

Il reattore HG verrà infine direttamente connesso con le unità di SMR e WGS per consentire la produzione netta di almeno 100 NI/h d'idrogeno e la dimostrazione in laboratorio del processo integrato. Verranno inoltre studiate soluzioni d'intensificazione di processo con apposite unità di separazione della CO₂.

Alla luce dei risultati sperimentali ottenuti, lo schema concettuale inizialmente sviluppato e brevettato dall'ENEA verrà ulteriormente analizzato dal punto di vista tecno-economico (valutazione dei costi di produzione dell'idrogeno) e di sostenibilità di processo considerando un impianto di conversione di circa 10 ton/giorno di biomassa da rifiuto in uno scenario applicativo reale.

Si prevede di avvalersi della collaborazione dell'Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale, per lo sviluppo e la fornitura di catalizzatori innovativi per l'unità HG, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza nella tematica suddetta.

L'ENEA si avvarrà inoltre della collaborazione dell'Università Campus Biomedico di Roma per uno studio sulla sostenibilità di processo e valutazione economica, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza nella tematica suddetta.

Risultati attesi:

- M1.1.20.1 [M12] Completamento design preliminare del prototipo di reattore da laboratorio di idrogassificazione
- M1.1.20.2 [M12] Prototipo di reattore di idrogassificazione da almeno 1 kg/giorno di biomassa trattata realizzato e messo in esercizio
- M1.1.20.3 [M24] Completamento test di validazione sperimentale e caratterizzazione del reattore di idrogassificazione
- M1.1.20.4 [M30] Messa a punto del processo di trattamento e purificazione della corrente di metano prodotta nell'idrogassificatore
- M1.1.20.5 [M36] Completamento del prototipo da laboratorio di idrogassificazione integrato con le unità di purificazione e produzione dell'idrogeno
- M1.1.20.6 [M42] Completamento dei test sperimentali di validazione dell'impianto integrato per la produzione di almeno 100 NI/h d'idrogeno
- M1.1.20.7 [M42] Completamento analisi tecnico-economica e di sostenibilità (ciclo di vita) del processo integrato su scala commerciale per la conversione di circa 10 ton/giorno di biomassa da rifiuto in uno scenario applicativo reale

Output:

- D1.1.20.1 [M12] Prototipo di reattore di idrogassificazione realizzato e messo in esercizio
- D1.1.20.2 [M24] Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale e mappa prestazionale del reattore di idrogassificazione"
- D1.1.20.3 [M36] Impianto di produzione d'idrogeno mediante idrogassificazione integrato con le unità di purificazione e steam reforming
- D1.1.20.4 [M42] Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale del processo di produzione d'idrogeno mediante idrogassificazione integrato con le unità di purificazione e steam reforming"
- D1.1.20.5 [M42] Rapporto Tecnico "Analisi tecnico-economica e di sostenibilità del processo integrato su scala commerciale per la produzione d'idrogeno mediante conversione di biomassa da rifiuto"

TRL (inizio – fine):2-4

WP1 – LA1.1.21

Produzione plasmo-chimica di idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Nicola Lisi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 212.681,91

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 336.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 320.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.168.681,91

Descrizione attività:

Le attività della LA si inseriscono negli obiettivi generali di “elettrificazione della produzione di idrogeno” e di “decarbonizzazione dei processi produttivi”, che saranno perseguiti attraverso lo sviluppo di processi basati su plasmi chimici per la produzione di idrogeno.

Nello specifico si studieranno ed implementeranno processi basati su plasmi a bassa temperatura, con la finalità di immagazzinare gli eccessi di produzione elettrica rinnovabile sotto forma di energia chimica. Lo studio proposto nel suo complesso presenta le seguenti caratteristiche essenziali: (a) il trasferimento di energia per la generazione del plasma avviene con elevata efficienza elettrica grazie all'utilizzo di componenti elettroniche di potenza a stato solido e di sistemi di controllo di ultima generazione, (b) non si utilizzano catalizzatori preziosi, critici o rari, (c) può essere integrato con cicli di valorizzazione della CO₂ per la produzione di e-fuels, per la presenza all'interno del ciclo di processo di building blocks come idrogeno e CO.

L'attività sarà organizzata come di seguito indicato:

- Dissociazione vibrazionale della CO₂ in un plasma a bassa temperatura, up-scaling dei reattori e operazioni di dissociazione con alta efficienza elettrica: aspetti di tecnologia del plasma: disegno e realizzazione di un sistema di generazione al plasma multi kW (obiettivo 10kW); dimensionamento dei componenti elettronici e gestione dell'alta tensione/frequenza con componenti di alta efficienza e basso costo (utilizzo di driver a stato solido in Si e SiC, tecnologie derivate dalla mobilità elettrica, elementi magnetici a bassa isteresi); disegno del reattore ed integrazione con sistemi di raffreddamento a liquido e studio dell'efficienza del processo di dissociazione; predisposizione ed utilizzo di diagnostiche basate su spettroscopia di massa, spettroscopie ottiche ed elettroniche; elaborazione di sistemi di gestione e controllo di processo e per la raccolta dati.
- Separazione di CO ed O₂ mediante processi basati sull'utilizzo di sorbenti e sviluppo di membrane selettive basate su ossidi solidi: sistemi di separazione dei prodotti gassosi (CO, CO₂, O₂) con alta efficienza energetica; sviluppo di un sistema di separazione basato su sorbenti e cicli di pressione, pressione vuoto e pressione vuoto e temperatura (PSA, PVSA e PTSA); sistemi basati sull'utilizzo di membrane selettive (O₂) e possibile integrazione in un singolo processo (immersione nel plasma delle membrane) oltre che in configurazione downstream.
- Produzione di H₂ da CO con WGS a bassa temperatura e gestione dei prodotti gassosi: sviluppo di un reattore WGS per la reazione del flusso di CO con H₂O e la conversione in idrogeno puro con alta efficienza a bassa temperatura; studio e predisposizione per un sistema per la gestione dei prodotti gassosi in uscita dal reattore, riciclo della CO₂, gestione ed utilizzo del flusso di O₂.
- Valorizzazione dei cicli energetici, generazione di e-fuels e valorizzazione degli scarti: studio dei cicli di produzione di idrogeno e CO in base alla disponibilità di fonti rinnovabili, di CO₂ (quantità e qualità) e sulle esigenze della rete (gas, elettrica, combustibili liquidi) verso un “energy management” ottimizzato, basato sull'utilizzo di CO e idrogeno come building blocks; studio della valorizzazione degli scarti energetici elettrici dei processi con plasmi di alta potenza (UV, ozono e sovratensioni) per la purificazione di reflui utilizzati come liquido di raffreddamento.

Nell'ambito della LA ci si avvarrà della collaborazione dell'Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale. Il sistema, per lo sviluppo e la fornitura di un reattore ad alta efficienza e singolo stadio e di catalizzatori strutturati, considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza nella tematica suddetta.

Risultati attesi:

L'obiettivo generale del progetto è giungere alla validazione del processo di produzione di idrogeno per via plasmo-chimica, valutando l'efficienza del processo nel suo complesso, in relazione ai flussi

gassosi ed alle potenze elettriche impiegate, confrontando caratteristiche e performance in relazione a quelle tipiche di un processo di elettrolisi.

M1.1.21.1 [M24] Dissociazione vibrazionale della CO₂ in un plasma a bassa temperatura, up-scaling dei reattori e operazioni di dissociazione con alta efficienza elettrica. Validazione e caratterizzazioni elettriche e plasmo-chimiche del reattore da 10kW di potenza e analisi del processo. Ottimizzazione del reattore in termini di durata, materiali impiegati, disegno elettrico. Definizione dell'efficienza elettrica per la dissociazione della CO₂.

M1.1.21.2 [M24] Separazione di CO ed O₂ dal flusso gassoso mediante membrane a ossidi solidi e altri processi basati sull'utilizzo di sorbenti. Acquisizione e caratterizzazione di sistemi di separazione dei prodotti gassosi (CO, CO₂, O₂) basati su processi PSA e validazione dei costi energetici. Utilizzo di membrane selettive (O₂) e validazione della possibilità di integrazione (immersione nel plasma) oltre che in configurazione downstream. Valutazione comparativa tra i due processi.

M1.1.21.3 [M36] Produzione di idrogeno da CO con WGS a bassa temperatura e gestione dei prodotti gassosi. Validazione del processo WGS, CO e sua reazione con H₂O per la generazione di idrogeno.

M1.1.21.4 [M42] Valutazione dell'efficienza complessiva del processo, considerando le sotto-linee di attività precedenti.

M1.1.21.5 [M42] Valorizzazione dei cicli energetici, generazione di e-fuels e valorizzazione degli scarti. Validazione di possibili cicli "energy management", basato sull'utilizzo CO e idrogeno building blocks. Valutazione sull'utilizzo degli scarti energetici elettrici del processo di dissociazione per la purificazione di acque e reflui utilizzati come raffreddamento

Output:

D1.1.21.1 [M12] Rapporto Tecnico "Progettazione e disegno di un reattore per la dissociazione della CO₂ classe 10kW"

D1.1.21.2 [M18] Reattore operativo presso C.R. ENEA Casaccia

D1.1.21.3 [M18] Sistema per la separazione dei gas basato su cicli di desorbimento "PSA"

D1.1.21.4 [M24] Rapporto Tecnico "Operatività del reattore e caratterizzazioni elettriche e di efficienza di dissociazione"

D1.1.21.5 [M24] Rapporto Tecnico "Operatività dei sistemi di separazione dei gas"

D1.1.21.6 [M36] Reattore per la generazione di idrogeno mediante WGS

D1.1.21.7 [M36] Rapporto Tecnico "Primi test di produzione idrogeno da processi plasmo-chimici"

D1.1.21.8 [M42] Sistema integrato, dissociatore-separatore-generatore con ricircolo dei gas

D1.1.21.9 [M42] Rapporto Tecnico "Produzione plasmo-chimica di idrogeno"

TRL (inizio – fine): 2-5

WP1.1 – LA1.1.22

Produzione di idrogeno mediante processi termochimici ad alta temperatura basati su reattori con membrane iono-conduttrici ad ossidi solidi

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Paolo Fedeli

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 180.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 350.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 380.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 359.782,25

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.269.782,25

Descrizione attività:

I processi di separazione di gas basati su membrane ceramiche operanti ad alta temperatura sono considerati molto promettenti, grazie alla loro elevata efficienza energetica, raggiungibile quando vi sia l'opportunità di un'integrazione con processi produttivi anch'essi richiedenti elevate temperature. Recentemente, un notevole interesse è stato rivolto verso i reattori catalitici a membrana (Catalytic Membrane Reactors, CMRs). In tali dispositivi la membrana può essere utilizzata per alimentare in modo distribuito il gas separato direttamente alla zona di reazione, oppure per separare un prodotto contestualmente alla reazione stessa, superando così le limitazioni imposte dall'equilibrio termodinamico nel caso di reattori tradizionali. La sinergia tra reazione e separazione consente infatti di aumentare l'efficienza energetica. Numerosi studi dimostrano l'utilizzo di CMR in varie applicazioni per la produzione green di vettori energetici.

In questa LA si intende sviluppare questi dispositivi per la produzione di idrogeno tramite un processo di termoscissione dell'acqua. Nello specifico, la ricerca sarà indirizzata verso l'indagine di materiali di membrana che combinino un'elevata efficienza di separazione e un'adeguata stabilità chimica a lungo termine nelle condizioni operative dei reattori, che tipicamente implicano un'elevata temperatura di esercizio ($> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$) e l'esposizione ad atmosfere fortemente riducenti. Inizialmente, sarà condotto uno studio della letteratura scientifica finalizzato all'individuazione dei materiali più promettenti, sia in termini di prestazioni che di stabilità nelle condizioni operative del processo di interesse, in atmosfere di esercizio più o meno gravose.

I composti identificati come più appropriati verranno approvvigionati se disponibili come materiali commerciali, oppure sintetizzati tramite diverse tecniche (e.g. reazioni a stato solido, sol-gel). Le loro proprietà di interesse verranno investigate tramite varie caratterizzazioni, tra cui Diffrazione a Raggi X (XRD), Microscopia Elettronica a Scansione associata a microanalisi con Spettrometria in Dispersione di Energia (SEM-EDS), analisi di fisisorbimento di gas per la determinazione dell'area superficiale specifica (BET) e la distribuzione della dimensione dei pori, chemisorbimento di gas per caratterizzare le membrane in termini di dispersione dei siti attivi sulla superficie, dilatometria differenziale.

I materiali verranno impiegati per la realizzazione di membrane planari che verranno caratterizzate per verificarne l'adeguata microstruttura, resistenza meccanica, assenza di difettosità dovuta a porosità passante e le prestazioni in termini di permeazione di ossigeno. Alla luce delle indicazioni riportate nella letteratura scientifica, verranno inoltre individuati opportuni materiali catalitici da depositare sulle membrane per aumentare i flussi di permeazione e abbassare la temperatura del processo di termoscissione.

In parallelo verrà progettata e realizzata una test facility con forni ad alta temperatura per la verifica delle prestazioni delle membrane nelle condizioni di reazione. Sulla base dei risultati delle prove di permeazione, verranno ottimizzate sia le composizioni dei materiali di membrana che la formulazione dei catalizzatori.

Infine, sulla base dei risultati ottenuti e delle condizioni operative del processo verrà progettato un prototipo di reattore a membrana a scala di laboratorio prevedendo l'individuazione della configurazione più idonea (ovvero planare o tubolare) e, di conseguenza, il sistema di tenuta più opportuno.

Risultati attesi:

L'obiettivo generale di questa linea di attività di ricerca è la verifica della fattibilità di un processo per la termoscissione dell'acqua ad alta temperatura in cui idrogeno e ossigeno, grazie all'impiego di un reattore a membrana, sono prodotti in maniera separata e con elevata resa di reazione. L'attività prevede lo sviluppo di membrane ceramiche stabili ed efficienti per la separazione idrogeno/ossigeno, le cui prestazioni saranno valutate anche con test di lungo periodo. Infine, sulla base dei risultati sperimentali verrà condotta anche una progettazione di massima di un prototipo di reattore a membrana e sarà effettuata per la tecnologia proposta una prima stima dei costi energetici e del costo specifico di produzione dell'idrogeno. I risultati attesi possono sintetizzarsi come segue:

- Individuazione dei materiali ceramici in polvere da utilizzare per la realizzazione delle membrane e valutazione delle proprietà di interesse attraverso la loro caratterizzazione chimico-fisica
- Realizzazione di membrane e loro caratterizzazione in termini di microstruttura, proprietà meccaniche ed efficienza di permeazione
- Progettazione e realizzazione di una postazione di prova per la verifica delle prestazioni delle membrane nelle condizioni della reazione di termoscissione dell'acqua ad alta temperatura
- Formulazione di catalizzatori per l'ottimizzazione composizionale dei materiali di membrane ai fini di una maggiore efficienza della reazione di termoscissione dell'acqua
- Progettazione del prototipo di reattore a membrana ed analisi energetica e di processo per una prima stima dei costi di investimento ed esercizio della tecnologia

M1.1.22.1 [M21] Membrane d'impiego in reattori per il processo di termoscissione dell'acqua

M1.1.22.2 [M27] Postazione di prova per test di reazione

M1.1.22.3 [M42] Progetto del prototipo di reattore a membrana e prima stima dei costi di investimento ed esercizio della tecnologia

Output:

D1.1.22.1 [M12] Studio di letteratura per individuazione materiali da utilizzare per la realizzazione delle membrane

D1.1.22.2 [M24] Caratterizzazione delle membrane realizzate e verifica delle loro proprietà di permeazione

D1.1.22.3 [M42] Caratterizzazione delle membrane in condizioni di reazione e progetto del prototipo di reattore a membrana

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA 1.1.23

Conversione diretta delle biomasse in idrogeno: Sviluppo di materiali per pirolisi e gassificazione di materiali biogenici e sperimentazione in microreattori catalitici per la produzione di idrogeno verde

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Giovanna Ruoppolo

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 96.471,40

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 139.391,90

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 136.019,40

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 76.117,30

Costo totale LA (escluse spese generali): € 448.000,00

Descrizione attività:

Obiettivo della ricerca è lo studio e sviluppo di materiali per l'ottimizzazione di un processo integrato di produzione di idrogeno dalla conversione termo-chimica di biomassa.

Anno 1 - TRL2

Biomasse di origine differente, sia secche e in sospensione acquosa, saranno selezionate e sottoposte a caratterizzazione chimico-fisica rivolta anche alla determinazione delle caratteristiche idonee all'impiego in gassificazione e alle eventuali criticità che potrebbero determinarsi nel loro impiego, correlando le proprietà con le prestazioni di processo. Inoltre, saranno valutate possibili strategie di pretrattamento (torrefazione e pirolisi) per migliorare le proprietà delle biomasse (umidità, stabilità, macinabilità).

Saranno acquisiti o sintetizzati differenti tipologie di materiali catalitici, quali: i) metalli supportati su ossidi (i.e., Fe/g-Al₂O₃ e/o Ni/Al₂O₃-MgO), ii) a base ceramica, geo-polimerica o composita ottenuti con procedura one-step e iii) catalizzatori eterogenei a basso contenuto di metalli nobili per la reazione di Aqueous Phase Reforming (APR). Sarà valutata l'attività dei catalizzatori preparati in condizioni di reazione APR, in attrezzatura da laboratorio dedicata attraverso l'uso di molecole modello derivanti da biomasse e sarà realizzato un impianto da laboratorio multistadio per la gassificazione stazionaria di biomassa assistita da oxygen carrier. Sarà progettato un impianto multistadio a letto fluido da laboratorio.

Anno 2 - TRL3

Sui sistemi catalitici preparati e caratterizzati saranno condotti test preliminari di gassificazione in micro-impianti a letto fisso (≤ 500 mg) e APR al variare dei principali parametri operativi andando a valutare i risultati soprattutto in termini qualità e quantità del syngas prodotto. La correlazione delle prestazioni catalitiche con la caratterizzazione chimico-fisica del catalizzatore mediante processo interattivo permetterà di ottimizzare la composizione dei catalizzatori. Inoltre, la realizzazione di un database di risultati permetterà di valutare i catalizzatori impiegati nella reazione di APR e nella gassificazione in letto fluido. Sarà valutata la possibilità di ottenere sistemi catalitici mediante il recupero di metalli presenti nei fanghi di depurazione a seguito di combustione in letto fluido. Sarà realizzato un impianto multistadio a letto fluido da laboratorio.

Anno 2 - TRL3-4

La conclusione delle fasi precedenti permetterà di: a) selezionare i sistemi catalitici più idonei da applicare in reattori di gassificazione a letto fluido da laboratorio. A tal fine, saranno condotti test al variare del rapporto di equivalenza, di altezza di letto, di velocità superficiale dei gas e con diversi agenti gassificanti (air, steam, oxi); b) verificare la stabilità catalitica in condizioni di APR, nonché la definizione e verifica dei protocolli per la valorizzazione di scarti e residui in prodotti in composti a maggior valore aggiunto, anche per utilizzo nel processo catalitico o come filler per sistemi compositi ceramici e polimerici. Sulla base degli esiti conoscitivi dello screening catalitico saranno selezionati materiali sui quali effettuare una campagna più estesa di gassificazione mirata per individuare condizioni ottimali di reazione per la produzione di idrogeno e minimizzare la produzione di inquinanti (tar, H₂S, NH₃). Saranno condotte prove in impianto multistadio.

Anno 4 - TRL4

Oltre allo studio sui materiali catalitici da impiegare nella gassificazione a letto fluido, sarà studiata la possibilità di upgrade del gas di sintesi in uscita al gassificatore attraverso stadi di reforming e WGS al fine di aumentare la resa in idrogeno. La rimozione di CO₂ sarà studiata con adsorbimento ad alta temperatura in situ o a valle del gassificatore con l'obiettivo di ottenere un syngas ad alto contenuto di idrogeno (>75%). Il char prodotto dalla gassificazione sarà caratterizzato per valutare possibili applicazioni. Saranno valutate le possibili sinergie tra gassificazione processo APR.

Risultati attesi:

M1.1.23.1 [M3] Meeting di inizio attività

- M1.1.23.2 [M6] Layout di impianto multistadio da laboratorio a letto fluido per prove stazionarie di gassificazione con combustibili granulari
- M1.1.23.3 [M9] Definizione di metodi di pretrattamento della biomassa per migliorare le sue caratteristiche di processabilità.
- M1.1.23.4 [M12] Identificazione di metodologie di preparazione di sistemi catalitici riproducibile e a basso costo
- M1.1.23.5 [M12] Database della caratterizzazione delle biomasse da utilizzare
- M1.1.23.6 [M14] Sviluppo di catalizzatori, oxygen carrier, e dispositivi strutturati filtranti e adsorbenti a base ceramica, e caratterizzazione con tecniche standard
- M1.1.23.7 [M18] Sviluppo, caratterizzazione morfologico-strutturale e prove strumentali di catalizzatori eterogenei a basso contenuto di metalli nobili nella reazione di APR, mediante test preliminari con una molecola modello.
- M1.1.23.8 [M20] Ottimizzazione di catalizzatori eterogenei a basso contenuto di metalli nobili anche supportati su residui della gassificazione di biomassa nella reazione di APR mediante test con una o più molecola modello
- M1.1.23.9 [M21] Formulazioni ottimali di catalizzatori con elevata attività e stabilità (termica e chimica) e applicabili in reattori a letto fluido
- M1.1.23.10 [M24] Realizzazione e collaudo di impianto sperimentale da laboratorio per gassificazione; verifiche preliminari di prestazioni dei catalizzatori e dispositivi a base ceramica;
- M1.1.23.11 [M24] Meeting intermedio
- M1.1.23.12 [M24] Avvio database di caratterizzazione dei residui solidi e liquidi prodotti da gassificazione di biomasse
- M1.1.23.13 [M30] Preparazione e caratterizzazione chimico-fisica di carboni attivi al processo di hot-gas cleaning.
- M1.1.23.14 [M33] Avvio database di risultati sperimentali di gassificazione ed elaborazione analitica dei risultati
- M1.1.23.15 [M36] Identificazione di catalizzatori idonei per l'ottenimento di syngas ricco in idrogeno da gassificazione di biomasse
- M1.1.23.16 [M36] Validazione sperimentale in micro-reattori a letto fisso delle prestazioni catalitiche dei sistemi sviluppati per la gassificazione di biomasse
- M1.1.23.17 [M36] Valutazione di efficienza e affidabilità dei materiali sviluppati, in termini di conversione e produzione di idrogeno, nella reazione di APR utilizzando miscele di molecole modello, quali bioalcoli, bioacidi e sugar alcohols
- M1.1.23.18 [M40] Ottimizzazione del processo per la resa massima in idrogeno e criteri di scelta delle variabili operative e dei parametri in funzione delle proprietà della biomassa
- M1.1.23.19 [M42] Risultati sulla valorizzazione degli scarti e residui di processo (es. produzione di catalizzatori o elementi filtranti ad alta temperatura, o nuovi materiali polimerici e ceramici)
- M1.1.23.20 [M42] Individuazione dei catalizzatori più attivi, e stabili nella reazione di APR con miscele di molecole modello quali bio-alcoli e sugar alcohols. Analisi teorica sulla possibile integrazione di gassificazione multistadio e APR
- M1.1.23.21 [M42] Ottimizzazione dei parametri operativi dei processi di upgrading del syngas (rapporti O_2/C , H_2O/C , temperatura, velocità spaziale, pressioni, informazioni dettagliate sulla composizione dei prodotti della reazione) mediante prove di attività catalitica in microscala

M1.1.23.22 [M42] Ottimizzazione del processo di gassificazione catalitica in letto fluido alimentato con diversi agente ossidanti (aria e/o ossigeno e/o steam) in termini di qualità del syngas prodotto con massimizzazione di idrogeno

M1.1.23.23 [M42] Meeting finale

Output:

- D1.1.23.1 [M3] Rapporto tecnico su selezione di campioni preliminari biomassa
- D1.1.23.2 [M6] Layout di impianto multistadio da laboratorio a letto fluido
- D1.1.23.3 [M9] Rapporto tecnico sulla definizione di metodi di pretrattamento delle biomasse selezionate e sulla caratterizzazione preliminare
- D1.1.23.4 [M12] Rapporto tecnico intermedio sulla preparazione e caratterizzazione dei catalizzatori
- D1.1.23.5 [M18] Rapporto finale delle attività svolte per la selezione e caratterizzazione di biomasse residuali e sugli eventuali metodi di pretrattamento da utilizzare per migliorare la processabilità
- D1.1.23.6 [M21] Catalizzatori APR ottimizzati in formulazione
- D1.1.23.7 [M24] Impianto da laboratorio multistadio a letto fluido
- D1.1.23.8 [M24] Rapporto tecnico delle attività svolte per la preparazione, caratterizzazione di catalizzatori home-made, e di acquisizione di catalizzatori tradizionali attivi nei processi termo-chimici
- D1.1.23.9 [M27] Database dei risultati di progetto (avviato)
- D1.1.23.10 [M30] Rapporto tecnico su prove di gassificazione in letto fluido
- D1.1.23.11 [M33] Rapporto tecnico delle attività di test-validazione sperimentale dei sistemi catalitici selezionati e selezione del sistema/i più promettenti per il processo di gassificazione
- D1.1.23.12 [M36] Catalizzatori ottimizzati per gassificazione e APR
- D1.1.23.13 [M39] Rapporto tecnico conclusivo su prove di gassificazione e APR
- D1.1.23.14 [M42] Database definitivo dei risultati di progetto
- D1.1.23.15 [M42] Relazione finale sulle attività e risultati della linea progettuale

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA 1.1.24

Sviluppo di materiali e processi innovativi per processi di elettroreforming di alcoli finalizzati alla produzione di idrogeno

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Francesco Vizza

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 76.195,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 106.262,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 91.655,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 45.888,00

Costo totale (escluse spese generali): € 320.000,00

Descrizione attività:

L'idrogeno è un elemento chiave della tabella di marcia verso la decarbonizzazione poiché può immagazzinare energia accoppiando la generazione di energia elettrica rinnovabile con l'elettrolisi dell'acqua. Questa energia può essere rilasciata su richiesta dalle celle a combustibile per alimentare

il trasporto che, a partire dal 2019, contribuisce al 24% delle emissioni globali di gas a effetto serra. Inoltre, l'idrogeno trova impiego nella produzione di energia per applicazioni stazionarie e nell'industria chimica (es. fissazione dell'azoto e reazioni di idrogenazione). Attualmente, circa il 95% dell'idrogeno è prodotto da risorse fossili, mentre solo il 5% proviene da risorse rinnovabili. È necessario implementare le tecnologie per la produzione di idrogeno verde per ridurre le emissioni di gas a effetto serra nell'industria chimica e nei trasporti (complessivamente inferiori del 30%) e nel settore edile (ulteriore 17,5%).

La scissione elettrolitica dell'acqua è limitata dalla barriera termodinamica dell'ossidazione dell'acqua stessa. Livelli utili di produzione di idrogeno possono essere ottenuti con un consumo di energia elettrica superiore a 45 kWh kg⁻¹ di idrogeno. Il reforming elettrochimico degli alcoli supera tali limitazioni termodinamiche sostituendo l'evoluzione dell'ossigeno con la più favorita ossidazione degli alcoli.

Un risparmio energetico del 50% può essere ottenuto utilizzando alcoli come metanolo, etanolo, glicole etilenico e glicerolo. Il reforming elettrochimico può essere anche utilizzato per sfruttare l'ossidazione parziale di vari alcoli in intermedi di interesse industriale. Questo permette l'accoppiamento della produzione di idrogeno con la bioraffineria al fine di ottenere prodotti della chimica fine. Saranno sintetizzati e caratterizzati dal punto di vista chimico-fisico e morfologico-strutturale (XRD, HR-TEM, SEM, SEM-dual beam, XPS etc.) catalizzatori per elettroreforming di metanolo, etanolo, glicerolo e glicole etilenico con membrane commerciali a scambio protonico (PEM) e anionico (AEM)). I catalizzatori non conterranno materie prime critiche (CRM) all'anodo e al catodo, o saranno a basso carico di CRM. In particolare, saranno a base di nanoparticelle d'oro (ad es. Au, leghe di Au o Au embedded), di palladio (Pd e leghe di Pd), di rodio (Rh e leghe), di molibdeno carburi; compositi contenenti ossido di ceria; sintesi di leghe a base di Pt, con Ru o Sn o tri-metalliche (a seconda dell'alcool di partenza), per l'anodo, e di Pt su diversi supporti carboniosi dalla elevata area superficiale, per il catodo, in modo da minimizzare la presenza di questo metallo nobile negli elettrodi. Saranno presi in considerazione sia l'ambiente acido (membrane polimeriche commerciali a scambio protonico) che quello alcalino (membrane polimeriche commerciali a scambio anionico).

L'obiettivo finale del progetto è di sviluppare l'elettroreforming di alcoli per ottenere idrogeno a basso costo e anche contemporanea produzione di composti chimici ad alto valore aggiunto altrimenti ottenibili mediante processi costosi e altamente impattanti.

L'obiettivo sarà quello di arrivare alla diminuzione del costo di produzione dell'idrogeno verde rispetto al costo attuale (3-6,55 \$ kg⁻¹). Nell'elettroreforming che ci proponiamo di realizzare non si ha evoluzione di ossigeno riducendo il rischio di esplosione dovuto alla miscelazione con idrogeno. Il reforming elettrochimico offre quindi la possibilità di produrre idrogeno ad alta pressione, eliminando virtualmente la costosa compressione multistadio. Un confronto tra le due tecnologie (sistemi a membrana protonica e anionica) verrà condotto per realizzare i prototipi più performanti.

Risultati attesi:

1° anno di attività

Verranno sintetizzati catalizzatori anodici e catodici per elettroreforming di etanolo o glicerolo con AEM, in accordo alle seguenti milestone.

M1.1.24.1 [M6] Sintesi catalizzatori anodici e catodici per la cella a etanolo e glicerolo

M1.1.24.2 [M12] Determinazione della performance dei catalizzatori: densità di corrente in cella AEM di elettro-reforming di alcool > 0,4 A cm⁻² a 0,9 V

2° anno di attività

Saranno sintetizzati catalizzatori anodici e catodici per celle con membrana a scambio protonico (PEM), utilizzando glicerolo o etanolo all'anodo, in accordo alle seguenti milestone.

- M1.1.24.3 [M15] Sintesi catalizzatori anodici per la cella a etanolo e glicerolo
M1.1.24.4 [M18] Sintesi catalizzatori catodici per la cella a etanolo e glicerolo
M1.1.24.5 [M24] Determinazione della performance dei catalizzatori: densità di corrente in cella PEM di elettro-reforming di alcool > 0,4 A cm⁻² a 0,9 V

3° anno di attività

Verranno sintetizzati catalizzatori anodici e catodici per celle con membrana a scambio anionico (AEM), utilizzando glicole etilenico o metanolo all'anodo, in accordo alle seguenti milestone.

- M1.1.24.6 [M27] Sintesi catalizzatori anodici per la cella AEM a metanolo e glicole etilenico
M1.1.24.7 [M30] Sintesi catalizzatori catodici per la cella AEM a metanolo e glicole etilenico
M1.1.24.8 [M36] Determinazione della performance dei catalizzatori: densità di corrente in cella AEM di elettro-reforming di alcool > 0,5 A cm⁻² a 0,9 V

4° anno di attività

verranno sintetizzati catalizzatori anodici e catodici per celle a glicole etilenico o metanolo, con membrana a scambio cationico (PEM), in accordo alle seguenti milestone.

- M1.1.24.9 [M39] Sintesi catalizzatori anodici e catodici per la cella PEM a metanolo e glicole etilenico
M1.1.24.10 [M42] Determinazione della performance dei catalizzatori: densità di corrente in cella PEM di elettro-reforming di alcool > 0,5 A cm⁻² a 0,9 V

Output:

- D1.1.24.1 [M6] Relazione di stato di avanzamento del progetto: sintesi catalizzatori anodici e catodici per l'ossidazione di glicerolo e etanolo in sistemi AEM
D1.1.24.2 [M12] Relazione di stato di avanzamento del progetto: determinazione della performance dei sistemi elettrolitici per glicerolo ed etanolo (AEM)
D1.1.24.3 [M18] Relazione di stato di avanzamento del progetto: Sintesi catalizzatori catodici e anodici per la cella a etanolo e glicerolo PEM
D1.1.24.4 [M24] Relazione di stato di avanzamento del progetto: determinazione della performance dei sistemi elettrolitici per glicerolo ed etanolo (PEM)
D1.1.24.5 [M30] Relazione di stato di avanzamento del progetto: sintesi catalizzatori anodici e anodici per la cella AEM a glicole etilenico e metanolo
D1.1.24.6 [M36] Relazione di stato di avanzamento del progetto: determinazione della performance dei sistemi elettrolitici per glicole etilenico e metanolo (AEM)
D1.1.24.7 [M39] Relazione di stato di avanzamento del progetto: sintesi catalizzatori anodici e catodici per l'ossidazione di glicole etilenico e metanolo in sistemi PEM
D1.1.24.8 [M42] Relazione finale del progetto: Principale risultati ottenuti e valutazione comparativa della migliore tecnologia

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA 1.1.25

Sviluppo di materiali e processi catalitici per il reforming di biogas in idrogeno

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Claudio Evangelisti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 169.343,50

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 249.259,96

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 247.843,14

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 141.553,40

Costo totale LA (escluse spese generali): € 808.000,00

Descrizione attività:

L'attività verterà sul design e lo sviluppo di catalizzatori eterogenei mono- e bimetallici innovativi con l'obiettivo di migliorare i processi di reforming per la produzione di idrogeno da biogas, e di reattori a membrana selettive all'idrogeno per la produzione e simultanea separazione di idrogeno ad elevata purezza.

1° Anno (TRL2): Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori innovativi e di basso costo, anche privi/a basso contenuto di PGMs/CRMs, da integrarsi in reattori tradizionali o a membrana, supportati su: i) carrier con elevata proprietà di trasporto dell'ossigeno (es. CeO_2) ii) ossidi di origine naturale con proprietà basiche, per la riduzione dell'avvelenamento da coke. I catalizzatori verranno preparati utilizzando approcci innovativi diversi (es. combustione in soluzione, sintesi idrotermale, deposizione di particelle metalliche). Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori a base ceramica, additivati con metalli/ossidi, per utilizzo in letto fluido. Studio dei catalizzatori, in forma di polveri/pellet, in impianti in microscala in processi di Steam Reforming (SR), Reforming Ossidativo (Oxy Steam Reforming, OSR) e Dry Reforming (DR). Sviluppo e caratterizzazione membrane a base di grafene, selettive per la separazione di idrogeno, e caratterizzazione delle membrane inorganiche da utilizzarsi nel processo di reforming.

2° Anno (TRL3): Analisi dell'influenza dei contaminanti presenti nelle correnti di biogas, in particolare H_2S , sulle prestazioni dei sistemi catalitici più promettenti. Valutazione delle differenti metodologie di sintesi al fine di evitare la sinterizzazione ed aumentare la resistenza alla disattivazione da coke e/o da H_2S . Analisi morfologico-strutturali "post mortem" dei materiali e delle membrane. Misure di diffrazione a raggi X su catalizzatori in polvere micro o nanocristallina in presenza di flusso di biogas e soggette a gradiente di temperatura. Sviluppo di un reattore su scala laboratorio con membrane a base di Pd e/o sue leghe studiando l'influenza dei contaminanti presenti nelle correnti di biogas.

3° Anno (TRL3-4): Sviluppo di catalizzatori con aumentata resistenza all'avvelenamento e alla formazione di coke. Preparazione di catalizzatori a base di ossidi di ceria/ceria drogata, per aumentare l'interazione con $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, oppure con struttura perovskitica, a base di lantanidi opportunamente drogati, per limitare la sinterizzazione e l'avvelenamento da coke. Studi strutturali in situ di catalizzatori soggetti a correnti sintetiche di biogas. Sviluppo di catalizzatori ceramici strutturati con architettura e porosità ingegnerizzata mediante tecniche come freeze-casting, foaming, geopolimerizzazione e microestrusione. Deposizione delle formulazioni più promettenti, mediante procedure di "coating", su supporti strutturati ($\text{Vol.} \approx 1\text{-}2\text{cm}^3$, es. monoliti e/o foam in cordierite e Carburo di Silicio), con diverse caratteristiche geometriche (PPI, porosità, area superficiale geometrica), con l'obiettivo di migliorare il trasferimento di massa e di calore all'interno del letto di reazione. Analisi di configurazioni a doppio stadio, con reformer tradizionale seguito da uno stadio di separazione a membrana a base di Pd e/o sue leghe per la purificazione della corrente di idrogeno. Confronto di prestazioni tra reattori tradizionali, a membrana, e sistema a doppio stadio.

4° Anno (TRL4): Selezione dei catalizzatori, nonché dei metodi sintetici e di "coating" più adatti allo scale-up di tali materiali, e della configurazione reattoristica con le migliori prestazioni catalitiche per l'utilizzo in un reattore prototipo. Verranno svolti di test di reforming in reattore tradizionale da laboratorio con valutazione delle condizioni ottimali di processo, e di purificazione della corrente di reformato ricca in idrogeno mediante dispositivo a membrana in grafene. Sugli stessi catalizzatori saranno effettuate opportune prove sperimentali utili all'identificazione della cinetica di reazione e delle performance catalitiche.

Risultati attesi:

- M1.1.25.1 [M3] Stato dell'arte aggiornato su catalizzatori e processi catalitici di reforming del biogas; Meeting inizio progetto
- M1.1.25.2 [M6] Individuazione e/o realizzazione di reattori e di stazioni di prova per test catalitici di reforming del biogas, lo sviluppo dei protocolli di test dei materiali e delle condizioni operative
- M1.1.25.3 [M9] Sviluppo di catalizzatori eterogenei e mono- e bimetallici di impiego in processi catalitici di reforming del biogas con elevata attività, selettività e stabilità
- M1.1.25.4 [M12] Sviluppo di reattori a membrane a base di Pd e/o sue leghe auto supportate, integrati con i catalizzatori innovativi per il reforming del biogas, al fine di produrre idrogeno ultrapuro (purezza > 99.999%)
- M1.1.25.5 [M15] Ottimizzazione dei parametri operativi per ottenere un'elevata conversione del biogas ed un'elevata produttività di idrogeno
- M1.1.25.6 [M18] Studio dell'influenza dei contaminanti (H_2S) sulle prestazioni (attività, tempo di vita, deposizione di coke) dei catalizzatori per il reforming del biogas
- M1.1.25.7 [M21] Definizione delle migliori metodologie di sintesi sia del supporto che per l'introduzione del metallo attivo al fine di modulare l'interazione metallo-supporto e stabilizzare la fase metallica dalla sinterizzazione
- M1.1.25.8 [M24] Sviluppo di reattori a membrane a base di Pd e/o sue leghe supportate, integrati con i catalizzatori innovativi per il reforming del biogas, al fine di produrre idrogeno di tipo CO_x -free e recupero rispetto al totale prodotto > 70%; Meeting metà progetto
- M1.1.25.9 [M27] Sviluppo di catalizzatori eterogenei innovativi con aumentata resistenza all'avvelenamento da contaminanti presenti nelle correnti di biogas (H_2S , etc.) e alla formazione di coke
- M1.1.25.10 [M30] Individuazione di una metodologia di coating adeguata alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato usato
- M1.1.25.11 [M33] Identificazione delle cinetiche catalitiche dei catalizzatori più promettenti
- M1.1.25.12 [M36] Sviluppo e testing di soluzioni impiantistiche a doppio stadio costituite da un reformer tradizionale seguito da uno stadio di separazione a membrane a base di Pd, confrontandone i risultati in termini di conversione del CH_4 , produzione e recupero di idrogeno di tipo CO_x -free con un reattore a membrana a singolo stadio; Sviluppo e caratterizzazione morfologica e catalitica di catalizzatori strutturati in forma di monoliti e/o schiume ceramiche a celle aperte (Foams)
- M1.1.25.13 [M39] Scale-up del metodo di coating per la preparazione di catalizzatori strutturati di dimensioni significative ($\Phi = 2\text{cm}$, $L = 5-15\text{cm}$, $Vol = 25-50\text{ cm}^3$)
- M1.1.25.14 [M42] Ottimizzazione e scale-up della sintesi dei catalizzatori e del processo con prestazioni più elevate e alla validazione scala prototipale della configurazione impiantistica che avrà offerto le migliori prestazioni nel 3° anno di attività; Identificazione delle condizioni ottimali di esercizio e dei principali parametri operativi utilizzando reattori catalitici strutturati; Meeting fine progetto

Output:

- D1.1.25.1 [M3] Rapporto tecnico delle attività svolte per la definizione dello stato dell'arte aggiornato su catalizzatori e processi catalitici di reforming del biogas

- D1.1.25.2 [M6] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'individuazione e/o realizzazione di reattori e di stazioni di prova per test catalitici di reforming del biogas, lo sviluppo dei protocolli di test dei materiali e delle condizioni operative [
- D1.1.25.3 [M9] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di catalizzatori eterogenei e mono- e bimetallici di impiego in processi catalitici di reforming del biogas con elevata attività, selettività e stabilità
- D1.1.25.4 [M12] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di reattori a membrane a base di Pd e/o sue leghe auto supportate, integrati con i catalizzatori innovativi per il reforming del biogas, al fine di produrre idrogeno ultrapuro (purezza > 99.999%)
- D1.1.25.5 [M15] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'ottimizzazione dei parametri operativi per ottenere un'elevata conversione del biogas ed un'elevata produttività di idrogeno
- D1.1.25.6 [M18] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo studio dell'influenza dei contaminanti (H₂S) sulle prestazioni (attività, tempo di vita, deposizione di coke) dei catalizzatori per il reforming del biogas.
- D1.1.25.7 [M21] Rapporto tecnico delle attività svolte per la definizione delle migliori metodologie di sintesi sia del supporto che per l'introduzione del metallo attivo al fine di modulare l'interazione metallo-supporto e stabilizzare la fase metallica dalla sinterizzazione
- D1.1.25.8 [M24] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di reattori a membrane a base di Pd e/o sue leghe supportate, integrati con i catalizzatori innovativi per il reforming del biogas, al fine di produrre idrogeno di tipo CO_x-free e recupero rispetto al totale prodotto > 70%
- D1.1.25.9 [M27] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di catalizzatori eterogenei innovativi con aumentata resistenza all'avvelenamento da contaminanti presenti nelle correnti di biogas (H₂S, etc.) e alla formazione di coke
- D1.1.25.10 [M30] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'individuazione di una metodologia di coating adeguata alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato usato
- D1.1.25.11 [M33] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'identificazione delle cinetiche catalitiche dei catalizzatori più promettenti
- D1.1.25.12 [M36] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo e testing di soluzioni impiantistiche a doppio stadio costituite da un reformer tradizionale seguito da uno stadio di separazione a membrane a base di Pd, confrontandone i risultati in termini di conversione del CH₄, produzione e recupero di idrogeno di tipo CO_x-free con un reattore a membrana a singolo stadio, e valutandone la migliore soluzione di processo per il conseguimento dei target di progetto; Sviluppo e caratterizzazione morfologica e catalitica di catalizzatori strutturati in forma di monoliti e/o schiume ceramiche a celle aperte (Foams)
- D1.1.25.13 [M39] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo scale-up del metodo di coating per la preparazione di catalizzatori strutturati di dimensioni significative ($\Phi = 2\text{cm}$, $L = 5 - 15\text{cm}$, $\text{Vol} = 25 - 50 \text{ cm}^3$)
- D1.1.25.14 [M42] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'ottimizzazione e scale-up della sintesi dei catalizzatori e del processo con prestazioni più elevate e alla validazione scala prototipale della configurazione impiantistica che avrà offerto le migliori prestazioni nel 3° anno di attività; Identificazione delle

condizioni ottimali di esercizio e dei principali parametri operativi utilizzando reattori catalitici strutturati

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA 1.1.26

Sviluppo di materiali e processi catalitici per il cracking del biogas per la produzione di idrogeno

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Giuliano Giambastiani

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 14.200,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): €16.187,55

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 40.488,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): €25.124,45

Costo totale LA (escluse spese generali): € 96.000,00

Descrizione attività:

L'attività di progetto mira a migliorare la produzione di idrogeno da metano (CH₄) o biogas utilizzando catalizzatori altamente efficienti, robusti, durevoli, selettivi ed eventualmente privi di metalli. La tecnologia del cracking catalitico del metano (CMC) si baserà sull'utilizzo di catalizzatori nella forma di matrici carboniose pure o come compositi del tipo core-shell ottenuti attraverso un processo di coating con strati di carbonio a porosità controllata su matrici ceramiche termoconduttive di natura non-ossidica. La scelta della fase cataliticamente attiva (metallica o non-metallica) dipenderà dalla natura del "feed" utilizzato per cracking. Il processo si avvarrà inoltre di una tecnologia di riscaldamento non convenzionale, altamente efficace di tipo "contactless" per indirizzare il calore dove è necessario affinché il processo CMC abbia luogo senza sprechi energetici. A questo riguardo, i sistemi catalitici sviluppati nel processo saranno impiegati in reattori a letto fisso ed in combinazione con la tecnologia di riscaldamento diretto ad induzione elettromagnetica sfruttando la conducibilità elettrica (correnti parassite) delle matrici carboniose. Il controllo fine della temperatura consentirà la generazione di depositi di carbonio solido che manterranno (o miglioreranno significativamente) le proprietà catalitiche delle fasi carboniose attraverso una crescita omoepetiassiale dei depositi stessi, generati durante il processo.

L'attività si avvarrà dell'esperienza consolidata del team di ricerca del CNR nell'ambito della catalisi eterogenea per applicazione in processi di interesse industriale nonché della comprovata esperienza in processi eso- ed endotermici promossi attraverso protocolli di riscaldamento a radiofrequenza. Nello specifico del processo di cracking catalitico del metano (CRC), si prevede un TRL di partenza pari a 2, ovvero una "formulazione consolidata del concetto tecnologico oggetto della ricerca". L'attività svolta prevederà un passaggio da TRL2 a TRL4 con una convalida della tecnologia catalitica e delle configurazioni dei reattori riscaldati induttivamente su scala di laboratorio. Oltre all'attività catalitica programmata e destinata alla produzione di idrogeno unitamente allo sviluppo di reattori riscaldati a radiofrequenza, il progetto si propone la valorizzazione dell'unico sottoprodotto di reazione ottenuto dal cracking del gas naturale o biogas: il carbonio solido. Saranno valutate le possibili applicazioni del carbonio prodotto in un contesto di rilevanza industriale ed in particolare in quei segmenti di mercato con alto volume di richiesta annuale di carbonio dove il suo impiego possa rappresentare un valore aggiunto per il potenziamento generale della efficienza di processo. Per questa attività, il progetto si propone di intrattenere contatti accademici ed industriali che

possano potenziare le proposte di sfruttamento del carbone ottenuto come prodotto secondario dal cracking del metano.

La prima annualità riguarderà lo sviluppo dei catalizzatori/suscettori elettromagnetici robusti e stabili a base carboniosa, eventualmente contenenti matrici termo-conduttive di natura ceramica non-ossidica capaci di promuovere il CRC anche in presenza di contaminanti naturali di tipo azotato o solforato. Sarà prestata attenzione alle condizioni di processo per valorizzare la produzione di C solido tale da agire anche come catalizzatore “self-produced” nel CRC. TRL2-TRL3

La seconda annualità riguarderà l’ottimizzazione dei reattori ad induzione elettromagnetica e la valutazione della risposta che i catalizzatori/suscettori avranno rispetto al campo magnetico esterno applicato al processo. TRL3

La terza e parte della quarta annualità saranno destinate alla ottimizzazione ed intensificazione di processo. Saranno attivati i contatti necessari per la valorizzazione ed il potenziamento della tecnologia sviluppata in modo da raggiungere un TRL4 sia per la produzione di idrogeno sia per quella relativa alla valorizzazione del C solido prodotto.

Risultati attesi:

Complessivamente la proposta progettuale riguarda lo sviluppo di catalizzatori a base carboniosa eventualmente contenenti nanoparticelle di Nickel da utilizzare come catalizzatori/suscettori in reattori a letto fisso riscaldati a radiofrequenza per il processo di cracking catalitico del metano o più in generale del biogas. L'obiettivo generale è sviluppare una tecnologia CMC di seconda generazione, efficiente dal punto di vista energetico che soddisfi le caratteristiche elencate qui di seguito:

- Riduzione fino ad azzeramento di emissioni di CO₂ in CMC attraverso l’uso di sistemi reattore totalmente elettrificati e utilizzando energia elettrica da fonti rinnovabili.
- Risparmio energetico di circa il 40% rispetto ai tradizionali reattori dello stato dell’arte grazie al riscaldamento per induzione elettromagnetica.
- Efficienza energetica > 75% (pari al reforming del metano senza “Carbon Capture & Sequestration” - CCS)
- Elevate rese di reazione per idrogeno fino al 90% con il raggiungimento di un TRL target pari a 4 grazie al riscaldamento diretto a radiofrequenza dei catalizzatori
- Catalizzatori altamente stabili e durevoli anche in presenza di contaminanti naturali (tipicamente di natura azotata o solforata nelle sorgenti di gas naturale).
- Autorigenerazione dei sistemi catalitici grazie ad un controllo fine della temperatura al letto catalitico che si traduce in una crescita omoepitassiale dei depositi carboniosi di nuova formazione (cataliticamente attivi)
- Costo competitivo dell'idrogeno: < 2 €/kg
- Valorizzazione del carbonio formato come unico sottoprodotto del processo CRC; prezzo < 0,4 €/kg

La combinazione di catalizzatori nanostrutturati a base carboniosa e a porosità controllata eventualmente contenenti una fase metallica con sistemi di induzione elettromagnetica per il riscaldamento diretto del letto catalitico, consentiranno di ottimizzare al massimo i costi di processo garantendo al tempo stesso una elevata efficienza energetica ed un elevato rendimento al processo CRC.

M1.1.26.1 [M18] Sviluppo di materiali catalitici a base carboniosa o nella forma di compositi a partire da matrici ceramiche di natura non ossidica e termoconduttiva eventualmente decorati con nanoparticelle metalliche (Ni) a loading variabile da impiegare come catalizzatori/suscettori elettromagnetici facilmente scalabili, a basso costo e a basso/nullo impatto ambientale (senza rilascio di

materiali nanostrutturati di natura metallica) per la produzione di letti catalitici destinati alla conversione in continuo di gas naturale o biogas in idrogeno (turchese) e carbonio solido. La scelta di materiali metal-free con proprietà termococonduttive e con buona conducibilità elettrica risponde all'esigenza di sfruttare le loro caratteristiche per l'impiego di tecniche non convenzionali e ad elevato risparmio energetico per il riscaldamento del letto catalitico alle temperature necessarie per il processo di cracking. La possibile assenza di fasi metalliche cataliticamente attive riduce/annulla gli effetti di passivazione (coking) del catalizzatore. Infine, il controllo più accurato della temperatura al letto catalitico (induzione elettromagnetica) potrà consentire una rigenerazione della fase carboniosa cataliticamente attiva durante il processo di accumulo dei depositi di carbonio solido (crescita epitassiale di una fase carboniosa cataliticamente attiva nel processo)

- M1.1.26.2 [M36] Sviluppo di un protocollo di reazione con riscaldamento ad induzione ottenuto mediante l'applicazione di un campo elettromagnetico esterno e la conseguente conversione dell'energia elettromagnetica in calore direttamente dove il calore è necessario al processo di catalisi (letto catalitico/suscettore). Tale tecnologia consente lo sviluppo di reattori così detti "a pareti fredde" limitando fortemente tutti i fenomeni di dissipazione energetica (e più in generale di "energy wasting") classicamente presenti nei reattori a fornace classica. Inoltre, il riscaldamento a induzione elettromagnetica consente una completa elettrificazione del processo con la possibilità di utilizzare sorgenti energetiche CO₂-free per alimentare il reattore
- M1.1.26.3 [M42] Valorizzazione dell'idrogeno "turchese" prodotto dal processo CRC e valorizzazione del carbonio solido ottenuto come unico sottoprodotto della reazione in settori di rilevanza industriale

Output:

Per valutare adeguatamente lo stato di avanzamento del progetto e fornire al tempo stesso una valutazione dettagliata e concreta dei risultati conseguiti, sono stati identificati una serie di "deliverables" in corrispondenza del mese in cui si ritiene possano essere adeguatamente affrontati.

- D1.1.26.1 [M12] Relazione sulla produzione di catalizzatori a base carboniosa o compositi C/SiC per applicazione in processi CMC
- D1.1.26.2 [M12] Dati di caratterizzazione completi sulle proprietà fisico-chimiche dei catalizzatori oggetto di studio
- D1.1.26.3 [M18] Relazione sulle correlazioni proprietà/attività dei catalizzatori sopra citati nel processo CMC
- D1.1.26.4 [M24] Relazione sulla natura e proprietà dei depositi di carbonio ottenuti nel processo, loro valorizzazione e applicazione come catalizzatori "self-produced" durante il processo stesso
- D1.1.26.5 [M30] Progettazione e messa a punto di un reattore a letto fisso riscaldato per induzione elettromagnetica (radiofrequenza)
- D1.1.26.6 [M36] Relazione sul cracking del metano in idrogeno attraverso il reattore a letto fisso riscaldato a radiofrequenza
- D1.1.26.7 [M39] Report sul processo CMC ottimizzato e comparazione tra le proprietà catalitiche dei depositi di C prodotti durante il CMC e i carboni solidi commerciali

- D1.1.26.8 [M42] Report su campi di applicazione e sulle proprietà dei materiali carboniosi solidi ottenuti dal CMC e valorizzazione dell'idrogeno turchese prodotto nel processo
- D1.1.26.9 [M42] Valutazione comparativa dell'impatto ambientale derivante dalla produzione di idrogeno convenzionale "verde" (elettrolisi dell'acqua) e idrogeno "turchese" (CMC) e relazione finale di attività

TRL (inizio-fine): 2-4

PROCESSI BIOLOGICI

WP1.1 – LA 1.1.27

Sviluppo di processi di produzione biologica di idrogeno tramite fermentazione (dark fermentation) da reflui agro-industriali, inclusa l'applicazione delle scienze ohmiche per l'ottimizzazione del processo

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Silvia Rosa

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 283.830,03

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 209.912,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 208.201,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 107.229,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 809.172,03

Descrizione attività:

Dark Fermentation (DF) a partire da rifiuti di natura organica è un processo biologico che presenta alcuni vantaggi rispetto ad altre tecnologie di produzione di bioH₂ rinnovabile. Si tratta di un processo *carbon neutral* in grado di produrre idrogeno verde continuamente con un basso fabbisogno energetico combinato a una gestione sostenibile dei rifiuti.

Le attività della linea di ricerca affronteranno i principali limiti tecnici che impediscono lo sviluppo della tecnologia DF (bassa resa e bassa efficienza energetica) al fine di massimizzare e stabilizzare la resa complessiva del processo, attraverso lo studio e l'integrazione dei suoi parametri biotici (comunità microbica, geni/enzimi) e abiotici (controllo elettrochimico, codigestione di substrati, parametri operativi, configurazione reattoristica).

Le comunità microbiche miste (MMC) costituiscono 'il motore' che guida il processo DF e possiedono vantaggi rispetto ai ceppi puri. In particolare, sono favorite dall'esistenza di relazioni di cooperazione metabolica e di simbiosi, garantiscono al processo una maggiore resistenza e resilienza e, quindi, una migliore capacità di adattamento ai parametri operativi o ai meccanismi d'inibizione dei sottoprodotti; consentono di operare in condizioni di non sterilità, riducendo significativamente i costi dei processi.

Al fine di ottenere MMC potenziate nella loro capacità di produzione di bioH₂ e di sviluppare un processo di fermentazione stabile ed efficiente, le attività di ricerca saranno finalizzate a sviluppare una piattaforma per la loro selezione, esplorando diversi sistemi di screening.

L'applicazione di metodologie molecolari high-throughput (metagenomica, metatrascrittomica e metaproteomica) permetterà di mettere a punto strategie di ingegneria dei processi microbiologici (*eco-engineering*) efficaci per controllare e garantire una produzione efficiente di bioH₂. Le attività di ricerca saranno così articolate:

- Standardizzazione di un protocollo analitico per valutare il potenziale di produzione di bioH₂ (BHP) dagli scarti agro-industriali, per stimare il BHP delle MMC nel corso della selezione.
- Sviluppo di una strategia sperimentale per l'arricchimento e l'isolamento di MMC per la produzione di bioH₂ da ecosistemi microbici naturali (sedimenti, suoli) o antropogenici (fanghi di depurazione, digestato).
- Sviluppo di processi di autofermentazione degli scarti agro-industriali per l'arricchimento delle comunità microbiche indigene produttrici di bioH₂.
- Sviluppo di strategie di *eco-engineering* per controllare il processo DF attraverso la bioaugmentation e progettazione di comunità microbiche sintetiche anche ricorrendo a ceppi batterici di interesse individuati grazie alle conoscenze acquisite nella LA 11.2.3, e/o acquistati da collezioni microbiche commerciali.
- Sviluppo di un processo di fermentazione elettrochimicamente assistita (EF), con l'ausilio del monitoraggio metagenomico, per la selezione di MMC efficienti nella produzione di bioH₂ e/o l'attivazione selettiva di specifici pathways metabolici. L'EF rappresenta una tecnologia innovativa per controllare lo spettro di prodotti ottenibili durante la DF mediante l'ausilio di un elettrodo polarizzato. Recenti evidenze sperimentali hanno mostrato un aumento della produzione di H₂ in prove di EF correlato ad un aumento di specie microbiche produttrici di H₂. Diversi parametri operativi (es. potenziale applicato all'elettrodo, tipologia di inoculo utilizzato) possono essere investigati per individuare le condizioni ottimali del processo EF che consentono di massimizzare la resa di produzione di idrogeno.
- Allestimento del processo DF con la MMC più efficiente e ottimizzazione dei parametri critici del processo.

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione della Sapienza, Università di Roma, Dipartimento di Chimica, per lo sviluppo del processo di fermentazione elettrochimicamente assistita, in considerazione delle consolidate e riconosciute competenze ed esperienze sul tema specifico.

Risultati attesi:

- M1.1.27.1 [M12] Potenziale di produzione di bioH₂ (BHP) da scarti agro-industriali. Definizione di un protocollo standardizzato per BHP
- M1.1.27.2 [M24] Consorzi microbici misti (MMC). Acquisizione di MMC funzionali per la produzione di bioH₂ da scarti agro-industriali
- M1.1.27.3 [M36] Integrazione dei dati biologici (profilo metabolico, metatrascrittomica, metaproteomica) e di processo. Identificazione dei percorsi metabolici delle MMC
- M1.1.27.4 [M42] Processo EF. Produzione di bioH₂ tramite un processo EF ottimizzato
- M1.1.27.5 [M42] Processo DF. Produzione di bioH₂ tramite un processo DF stabile e ottimizzato

Output:

- D1.1.27.1 [M12] Rapporto Tecnico "Selezione dello scarto agro-industriale. Stato dell'arte e caratterizzazione chimico-fisica del substrato"
- D1.1.27.2 [M18] Rapporto Tecnico "Metodologie per la produzione potenziale di bioH₂ e stesura di un protocollo operativo"
- D1.1.27.3 [M24] Rapporto Tecnico "Processo di autofermentazione"
- D1.1.27.4 [M30] Rapporto Tecnico "Caratterizzazione metagenomica delle MMC"
- D1.1.27.5 [M36] Definizione delle unità funzionali (specie chiave e/o CFU) delle MMC selezionate e caratterizzazione molecolare.

- D1.1.27.6 [M36] Rapporto Tecnico “Controllo della fermentazione attraverso strategie di *eco-engineering* ed elettrofermentazione”
- D1.1.27.7 [M42] Rapporto Tecnico “Selezione di MMC tramite EF in funzione del potenziale applicato all’elettrodo, che varia le condizioni ossido-riduttive del mezzo di reazione (ORP)”
- D1.1.27.8 [M42] Rapporto Tecnico “Produzione di bioH₂ dal processo DF ottimizzato”
- D1.1.27.9 [M42] Rapporto Tecnico “Analisi metaomiche e di correlazione microrganismi/metaboliti/parametri di processo”

TRL (inizio-fine): 2-4

WP 1.1 – LA 1.1.28

Sviluppo di tecnologie di celle elettrolitiche microbiologiche per la produzione di idrogeno dalla conversione dei sottoprodotti della fermentazione in un processo a cascata

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Silvia Rosa

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 297.598,34

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 225.045,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 180.858,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 114.011,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 817.512,34

Descrizione attività:

L'elettrolisi microbica è un processo in grado di produrre idrogeno verde in modo efficiente e sostenibile, utilizzando il carbonio organico dei sottoprodotti della Dark Fermentation (DF). Nelle celle elettrochimiche microbiologiche (MEC) batteri denominati esoelettrogeni ossidano un substrato organico utilizzando un elettrodo come accettore finale di elettroni. Mediante l'applicazione di un potenziale elettrico è possibile utilizzare gli elettroni prodotti per la riduzione dei protoni ad H₂. Grazie all'energia chimica contenuta nei substrati organici, una MEC consente di produrre idrogeno elettrolitico applicando una tensione teoricamente 10 volte inferiore rispetto all'elettrolisi dell'acqua (+0,18 vs +1,23 V considerando l'ossidazione dell'ac. acetico).

Uno dei principali limiti delle MEC è la necessità di pretrattare substrati complessi, attraverso una fase di idrolisi e fermentazione, al fine di scomporre le macromolecole in composti più piccoli e facilmente biodegradabili che verranno utilizzati dai batteri esoelettrogeni.

Pertanto, l'accoppiamento della produzione di idrogeno per DF con le MEC in un processo doppio stadio massimizza sia il recupero energetico, in forma di idrogeno, sia il trattamento dei rifiuti, secondo il concetto di Bioraffineria. Un ulteriore vantaggio è quello di poter utilizzare le MEC come tecnologia per lo stoccaggio energetico in grado di convertire surplus di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili, in energia chimica sottoforma di idrogeno.

Nell'ambito del progetto, sarà sviluppato una cella di Elettrolisi Microbica della sostanza organica per la produzione di idrogeno al fine di utilizzare i metaboliti solubili sottoprodotti della DF (LA 1.1.27).

Le attività saranno focalizzate a massimizzare e stabilizzare la resa complessiva del processo, attraverso lo studio e l'integrazione dei parametri biotici (comunità microbica, interazioni tra microrganismi esoelettrogeni e fermentativi) e abiotici (potenziale applicato, materiali elettrodici adottati, parametri operativi del processo, configurazione reattoristica).

L'obiettivo finale è quello di dimostrare la fattibilità dell'accoppiamento dei processi DF e MEC in un processo a cascata e di ottimizzare le rese complessive di produzione di H₂.

Le attività di ricerca saranno inizialmente finalizzate a selezionare e arricchire microrganismi eso-elettrogeni efficienti. La selezione e l'ottimizzazione di consorzi microbici verrà monitorata mediante metodologie molecolari high-throughput che permetteranno di studiare le interazioni microbiche per mettere a punto strategie di *eco-engineering* efficaci per controllare e ottimizzare il processo. Una volta selezionate comunità anodiche robuste e performanti, saranno ottimizzati i parametri critici del processo per migliorare le rese e l'efficienza globale del processo accoppiato.

L'attività di ricerca sarà impostata in accordo alle seguenti azioni:

- Analisi bibliografica per la scelta della migliore configurazione reattoristica
- Allestimento della piattaforma sperimentale per i sistemi bio-elettrochimici
- Sviluppo di una strategia per l'arricchimento di comunità microbiche anodiche efficienti per la produzione di bioH₂
- Test di diverse strategie per l'inibizione della metanogenesi utilizzando inibitori selettivi della metanogenesi o procedure di shock termico
- Sviluppo di strategie di eco-engineering per migliorare e controllare il processo MEC attraverso la bioaugmentation anche ricorrendo a ceppi batterici di interesse individuati grazie alle conoscenze acquisite nella LA1.1.27 e/o acquistati da collezioni microbiche commerciali
- Allestimento del processo MEC più efficiente e ottimizzazione dei parametri critici del processo
- Accoppiamento dei processi DF e MEC ed ottimizzazione dei parametri di processo per la massimizzazione delle rese complessive in idrogeno.

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione Università della Sapienza di Roma, Dipartimento di Chimica, in considerazione delle consolidate e riconosciute competenze ed esperienze sul tema di interesse, per lo sviluppo del processo di elettrolisi microbica della sostanza organica.

Risultati attesi:

M1.1.28.1 [M12] Selezione della configurazione di reattore per il processo MEC

M1.1.28.2 [M24] Selezione ed arricchimento di comunità anodiche efficienti. Protocollo per l'arricchimento delle comunità anodiche

M1.1.28.3 [M24] Disponibilità di una comunità microbica anodica efficiente per la produzione di bioH₂

M1.1.28.4 [M30] Definizione di strategie biologiche per il controllo e per il miglioramento del processo

M1.1.28.5 [M36] Identificazione della combinazione ottimale dei parametri operativi di processo

M1.1.28.6 [M36] Allestimento di un processo MEC stabile ed ottimizzato per la produzione di bioH₂

M1.1.28.7 [M42] Allestimento di un processo di bioraffineria per l'idrogeno su un substrato selezionato. Integrazione del processo DF con le MEC per la definizione di un processo a cascata.

Output:

D1.1.28.1 [M12] Allestimento della piattaforma sperimentale

D1.1.28.2 [M12] Rapporto Tecnico "Analisi bibliografica sulle Celle elettrolitiche Microbiche"

D1.1.28.3 [M12] Realizzazione su scala banco di un prototipo MEC

D1.1.28.4 [M24] Rapporto Tecnico "Arricchimento di comunità microbiche anodiche su un substrato modello"

D1.1.28.5 [M24]	Rapporto Tecnico "Selezione ed arricchimento di comunità microbiche anodiche sull'effluente della DF"
D1.1.28.6 [M24]	Rapporto Tecnico "Strategie di inibizione della metanogenesi"
D1.1.28.7 [M36]	Rapporto Tecnico "Strategie di eco-engineering"
D1.1.28.8 [M36]	Rapporto Tecnico "Produzione di bioH ₂ nel corso dell'ottimizzazione dei parametri sperimentali della MEC"
D1.1.28.9 [M42]	Rapporto Tecnico "Valorizzazione dei sottoprodotti della DF tramite MEC in relazione alla composizione degli effluenti"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP 1.1 - LA 1.1.29

Produzione di idrogeno da microalghe: ingegneria genetica per aumentare la produzione di idrogeno nelle microalghe

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Carlo Fasano

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 195.062,75

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 202.486,07

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 126.486,07

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 132.936,55

Costo LA (escluse spese generali): € 656.971,44

Descrizione attività:

L'idrogeno verde può essere prodotto da microrganismi fotosintetici attraverso la fotolisi o biofotolisi. La biofotolisi genera idrogeno partendo dall'acqua con una reazione neutra, in cui l'unico altro prodotto risulta essere l'ossigeno. La produzione di idrogeno attraverso l'utilizzo di microrganismi come le microalghe ed i cianobatteri è, quindi, molto promettente come fonte alternativa di energia pulita e rinnovabile. Inoltre, le microalghe hanno il vantaggio di poter produrre idrogeno sia direttamente attraverso la fotolisi che indirettamente tramite fermentazione batterica della biomassa da loro generata. Possono crescere in acque contaminate, producendo in questo modo non solo idrogeno, ma anche biomassa, metaboliti ad alto valore aggiunto (carboidrati, proteine, carotenoidi, biofenoli, polioidrossialcanoati, ecc.) e ripulire le acque dai contaminanti.

Uno dei maggiori fattori limitanti alla produzione di idrogeno su larga scala è che non esistono infrastrutture che lo producano ed immagazzinino in maniera efficiente e sicura. In quest'ottica l'utilizzo delle diatomee come microalghe nel produrre idrogeno mostra prospettive molto interessanti. Infatti, il frustolo, ovvero la parete cellulare delle diatomee costituita da una nano-architettura in silicio poroso, possiede importanti capacità di assorbimento ed immagazzinamento dell'H₂.

Gli enzimi chiave coinvolti nella biosintesi di idrogeno nelle microalghe presentano nei loro siti attivi dei complessi a cluster di metalli. Ad oggi sono stati identificati tre enzimi principali che possono essere attivi anche contemporaneamente: una idrogenasi, una uptake-idrogenasi ed una nitrogenasi. Nelle alghe verdi la produzione di H₂ dipende dall'attivazione dell'idrogenasi all'interno del cloroplasto in condizioni anaerobiche o di anossia, perché l'enzima risulta fortemente inibito dalla presenza di O₂. Il secondo enzima coinvolto nella biosintesi di idrogeno l'uptake-idrogenasi tollera bene l'O₂ e consuma l'idrogeno prodotto, trasferendo elettroni da esso ad accettori come SO₄²⁻ e NO₃⁻. La nitrogenasi converte l'N₂ atmosferico in ammoniaca, producendo H₂ come

sottoprodotto. Questi geni rappresentano i principali targets molecolari per l'ottenimento di ceppi algali più efficienti nella biosintesi di idrogeno.

Altro fattore determinante è la luce dato che influenza innumerevoli fattori che incidono sull'efficienza di conversione dell'energia solare in idrogeno. Anche i geni che codificano per proteine coinvolte nella trasduzione del segnale luminoso sono, pertanto, degli ottimi candidati per modificazioni genetiche volte al miglioramento della produzione di idrogeno.

Al fine di ottenere microalghe e/o cianobatteri con aumentata capacità di produzione di idrogeno, all'interno del progetto saranno svolte le seguenti attività:

- screening genetici basati sulla genotipizzazione tramite metagenomica della comunità microbica di interesse, cianobatterica ed algale (incluse le diatomee), al fine di individuare strains più efficienti per la produzione di idrogeno e caratterizzazione molecolare e funzionale, tramite approcci integrati di trascrittomica, metabolomica e bioinformatica;
- generazione di ceppi di alghe e cianobatteri transgenici e mutanti, con lo scopo di ottenere microrganismi con migliorata capacità di crescita e di produzione di idrogeno e loro caratterizzazione molecolare e funzionale;
- ottimizzazione della crescita in coltura degli organismi ottenuti, per massimizzare la produzione di idrogeno "su scala di laboratorio", nonché la produzione di biomassa;
 - individuazione di eventuali bioprodotto ad alto valore aggiunto che possono essere ottenuti dalla crescita dei microrganismi ingegnerizzati in concomitanza con la produzione di idrogeno.

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione dell'Istituto di Ecologia Marina Integrata - in considerazione delle consolidate e riconosciute competenze ed esperienze sui temi specifici di interesse - per condurre uno screening e coltivazione di specie microalgali di potenziale interesse per la produzione di idrogeno in bioreattori "su scala laboratorio", analisi della produzione di idrogeno in vivo dei ceppi di microalghe ed ottimizzazione della crescita in coltura degli organismi ottenuti, per massimizzare la produzione di idrogeno.

Risultati attesi:

M1.1.29.1 [M12]	Selezione di specie/ceppi di microalghe e cianobatteri con elevata efficienza nella produzione di idrogeno
M1.1.29.2 [M18]	Individuazione di geni target e loro regolatori in grado di influenzare la produzione di idrogeno nelle specie selezionate
M1.1.29.3 [M21]	Realizzazione di costrutti molecolari per l'ingegnerizzazione delle specie selezionate
M1.1.29.4 [M30]	Generazione di microalghe e cianobatteri ingegnerizzati
M1.1.29.5 [M36]	Selezione dei microrganismi con aumentata capacità di produzione di idrogeno
M1.1.29.6 [M42]	Caratterizzazione molecolare e funzionale dei microrganismi ottenuti
M1.1.29.7 [M42]	Ottimizzazione della crescita dei microrganismi su scala di laboratorio

Output:

D1.1.29.1 [M12]	Lista di specie/ceppi di microalghe e cianobatteri selezionati per la produzione di idrogeno
D1.1.29.2 [M24]	Lista di geni target e loro regolatori per la produzione di idrogeno
D1.1.29.3 [M36]	Microrganismi ingegnerizzati con aumentata capacità di produzione di idrogeno
D1.1.29.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Quantificazione della produzione di idrogeno dei microrganismi ingegnerizzati su scala di laboratorio"

D1.1.29.5 [M42] Rapporto Tecnico “Quantificazione della produzione di biomassa ed eventuali bioprodotto ad alto valore aggiunto dei microrganismi ingegnerizzati su scala di laboratorio”

TRL (inizio-fine): 2-3

WP 1.1 - LA 1.1.30

Sviluppo di processi biologici sostenibili e bioreattori per la produzione di idrogeno con batteri/microorganismi fotosintetici da sottoprodotti e biomasse dell'industria agro-alimentare

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Giuliana D'Ippolito

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 112.206,29

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 179.512,02

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 176.333,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 83.949,59

Costo totale LA (escluse spese generali): € 552.000,90

Descrizione attività:

L'attività prevede indagini sulla produzione biologica di idrogeno verde da biowaste utilizzando:

- Batteri anaerobi ipertermofili dell'ordine Thermotogales attraverso la Capnophilic Lactic Fermentation (CLF), pathway brevettato (EP2948556B1), che permette la conversione di carboidrati in bio-H₂ e acido L-lattico, con riciclo della CO₂ mediante carbossilazione riduttiva dell'acetato. L'attività riguarderà studi di chimica bio-organica della CLF per definire i meccanismi biochimici e cellulari che consentono la produzione di bio-H₂, includendo i pathway biosintetici, la regolazione dell'idrogenasi e degli altri enzimi chiave del processo, gli aspetti bioenergetici. Gli studi metabolici saranno alla base per lo sviluppo di una piattaforma microbica di sfruttamento tecnologico della CLF per la produzione di idrogeno con alte rese e versatilità di utilizzo dei substrati.
- Microalghe e cianobatteri attraverso biofotolisi (BF), avvalendosi della loro attività idrogenasica (microalghe), o nitrogenasica (cianobatteri). L'attività riguarderà: ottimizzazione di crescita di microalghe contenenti attività idrogenasica (es. *C. reinhardtii* e mutanti commerciali) e cianobatteri con nitrogenasi (es. *Nostoc*), in condizioni autotrofe in terreni di coltura standard; crescita di microalghe con acque di scarto di industrie agroalimentari e quantificazione produzione di idrogeno; test di diverse condizioni di crescita per incrementare la crescita microalgale (per es. in condizioni eterotrofe) e produttività di idrogeno; crescita di microalghe in presenza di materiali polimerici (idrogel) capaci di aumentare la concentrazione in situ di CO₂ e la rimozione di O₂.
- Batteri fotosintetici anossigenici (purple e green) via fotofermentazione (FF) di composti organici o attraverso la produzione di fotocorrenti per processi di produzione di idrogeno all'elettrodo. L'attività riguarderà: selezione di ceppi di batteri anossigenici fotosintetici, anche facoltativi, iperproduttori di idrogeno da collezioni di microrganismi di IPCF e ambienti inquinati; standardizzazione produzione di idrogeno ottimizzando pH, salinità, terreni, contenuto metalli pesanti, titolo zolfo, illuminazione zone visibile e NIR; assemblaggio di piccolo fotobioreattore con microrganismi precedentemente selezionati e nelle condizioni di crescita più favorevoli per la produzione di idrogeno; caratterizzazione dei sottoprodotti e delle acque reflue da industria casearia, pomodoro e olio; prove di laboratorio del fotobioreattore in (1) modalità di produzione

diretta di idrogeno e in (2) modalità elettrochimica con elettrodi che massimizzano l'interazione con i microorganismi verso anodi per la produzione esterna di idrogeno.

- Saranno inoltre sviluppati materiali di immobilizzazione cellulare (MIC) polimerici, per la realizzazione di sistemi a elevate prestazioni per la produzione di bio-H₂. In particolare, saranno preparati idrogeli a base di polisaccaridi, proteine idrofiliche e polimeri acrilici, valutandone l'interazione cellulare mediante microscopia elettronica e potenziale zeta. Saranno inoltre valutate la stabilità e la possibilità di riutilizzo delle matrici per sistemi di produzione in continuo. Sulla base dei risultati ottenuti, si svilupperanno polimeri ibridi funzionalizzati e stimuli-responsive, per ottimizzare condizioni di coltura (adesione, carica superficiale, capacità pH-tamponante, adsorbimento selettivo di sottoprodotti) e produzione di bio-H₂, semplificando le procedure di gestione del bio-reattore.
- Sarà sviluppato un prototipo di bio-reattore (BRP) per batteri anaerobi ipertermofili, per la produzione di bio-H₂ in flusso continuo, ed innovativo rispetto ai sistemi tradizionali, con lo scopo di minimizzare i volumi e massimizzare i risultati ottenuti nell'attività CLF, creando i presupposti per il trasferimento tecnologico verso le aziende. Inoltre, sarà effettuata una valutazione di massima sull'adattabilità dei concetti di base del prototipo al caso di microrganismi fotosintetici.

Risultati attesi:

- | | |
|------------------|--|
| M1.1.30.1 [M6] | CLF - Utilizzo di precursori marcati con isotopi stabili per studi biosintetici e metabolici in batteri Thermotogales selezionati |
| M1.1.30.2 [M6] | FF - Protocollo di crescita per i microorganismi fotosintetici anossigenici e per i consorzi microbici ottimizzati alla produzione di H ₂ e di corrente elettrica |
| M1.1.30.3 [M9] | MIC - Selezione e caratterizzazione di supporti a base di polisaccaridi, proteine e polimeri sintetici a base idrossialchilacrilica |
| M1.1.30.4 [M9] | BRP - Analisi critica dello stato dell'arte dei bioreattori e delle specificità dei batteri ipertermofili e fotosintetici |
| M1.1.30.5 [M12] | BF - Identificazione di condizioni di crescita di microalghe favorevoli alla produzione di idrogeno |
| M1.1.30.6 [M12] | FF - Risposta microbica alle condizioni di crescita in diverse condizioni di illuminazione |
| M1.1.30.7 [M12] | BRP - Definizione dei principi di base del funzionamento del prototipo |
| M1.1.30.8 [M18] | CLF - Protocolli per lo studio correlativo di produzione di idrogeno e metabolismo in batteri Thermotogales selezionati |
| M1.1.30.9 [M18] | FF - Caratterizzazione dei consorzi microbici e della risposta alle condizioni di crescita in presenza di biowaste. |
| M1.1.30.10 [M18] | MIC - Utilizzo degli idrogeli selezionati come supporti di immobilizzazione per la produzione di bio-H ₂ . |
| M1.1.30.11 [M18] | BRP - Definizione del processo, ausiliari e progetto di massima del sistema integrato proposto |
| M1.1.30.12 [M24] | BF - Identificazione di condizioni di crescita di microalghe favorevoli alla produzione di idrogeno, anche in presenza di reflui acquosi di industrie agroalimentari |
| M1.1.30.13 [M24] | FF - Caratterizzazione dell'operatività del fotobioreattore |
| M1.1.30.14 [M24] | BRP - Progetto esecutivo del prototipo di bio-reattore e acquisizione di materiale per la sua realizzazione |
| M1.1.30.15 [M30] | CLF - Protocolli sperimentali per la produzione di H ₂ da bio-waste utilizzando i batteri Thermotogales selezionati per gli studi metabolici |

- M1.1.30.16 [M30] BF - Identificazione di microalghe capaci di crescere in condizioni eterotrofe utili a una miglior crescita microalgale e di produzione di idrogeno
- M1.1.30.17 [M30] BRP - Produzione del bio-reattore e disegno del banco di test da laboratorio
- M1.1.30.18 [M33] FF - Dati di produzione in funzione delle variabili di crescita testate nei fotobioreattori in biowaste da industrie alimentari
- M1.1.30.19 [M33] MIC - Ottenimento di almeno un idrogelo funzionalizzato stimuli-responsive con capacità di interazione cellula-matrice modulabile
- M1.1.30.20 [M36] BRP - Realizzazione del banco di test e calibrazione con definizione del protocollo di misura
- M1.1.30.21 [M40] MIC - Utilizzo di almeno un polimero ibrido stimuli-responsive come supporto di immobilizzazione cellulare
- M1.1.30.22 [M40] CLF - Definizione dei parametri metabolici in processi di produzione di H₂ da biowaste
- M1.1.30.23 [M42] FF - Valutazione dei risultati e redazione di protocollo per la replica del processo con biowaste di origine differente dai precedenti
- M1.1.30.24 [M42] BF - Coltivazioni di microalghe e cianobatteri intrappolati in idrogel o in forma di biofilm su superfici polimeriche funzionalizzate capaci di avere maggiore capacità produttiva di idrogeno rispetto alla coltivazione cellulare in forma non immobilizzata
- M1.1.30.25 [M42] BRP - Test in condizioni simulate di laboratorio e validazione

Output:

- D1.1.30.1 [M9] MIC – Rapporto tecnico sullo sviluppo e la caratterizzazione di matrici polimeriche a base di polisaccaridi, proteine e polimeri sintetici
- D1.1.30.2 [M9] BRP - Rapporto tecnico sullo stato dell'arte e basi di lavoro
- D1.1.30.3 [M12] CLF - Rapporto tecnico sull'identificazione dei pathway metabolici di interesse in batteri Thermotogales selezionati per la produzione di idrogeno
- D1.1.30.4 [M12] BF - Definizione di protocolli di crescita di microalghe e cianobatteri commerciali in condizioni e mezzi di coltura convenzionali tali da permettere produzione di idrogeno
- D1.1.30.5 [M12] FF - Rapporto tecnico sui ceppi e sui consorzi microbici e relative produzioni di idrogeno
- D1.1.30.6 [M12] BRP - Rapporto tecnico sulla definizione dei principi di funzionamento del prototipo
- D1.1.30.7 [M15] FF - Rapporto tecnico sulla relazione reflui agroalimentari (e non) sulla produzione di idrogeno ed elettricità
- D1.1.30.8 [M18] MIC - Rapporto tecnico sui risultati ottenuti utilizzando gli idrogeli selezionati come supporti di immobilizzazione per la produzione di bioidrogeno
- D1.1.30.9 [M18] BRP - Progetto di massima del sistema integrato (Report con progetto)
- D1.1.30.10 [M24] CLF - Descrizione della regolazione e della interazione dei pathway metabolici correlati alla produzione di idrogeno
- D1.1.30.11 [M24] BF - Protocolli per l'ottenimento di brodi di coltura ottimizzati per microalghe e cianobatteri utili alla produzione di idrogeno da acque reflue di industrie agroalimentari
- D1.1.30.12 [M24] FF - Rapporto tecnico sulle interfacce microorganismo/elettrodo
- D1.1.30.13 [M24] BRP - Progetto esecutivo del prototipo di bio-reattore (Report con progetto).
- D1.1.30.14 [M30] FF - Rapporto tecnico sui fotobioreattori

- D1.1.30.15 [M30] BRP_Produzione del bio-reattore (Prodotto); Progetto del banco di test da laboratorio (Report)
- D1.1.30.16 [M33] MIC - Almeno un supporto ibrido stimuli-responsive con capacità di interazione cellula-matrice modulabile realizzato
- D1.1.30.17 [M36] CLF - Definizione del processo di produzione ottimizzata di idrogeno su biowaste con batteri selezionati per studi metabolici
- D1.1.30.18 [M36] BF - Protocolli per l'ottenimento di brodi di coltura ottimizzati per microalghe e cianobatteri utili alla crescita cellulare in condizioni eterotrofe e alla produzione di idrogeno
- D1.1.30.19 [M36] FF - Rapporto tecnico su operatività del fotobioreattore e rispettivi output elettrici e di idrogeno
- D1.1.30.20 [M36] BRP - Realizzazione del banco di test (Prodotto); Report del protocollo di misura e verifica banco di test (Rapporto tecnico)
- D1.1.30.21 [M40] MIC - Rapporto tecnico sull'impiego e la caratterizzazione di polimeri ibridi stimuli-responsive come supporti di immobilizzazione per la produzione di bio-H₂
- D1.1.30.22 [M42] CLF - Processo su bio-waste convalidato su scala di laboratorio
- D1.1.30.23 [M42] BF - Definizione di protocolli utili alla crescita di colture microalgali in presenza di idrogel utili allo sviluppo di fotobioreattori utilizzabili per coltivazione e produzione di idrogeno continua e prolungata
- D1.1.30.24 [M42] FF - Rapporto tecnico sul processo per almeno due tipi di biowaste
- D1.1.30.25 [M42] BRP - Rapporto tecnico dei risultati dei test in condizioni di laboratorio

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1 – LA 1.1.31

Sviluppo di materiali ed elettrodi per sistemi di bioelettrolisi microbica e prevenzione della corrosione microbiologica

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Pierangela Cristiani

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 60.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 40.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 40.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 33.489,75

Costo totale LA (escluse spese generali): € 173.489,75

Descrizione attività:

La metanazione biologica è un processo ben conosciuto che converte CO₂ e idrogeno a metano, attuato da microrganismi del dominio Archaea. Questi microorganismi sono tra le forme più antiche di vita (precedenti anche ai batteri) e sono i responsabili della produzione di metano negli impianti di biogas. L'utilizzo degli stessi consorzi microbici responsabili della produzione di metano nei digestori anaerobici in sistemi bioelettrochimici ha permesso di mettere a punto un nuovo processo di metanazione idrogenotrofa che metabolizza la CO₂ su biocatalizzatori, chiamato elettrometanogenesi (BEP2G). RSE coordina da tempo attività multidisciplinari sul tema svolte in collaborazione con diversi istituti universitari, e ha maturato competenze utili ad indirizzare le ricerche nei campi applicativi di interesse energetico. In particolare, RSE detiene un consolidato know-how sulla

corrosione microbiologica dei materiali metallici e sugli effetti elettrici indotti da batteri che interagiscono con elettrodi non corrodibili, sui quali si basa la tecnologia elettrochimica microbica. In accordo con le sperimentazioni di bioelettrolisi microbica in corso nei laboratori di ricerca più avanzati nel mondo, la ricerca proposta si focalizza sullo sviluppo di materiali compositi ad alta superficie che favoriscano l'azione catalitica dei microorganismi produttori di idrogeno. La peculiarità innovativa delle attività proposte è posta principalmente sulla scelta di condizioni di lavoro estreme per i microrganismi, quali quelle ipertermofile e ipersaline. Queste condizioni si ritrovano in natura nei fondali marini profondi e nei vulcani, dove i microorganismi riescono a sopravvivere attuando vie metaboliche primordiali e differenti da quelle tipiche degli ambienti naturali temperati, che più facilmente comportano la formazione di idrogeno rispetto agli ambienti naturali temperati.

Tra i batteri che più di altri sono in grado di produrre significative quantità di idrogeno vi sono i *Thermotogales*. Questi batteri attuano un particolare tipo di metabolismo anaerobico in presenza di elevate concentrazioni di CO₂ (fermentazione capnofilica) e temperature fino a 85°C, che produce idrogeno e acido lattico da scarti organici. Nel corso di sperimentazioni precedenti svolte in collaborazione con il CNR, è stata dimostrata la predisposizione di un tipo di questi batteri (*Thermotoga neapolitana*) tipico delle solfatare napoletane, a formare biofilm su substrati conduttivi. Sulla base di questi presupposti, si intende investigare la possibilità di elettrostimolare il metabolismo dei batteri ipertermofili in bioreattori di elettrolisi che operano in pressione.

La ricerca proposta è indirizzata, in particolare, alla messa a punto e alla validazione di materiali multicompositi per gli elettrodi e di geometrie di cella che consentano la realizzazione di un sistema prototipale di bioelettrolisi microbica di idrogeno efficiente e scalabile.

Saranno svolte prove sperimentali a pressione e temperatura controllata, verificando il metabolismo dei ceppi batterici selezionati in sistemi elettrochimici polarizzati tramite corrente continua e alternata.

Saranno studiati, inoltre, i fenomeni di degrado dovuti all'interazione dei microrganismi con gli elettrodi (corrosione microbiologica).

Le attività proposte sono sinergiche, pur essendo indipendenti, a quelle che saranno svolte da ENEA e CNR; periodicamente saranno previsti incontri per condividere i risultati raggiunti ed allineare le azioni successive.

Risultati attesi:

Di seguito si riportano i risultati attesi, in accordo alle milestone previste:

- Sviluppo e validazione di materiali ad alta superficie multicompositi per gli elettrodi anodici e catodici, di basso costo, non tossici per i microorganismi e in grado di minimizzare le variazioni di pH dovute al processo. In particolare, si prevede di realizzare anodi alternativi al BDD (Boron Doped Diamond) che siano similmente incorrodibili e idonei a limitare la discesa del pH a valori inferiori a 3, e catodi ad alta superficie a base carboniosa, che contrastino efficacemente la disattivazione del catodo dovuta a precipitazione di Sali e depositi.
- Realizzazione di un apparato sperimentale per lo studio di una cella di elettrolisi microbica operante a temperatura di 80°C e a pressione di gas (CO₂ e H₂) variabile da 0 a 150 bar. L'apparato sarà dotato di un sistema controllo e monitoraggio di gas, pressione e temperatura.
- Messa a punto e ottimizzazione delle condizioni operative (tipo di polarizzazione, pressione e concentrazione dei nutrienti) di una cella di elettrolisi microbica operante in condizioni ipertermofile
- Realizzazione di un prototipo da laboratorio scalabile di cella di elettrolisi microbica ipertermofila.

- Trasferimento e diffusione del know-how conseguito, con particolare riferimento all'ambito Nazionale.

M1.1.31.1 [M12]	Realizzazione di un apparato sperimentale di elettrolisi microbica idoneo a svolgere le prove a diverse temperature e pressioni
M1.1.31.2 [M18]	selezione dei materiali elettrodici idonei a interagire efficacemente con i microrganismi ipertermofili
M1.1.31.3 [M24]	Realizzazione di un prototipo dimostrativo di sistema di bioelettrolisi microbica operante alle condizioni ottimizzate

Output (max 4000 caratteri):

D.1.1.31.1 [M12]	Rapporto tecnico descrivente i risultati di prove di elettrolisi microbica con microorganismi ipertermofili svolte a pressione atmosferica e con diversi tipi di materiali per gli elettrodi
D.1.1.31.2 [M24]	Rapporto tecnico descrivente componenti dell'apparato sperimentale realizzato e delle prove di elettrolisi microbica ipertermofila svolte a diverse pressioni di H ₂ e CO ₂
D.1.1.31.3 [M36]	Rapporto tecnico riportante la descrizione dei materiali compositi innovativi per anodo e catodo messi a punto per sistemi di elettrolisi microbica ipertermofili e delle prove svolte
D.1.1.31.4 [M42]	Rapporto riportante una road map per lo sviluppo delle tecnologie di elettrometanogenesi nei settori industriali/ambientali individuati"

TRL (inizio-fine): 3 - 5

PROCESSI ASSISTITI DA ENERGIA SOLARE

WP1 – LA 1.1.32

Splitting Termochimico dell'acqua

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 162.736,43

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 50.000,00

Costo LA (escluse spese generali): € 662.736,43

Descrizione attività:

La LA prevede la realizzazione e quindi la caratterizzazione di un prototipo su piccola scala di un reattore per la produzione di idrogeno e ossigeno mediante decomposizione termica dell'acqua ad alta temperatura. In particolare, verranno sviluppati i materiali e le soluzioni tecnologiche necessari al funzionamento continuo ed affidabile di un reattore a membrana operante ad alta temperatura (1800-2000 °C) il cui riscaldamento può potrà avvenire tramite esposizione diretta alla radiazione solare concentrata. Il reattore a membrana è descritto in dettaglio in un brevetto ENEA [S. Tosti, A. Pozio, L. Farina, A. Santucci, "Processo a membrana per la produzione di idrogeno e ossigeno mediante idrolisi dell'acqua e relativo apparato", Domanda di brevetto per invenzione industriale

in Italia n. 102020000023470 depositata il 06.10.2020e in uno studio concettuale pubblicato su rivista internazionale]

Con riferimento allo sviluppo di nuovi materiali i target da perseguire sono l'elevata resistenza ad alte temperature ed alti flussi termici e l'elevata permeabilità e selettività nei confronti di idrogeno e ossigeno, rispettivamente, e quindi una eccellente stabilità nel tempo in grado di qualificarli per applicazioni industriali. Lo sviluppo di questi materiali avanzati sarà anche di interesse per altre applicazioni industriali ad alto contenuto tecnologico quali ad esempio: i) la realizzazione di componenti affacciati al plasma nelle macchine tokamak che studiano la fusione nucleare, ii) le tecnologie aerospaziali, e iii) la realizzazione di celle a combustibile ad alta temperatura.

Il prototipo sarà costituito da un contenitore esterno realizzato in metalli refrattari (ad esempio tungsteno) ed ha lo scopo di ricevere il flusso di radiazione solare concentrata rimanendo allo stesso tempo impermeabile all'idrogeno ed all'ossigeno alle temperature di interesse.

All'interno di questo contenitore è presente una camera in materiale ceramico permeabile all'ossigeno (ad esempio ittria) a sua volta contenente uno o più tubi in Ta utilizzati per estrarre l'idrogeno.

Le principali attività di ricerca riguarderanno:

- lo sviluppo di materiali metallici e ceramici in grado di operare ad alta temperatura in presenza di elevate concentrazioni di idrogeno ed ossigeno e di esibire le caratteristiche di trasporto di materia e di calore necessari a condurre la reazione di decomposizione termica dell'acqua
- lo sviluppo di sistemi di giunzione tra i materiali metalli e ceramici impiegati in grado di operare in presenza di elevati flussi termici e gradienti di temperatura e garantire la tenuta da vuoto
- la progettazione e costruzione di un prototipo di reattore a membrana su scala da laboratorio capace di trattare 1 kg/h di acqua e riscaldato elettricamente in un forno da laboratorio
- la caratterizzazione del reattore a membrana in prove sperimentali finalizzate alla verifica della resa di reazione, purezza di idrogeno e ossigeno prodotti e della stabilità dei materiali utilizzati per un tempo di funzionamento continuo di 30 giorni,
- l'ottimizzazione del processo in termini di condizioni operative ($T=1.800-2.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=0,5-1\text{ bar}$) anche con riferimento alla analisi dei transistori termici verificando il funzionamento discontinuo del reattore volto a simulare la disponibilità variabile della radiazione solare,
- l'analisi tecnico-economica preliminare relativa alla industrializzazione del reattore per applicazioni energetiche di media e grande scala (portate di idrogeno prodotto fino a $100\text{ Nm}^3/\text{h}$)

Nell'ambito dell'attività di ricerca si prevedono due consulenze, all'Università di Roma Tor Vergata ed a RINA-CSM, rispettivamente per la progettazione, costruzione e fornitura del reattore a membrana e per lo sviluppo di materiali metallici e ceramici e relativi sistemi di giunzione, in considerazione delle consolidate competenze ed esperienze sul tema specifico.

Risultati attesi:

I principali risultati del progetto riguardano lo sviluppo di nuovi materiali metallici e ceramici e delle relative tecnologie di giunzione per applicazioni ad alta temperatura ed in presenza di elevate concentrazioni di idrogeno e ossigeno.

Altri importanti risultati sono attesi nel campo della analisi di modello di reattori a membrana avanzati: in particolare, saranno realizzati codici di simulazione termo-fluidodinamica accoppiata al trasporto di materia per lo studio della diffusione dell'idrogeno e dell'ossigeno in presenza di elevati flussi termici.

Nello specifico, sono definiti i seguenti milestones:

M1.1.32.1 [M12] Sviluppo di materiali metallici e ceramici

M1.1.32.2 [M12] Sviluppo dei sistemi di giunzione metallo-ceramica

M1.1.32.3 [M18]	Progettazione di un prototipo di reattore a membrana su scala da laboratorio
M1.1.32.4 [M24]	Costruzione di un prototipo di reattore a membrana su scala da laboratorio
M1.1.32.5 [M36]	Caratterizzazione del reattore a membrana in prove sperimentali ed ottimizzazione del processo
M1.1.32.6 [M42]	Analisi tecnico-economica

Output:

- D1.1.32.1 [M12] Rapporto Tecnico “Stato dell’arte dei materiali metallici e ceramici da utilizzare per la costruzione del prototipo di reattore e le tecniche di giunzione da utilizzare”
- D1.1.32.2 [M24] Rapporto Tecnico “Test e validazione di materiali metallici e ceramici e analisi delle tecniche di giunzione”
- D1.1.32.3 [M24] Progetto concettuale del prototipo di reattore
- D1.1.32.4 [M24] Progetto esecutivo e costruzione del prototipo di reattore,
- D1.1.32.5 [M36] Rapporto Tecnico “Risultati delle prove sperimentali con particolare riferimento al funzionamento discontinuo del reattore”
- D1.1.32.6 [M42] Rapporto Tecnico “Definizione delle condizioni operative ottimali e verifica della stabilità dei materiali e componenti utilizzati alle alte temperature operative”
- D1.1.32.7 [M42] Rapporto Tecnico “Risultati dell’analisi tecnico-economica relativa alle fasi di industrializzazione del reattore per applicazioni energetiche di media e grande scala”

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1- LA 1.1.33

Materiali innovativi redox per la produzione di idrogeno attraverso processi termochimici a due step di water splitting

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Salvatore Sau

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 95.892,05

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 208.840,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 209.840,00

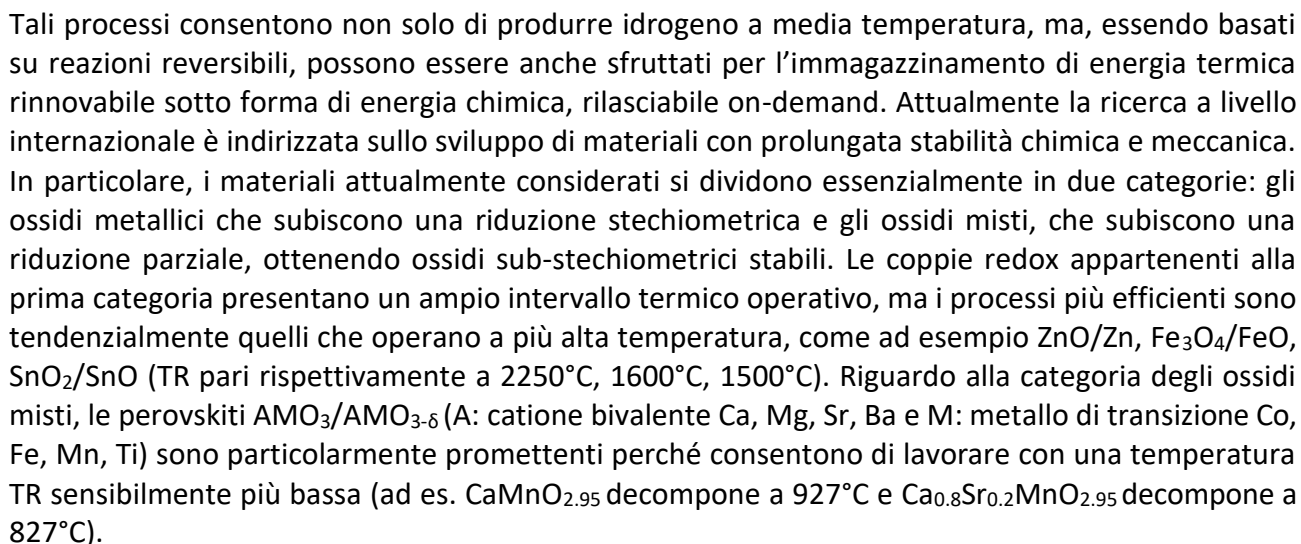
Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 125.396,77

Costo Totale LA (escluse spese generali): € 639.968,82

Descrizione attività:

I processi termochimici di water splitting alimentati da calore rinnovabile ad alta temperatura per la produzione di idrogeno possono essere considerati una soluzione valida e complementare all'elettrolisi dell'acqua, nella prospettiva di un futuro sistema energetico flessibile e resiliente, basato su più fonti e tecnologie di energia rinnovabile. I cicli termochimici consentono di produrre idrogeno a temperature comprese nell'intervallo 800-1.500°C, ben al di sotto di 2.000°C (termolisi diretta dell'acqua) e più facilmente integrabili con la tecnologia solare a concentrazione. In particolare i processi di ossido-riduzione a due step avvengono secondo uno schema reattivo molto semplice, in cui la fase di generazione dell'idrogeno consiste in una reazione di ossidazione (water shift, WS) di un metallo in presenza di vapor d'acqua, solitamente a temperatura inferiore ai 500°C,

Step di riduzione termica (TR, thermal reduction step):



- Screening teorico e sperimentale di ossidi misti sub-stechiometrici, al fine di individuare e sintetizzare, in forma di polvere, sistemi redox con temperatura dello step di riduzione inferiore ai 1.000°C, bassa tossicità e impatto ambientale, scalabilità del processo di sintesi, basso costo e disponibilità dei materiali; definizione e acquisizione della strumentazione per l'analisi dell'ossidazione delle polveri con vapore.
- Verifica della stabilità delle polveri sintetizzate ai cicli di riduzione con inerte e ossidazione con aria (fino a 1.000°C).
- Analisi sperimentale della stabilità delle polveri ai cicli di riduzione e ossidazione mediante vapore, al fine di individuare i sistemi redox più promettenti rispetto a entrambe le reazioni di rilascio di ossigeno e produzione di idrogeno; definizione dei metodi di pellettizzazione e sintesi e caratterizzazione dei pellets dei materiali selezionati.
- Studio delle reazioni di riduzione e ossidazione (produzione di idrogeno) dei pellets su reattore in scala di laboratorio (TRL3), e preliminare valutazione tecnico-economica del processo di water splitting basato sull'uso del sistema redox con le caratteristiche più promettenti.

M1.1.33.1 [M6]	Screening teorico dei materiali REDOX per cicli WSTC a due step. Selezione e sintesi dei sistemi più promettenti come polveri micrometriche
M1.1.33.2 [M12]	Analisi dello step di riduzione delle polveri in termobilancia fino a 1.000°C.

- M1.1.33.3 [M24] Caratterizzazione delle polveri sintetizzate rispetto ai cicli termici, effettuando la reazione di riduzione con gas inerte e la successiva ossidazione con aria (fino a 1.000°C)
- M1.1.33.4 [M30] Definizione della metodologia di caratterizzazione della reazione di ossidazione delle polveri sintetizzate con vapore (fino a 1.000°C).
- M1.1.33.5 [M30] Produzione in forma di pellet dei sistemi redox selezionati.
- M1.1.33.6 [M42] Verifica delle rese di reazione dei sistemi strutturati (pellet) su scala laboratorio

Output:

- D1.1.33.1 [M12] Rapporto Tecnico "Sintesi, caratterizzazione e primo screening sperimentale dei sistemi REDOX più promettenti per l'utilizzo in cicli WSTC a due step"
- D1.1.33.2 [M24] Rapporto Tecnico "Sintesi e analisi termogravimetrica e calorimetrica di sistemi in forma di polvere per cicli WSTC a due step; studio dello step di riduzione con inerte e di ossidazione con aria e stabilità sotto cicli termici"
- D1.1.33.3 [M36] Rapporto Tecnico "Studio di sistemi in forma di polvere per cicli WSTC a due step: stabilità sotto cicli termici e rese delle reazioni di riduzione con inerte e produzione di idrogeno con vapore"
- D1.1.33.4 [M42] Rapporto Tecnico "Verifica su scala di laboratorio delle reazioni di riduzione degli ossidi e produzione di idrogeno utilizzando un reattore caricato con pellet. Valutazione preliminare tecnico-economica di un processo di water splitting a due step selezionato"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP1.1- LA 1.1.34

Sviluppo di materiali non critici e componenti per celle di fotoelettrolisi in configurazione tandem per la conversione diretta di energia solare in idrogeno e sistemi avanzati per splitting catalitico assistito da energia solare e termica

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Alessandro Mordini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 102.343,80

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 169.408,10

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 189.144,60

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 99.103,50

Costo totale LA (escluse spese generali): € 560.000,00

Descrizione attività:

Nell'ambito della LA1.1.34 saranno studiati due tipi di dispositivi: (A) celle fotoelettrochimiche (PEC) in configurazione tandem, contenenti sia elettroliti acquosi che polimerici; (B) sistemi per lo splitting (foto)-termico di H₂O.

Attività (A)

- [M1-12] Al fine di sviluppare PEC tandem "CRM-free" per la produzione di idrogeno saranno realizzati: (i) materiali per il fotoanodo a base di Fe₂O₃ oppure a base di TiO₂ sensibilizzato con coloranti organici (TRL2). (ii) materiali per il fotocatodo, a base di ossidi semiconduttori di tipo p contenenti rame (Cu₂O, CuO₂), o rame-ferro (CuFeO₂,

CuFe_2O_4) (TRL2). Saranno anche sviluppati co-catalizzatori, a basso costo, che possano promuovere l'evoluzione di ossigeno e idrogeno (TRL2)

[M13-24] I coloranti prodotti saranno accoppiati con catalizzatori capaci di mediare l'ossidazione di H_2O o alcoli. I composti migliori saranno usati per produrre i fotoanodi (TRL 3). I materiali anodici e catodici saranno depositati su un substrato vetroso conduttivo a base di ossido di stagno drogato con fluoro (FTO/vetro), ottimizzando le procedure di deposizione per ottenere film omogenei e trasparenti. (TRL2). Nel caso del semiconduttore catodico, essendo a banda stretta, quindi intrinsecamente meno stabile, gli strati superficiali saranno modificati attraverso metodi di trasformazione di fase. Un substrato di supporto idrofobico poroso e conduttivo sarà usato, al lato catodico, per facilitare la produzione diretta di idrogeno ad elevata purezza

[M25-36] Il miglior colorante sarà prodotto in quantità sufficiente alla costruzione delle DS-PEC (TRL4). Le proprietà dei fotocatodi saranno migliorate per mezzo di: i) deposizione ink-jet di nano-strutture; ii) produzione di fotocatodi compositi; iii) uso di co-catalizzatori. Le DS-PEC per la produzione di idrogeno saranno assemblate usando i migliori materiali sviluppati (TRL3)

Per le PEC allo stato solido, saranno introdotte membrane elettrolitiche polimeriche. Per assicurare un buon contatto tra l'elettrodo e l'elettrolita saranno preparate dispersioni ionomeriche. Tutti i materiali e componenti sviluppati saranno testati in configurazione di cella tandem completa.

[M37-42] I fotocatodi ed i fotoanodi saranno impiegati in PEC tandem per la produzione di idrogeno in diverse condizioni, conducendo le reazioni in batch. Le prestazioni saranno valutate in termini di fotocorrente e di efficienza fotoelettrochimica a potenziali specifici, nonché di efficienza faradica per confronto con la quantità di idrogeno effettivamente ottenuta. Sarà anche valutata la purezza del gas prodotto (TRL4)

Attività (B)

[M1-12] Verranno preparati materiali avanzati a base di perovskiti, nonché di WO_3 e dicalcogenidi di W bidimensionali, dotati di elevate i) proprietà redox, ii) cinetiche redox, iii) ciclabilità (TRL2). I materiali perovskitici verranno testati in reattori a letto fisso in condizioni cicliche, utilizzando inerti o riducenti per lo step di riduzione e vapor d'acqua in quello di ossidazione

[M13-24] I materiali saranno caratterizzati per identificare correlazioni tra caratteristiche chimico-fisiche e prestazioni. I migliori materiali saranno testati in reattori a letto fluidizzato irradiati con radiazione solare concentrata simulata e caratterizzati nei confronti della fluidizzazione. I materiali dovranno assorbire la radiazione solare concentrata senza modificare la capacità di fluire (TRL2)

[M25-36] I materiali a base di WO_3 e dicalcogenidi di W bidimensionali saranno testati nello splitting fototermico (TRL2). Ottimizzazione dei materiali in base alle indicazioni ricavate dalle prove in letto fluidizzato. Il "directly irradiated fluidized bed autothermal reactor" (DIFBAR), progettato e realizzato per l'accumulo termochimico in solidi granulari, sarà adeguato alla produzione in continuo di idrogeno via water (assisted) splitting (TRL3)

[M37-42] Si valuteranno le prestazioni dei migliori materiali in termini di produzione oraria di idrogeno (e syngas nell'"assisted splitting") e di efficienza solar-to- H_2 (TRL4).

Risultati attesi:

- M1.1.34.1 [M6] Progettazione di nuove strutture di coloranti organici, da usare come sensibilizzatori al fotoanodo
- M1.1.34.2 [M6] Preparazione di materiali con proprietà redox adatte per essere impiegati in processi di water splitting
- M1.1.34.3 [M12] Efficienza di fotoelettrolisi $\geq 10\%$
- M1.1.34.4 [M12] Preparazione dei nuovi coloranti organici in quantità sufficiente per la caratterizzazione (ca. 50-100 mg)
- M1.1.34.5 [M12] Preparazione e caratterizzazione di semiconduttori di tipo p a base di Cu e Fe da usare per la realizzazione di fotocatodi
- M1.1.34.6 [M12] Preparazione di materiali a base di WO₃, WS₂, WSe₂ ed altri dicalcogenidi bidimensionali
- M1.1.34.7 [M12] Preparazione di materiali con proprietà redox adatte per essere impiegati in processi di water splitting e con proprietà fisiche idonee all'impiego in reattori a letto fluidizzato
- M1.1.34.8 [M15] Completa caratterizzazione dei sensibilizzatori ed identificazione di appropriate coppie colorante/catalizzatore
- M1.1.34.9 [M15] Determinazione delle prestazioni dei materiali per WS in condizioni controllate in letto fisso per valutarne comparativamente la produttività di idrogeno, le temperature di esercizio, la ciclabilità
- M1.1.34.10 [M18] Identificazione delle proprietà chimico-fisiche dei materiali per WS che influenzano la produttività di idrogeno, la cinetica di riduzione/ossidazione, la ciclabilità
- M1.1.34.11 [M20] Produzione di fotocatodi attraverso diversi processi chimici e caratterizzazione morfologica e funzionale
- M1.1.34.12 [M21] Identificazione delle condizioni operative ottimali del WS per la produzione di idrogeno e syngas (solo in "assisted splitting")
- M1.1.34.13 [M24] Efficienza di fotoelettrolisi, $\geq 15\%$
- M1.1.34.14 [M24] Completa caratterizzazione dei dicalcogenidi bidimensionali depositati su opportuni substrati
- M1.1.34.15 [M24] Verifica della ciclabilità e delle prestazioni reattoristiche dei materiali per WS in reattori a letto fluidizzato anche irradiati direttamente mediante simulatore di radiazione solare concentrata
- M1.1.34.16 [M30] Scale-up (ca. 100-500 mg) della preparazione del colorante più promettente per permettere la fabbricazione di DS-PEC
- M1.1.34.17 [M30] Ottimizzazione dei materiali redox per WS sulla base dell'interazione con radiazione solare concentrata
- M1.1.34.18 [M33] Ottimizzazione della fabbricazione dei fotocatodi tramite tecniche avanzate di deposizione e misura dell'efficienza fotocatalitica in confronto agli elettrodi standard
- M1.1.34.19 [M36] Efficienza di fotoelettrolisi $\geq 15\%$ con purezza dell'idrogeno prodotto $\geq 99.9\%$.
- M1.1.34.20 [M36] Procedura di assemblaggio della DS-PEC con gli elettrodi prodotti in precedenza
- M1.1.34.21 [M36] Adeguamento, ottimizzazione e messa in esercizio del DIFBAR per la produzione di idrogeno: caratterizzazione fluidodinamica e termica
- M1.1.34.22 [M36] Completa caratterizzazione funzionale dei dicalcogenidi bidimensionali depositati su opportuni substrati
- M1.1.34.23 [M42] Fabbricazione di DS-PEC su scala di laboratorio (ca. 1 cm²) e misura delle proprietà fotoelettrochimiche e della produzione di idrogeno

- M1.1.34.24 [M42] Correlazione delle proprietà strutturate dei materiali testati con le rispettive proprietà funzionali verso la reazione di produzione di idrogeno
- M1.1.34.25 [M42] Efficienza di fotoelettrolisi $\geq 15\%$ e con purezza di idrogeno prodotto $\geq 99.99\%$
- M.1.1.34.26 [M42] Prestazioni reattoristiche del DIFBAR per la produzione di idrogeno e syngas (solo in assisted splitting) attraverso water splitting assistito da energia solare e termica in assenza o in presenza di un agente riducente

Output:

- D1.1.34.1 [M6] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la preparazione dei materiali per la produzione di idrogeno attraverso water splitting
- D1.1.34.2 [M9] Rapporto tecnico contenente le strutture dei nuovi sensibilizzatori derivanti dall'attività di progettazione molecolare oltre che dei nuovi materiali inorganici
- D1.1.34.3 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte su semiconduttori e co-catalizzatori per celle fotoelettrochimiche tandem
- D.1.1.34.4 [M12] Rapporto tecnico sulle proprietà strutturali, morfologiche, ottiche di semiconduttori di tipo p per applicazioni in fotocatodi
- D1.1.34.5 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la preparazione dei materiali per la produzione di idrogeno attraverso water splitting e per la loro caratterizzazione fisica per impiego in reattori a letto fluidizzato
- D1.1.34.6 [M15] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione funzionale dei materiali per WS in microreattori a letto fisso
- D1.1.34.7 [M15] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione chimico-fisica dei materiali per WS in microreattori a letto fisso
- D1.1.34.8 [M18] Rapporto tecnico contenente le strutture dei nuovi coloranti, le loro procedure sintetiche dettagliate e la loro caratterizzazione, sia in soluzione che adsorbiti su film di TiO_2 . Inoltre, descrizione di possibili catalizzatori organici/organometallici, già riportati in letteratura per l'ossidazione di H_2O o alcoli, da accoppiare ai nuovi coloranti
- D1.1.34.9 [M21] Rapporto tecnico sulle proprietà microstrutturali, ottiche, e fotoelettrochimiche dei film sviluppati con le diverse tecniche e dei materiali inorganici per applicazioni fotocatalitiche, e produzione di almeno 3 fotocatodi da utilizzare nella produzione di idrogeno tramite cella PEC
- D1.1.34.10 [M21] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'identificazione delle condizioni operative ottimali per WS in microreattori a letto fisso
- D1.1.34.11 [M24] Rapporto Tecnico delle attività svolte su materiali protettivi e supporti idrofobici per celle fotoelettrochimiche tandem
- D1.1.34.12 [M24] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione funzionale dei materiali per WS in reattori a letto fluidizzato
- D1.1.34.13 [M30] Rapporto tecnico contenente la descrizione del processo di scale-up della sintesi del colorante più promettente e del catalizzatore ad esso accoppiato
- D1.1.34.14 [M30] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'ottimizzazione dei materiali redox per water splitting sulla base dell'interazione con radiazione solare concentrata.
- D1.1.34.15 [M33] Rapporto tecnico sulle proprietà microstrutturali, ottiche e fotoelettrochimiche dei foto-catodi ad incrementata efficienza e produzione di almeno 3 foto-catodi ad incrementata efficienza
- D1.1.34.16 [M33] Almeno due materiali inorganici depositati su substrati per applicazioni fotocatalitiche e termiche

- D1.1.34.17 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte su membrane elettrolitiche polimeriche e ionomero per celle fotoelettrochimiche tandem
- D1.1.34.18 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'adeguamento, ottimizzazione e messa in esercizio del DIFBAR per la produzione di idrogeno
- D1.1.34.19 [M42] Produzione di almeno 1 prototipo di cella DS-PEC (area ca. 1 cm²) in configurazione tandem e relazione sulle sue prestazioni in termini di produzione di idrogeno, efficienza faradica e STH
- D1.1.34.20 [M42] Rapporto tecnico sulla caratterizzazione e determinazione delle prestazioni dei sistemi fototermici e fotoelettrochimici realizzati con i nuovi materiali inorganici
- D1.1.34.21 [M42] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione elettrochimica di celle fotoelettrochimiche tandem
- D1.1.34.22 [M42] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'esercizio del DIFBAR nelle condizioni di interesse applicativo per la produzione di idrogeno

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1- LA 1.1.35

Produzione di idrogeno tramite processi di fotocatalisi fotoelettrocatalisi

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Roberto Comparelli

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 220.210,60

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 288.313,60

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 263.885,80

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 75.590,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 848.000,00

Descrizione attività:

Anno 1 (TRL2)

- Progettazione e sintesi di semiconduttori (ossidi metallici) fotoattivi nell'UV e nel VIS (previa modifica con metalli nobili o opportuni semiconduttori) in forma di polveri, colloidali (sintesi da soluzione) e in film sottili (deposizione da fase vapore, MOCVD - Metalorganic Chemical Vapour Deposition).
- Progettazione e sintesi di nuovi sensibilizzatori organici che assorbono nel VIS di tipo D- π -A e D-A- π -A, contenenti cromofori eterociclici.
- Preparazione di membrane fotocatalitiche con catalizzatori commerciali (benchmark).
- Caratterizzazione chimica, strutturale/microstrutturale, morfologica, fotofisica, elettrochimica dei materiali e delle molecole preparate.
- Studio computazionale delle proprietà strutturali, elettroniche ed ottiche dei materiali a supporto dei processi di sintesi.

Anno 2 (TRL2)

- Estensione della fotoattività dei catalizzatori al VIS-NIR tramite introduzione di Cu₂-xS o rGO.
- Sintesi di catalizzatori core-shell a base di CuO (CuFexOy o CuCrO₂)
- Preparazione e caratterizzazione di membrane fotocatalitiche mediante immobilizzazione dei fotocatalizzatori preparati all'interno di matrici polimeriche.

- Preparazione dei fotoelettrodi: i film sottili MOCVD saranno utilizzati come tali; polveri e colloidali saranno depositati su substrati conduttori trasparenti tramite dip-/spray-coating, doctor blading, elettrodeposizione. I coloranti organici saranno ancorati su film semiconduttori attraverso staining da soluzione.
- Studio degli effetti di illuminazione sulla superficie e sulla struttura delle membrane fotocatalitiche e dei fotoelettrodi (XPS, XRD/PDF, XAS e microscopia a scansione SAXS/WAXS).
- Caratterizzazione fotoelettrochimica di fotoelettrodi in celle a tre elettrodi per determinare l'efficienza quantica di fotoconversione in elettroni (IPCE), in luce monocromatica con e senza polarizzazione e curve corrente-tensione in condizioni solari simulate (AM1.5G).
- Calcoli DFT e di dinamica molecolare ab-initio per lo studio delle interfacce nei sistemi membrana-fotocatalizzatore e semiconduttore-sensibilizzatore e per l'investigazione del meccanismo catalitico.

Anno 3 (TRL 2-3)

- Sintesi e caratterizzazione di perovskiti ibride organiche-inorganiche prive di piombo e stabili in ambiente acquoso.
- Modeling molecolare basato su dati sperimentali XRD/PDF sia per la progettazione dei materiali che per l'interpretazione delle capacità catalitiche e della stabilità dei nuovi materiali realizzati.
- Modifica degli elettrodi a base CuO con catalizzatori per elettroliti acidi, neutri o basici (Pt, Pd, catalizzatori non critici a base di Ni, NiCu, Fe)
- Sintesi di semiconduttori a base di ferro ossido (Fe_2O_3 , ZnFe_2O_4 , MgFe_2O_4 , BiFeO_3) per fotoanodi.
- Validazione delle membrane fotocatalitiche più interessanti all'interno di reattori operanti in continuo.
- Scelta dei componenti e delle configurazioni di cella più adatte per l'assemblaggio dei dispositivi PEC.
- Studio e ottimizzazione delle prestazioni fotoelettrochimiche dei dispositivi nelle diverse condizioni di lavoro e determinazione dell'efficienza di produzione di idrogeno molecolare.
- Misure XRD/PDF operando dei fotoelettrodi all'interno di dispositivi per valutare variazioni della struttura/microstruttura.

Anno 4 (TRL 3-4)

- Dimostrazione della scalabilità della sintesi dei materiali e dei sensibilizzatori organici dotati delle migliori proprietà fotofisiche ed elettrochimiche.
- Messa a punto di un prototipo di cella tandem costituita da un fotoanodo di tipo n, a base di ferro ossido (Fe_2O_3 , ZnFe_2O_4 , MgFe_2O_4 , BiFeO_3) e il fotocatodo ottimizzato di tipo p a base di CuO.
- Sviluppo e validazione di un sistema su scala di laboratorio di reattore fotocatalitico a membrana operante in continuo.
- Sviluppo di modelli statistici per caratterizzare il funzionamento di celle PEC con lo scopo di ottimizzarne le prestazioni.
- Dimostratori PEC su scala di laboratorio operanti in regime di water splitting o di ossidazione di substrati organici. Analisi dell'efficienza e della stabilità di produzione di idrogeno e delle criticità.

Risultati attesi:

M1.1.35.1 [M3]	Ricognizione sullo stato dell'arte
M1.1.35.2 [M6]	Messa a punto di metodi di sintesi da soluzione e da fase vapore di TiO_2 e/o SnO_2
M1.1.35.3 [M6]	Messa a punto del setup teorico computazionale per descrivere le proprietà dei materiali proposti
M1.1.35.4 [M9]	Progettazione dei nuovi coloranti, eventualmente supportata da analisi computazionale

M1.1.35.5 [M12]	Modifica di TiO_2 e/o SnO_2 con nanoparticelle di metalli nobili (es. Ag, Pt) o semiconduttori fotoattivi nel VIS (es. Fe_2O_3 , WO_3 , Cu_2O)
M1.1.35.6 [M12]	Sintesi dei nuovi sensibilizzatori organici
M1.1.35.7 [M12]	Effetto del substrato (tipo FTO) su struttura e tessitura (orientazione cristallografica) dei grani dei film sottili depositati per MOCVD
M1.1.35.8 [M12]	Membrane fotocatalitiche ottenute immobilizzando fotocatalizzatori commerciali all'interno di matrici polimeriche
M1.1.35.9 [M15]	Caratterizzazione dei nuovi sensibilizzatori organici
M1.1.35.10 [M18]	Deposizione dei semiconduttori in forma di polveri e colloidali su substrati conduttori trasparenti
M1.1.35.11 [M18]	Modifica di TiO_2 e/o SnO_2 con materiali fotoattivi nel VIS-NIR (es. $\text{Cu}_2\text{-xS}$, rGO)
M1.1.35.12 [M21]	Funzionalizzazione dei semiconduttori con sensibilizzatori organici
M1.1.35.13 [M21]	Comprensione dei processi di separazione e ricombinazione di carica dei semiconduttori proposti
M1.1.35.14 [M24]	Membrane fotocatalitiche integranti i catalizzatori sintetizzati
M1.1.35.15 [M24]	Caratterizzazione strutturale dei meccanismi molecolari di fotocatalisi o fotoelettrocatalisi
M1.1.35.16 [M24]	Fotocorrenti fino a -10 mA cm^{-2} a un potenziale di 0 V rispetto all'elettrodo a idrogeno reversibile (RHE)
M1.1.35.17 [M24]	Studio ab-initio dei processi ottici e di trasferimento di carica alle interfacce funzionalizzate
M1.1.35.18 [M27]	Degradazione del fotocatodo minore del 10% durante la reazione di riduzione dell'acqua
M1.1.35.19 [M30]	Studio teorico delle interfacce perovskite/acqua per verificare la capacità catalitica, il possibile meccanismo di reazione e la stabilità del materiale
M1.1.35.20 [M33]	Sintesi di perovskiti ibride organiche-inorganiche prive di piombo fotoattive nel visibile
M1.1.35.21 [M33]	Preparazione del sensibilizzatore più performante negli studi di funzionalizzazione dei semiconduttori in quantità sufficiente per lo svolgimento dei test in DS-PEC
M1.1.35.22 [M36]	Razionalizzazione teorica delle proprietà ottiche e catalitiche e della stabilità chimica delle perovskiti preparate
M1.1.35.23 [M36]	Caratterizzazione della dinamica strutturale del materiale catalitico connessa al funzionamento di una cella fotoelettrochimica
M1.1.35.24 [M36]	Documentazione delle prestazioni dei diversi fotoelettrodi integrati in dispositivi PEC secondo le varie configurazioni possibili; efficienza faradica >95%
M1.1.35.25 [M36]	Membrane fotocatalitiche in grado di lavorare all'interno di reattori operanti in continuo
M1.1.35.26 [M39]	Dimostrazione della scalabilità delle sintesi dei catalizzatori più interessanti
M1.1.35.27 [M42]	Sviluppo di nuove procedure più eco-sostenibili ed energeticamente efficienti per la sintesi dei coloranti (solventi biocompatibili, procedure di C-H attivazione)
M1.1.35.28 [M42]	Razionalizzazione dei meccanismi di assorbimento e attivazione dell'acqua nei dispositivi fotocatalitici e fotoelettrochimici
M1.1.35.29 [M42]	Sistema a membrana fotocatalitica che evidenzia le potenzialità e i limiti del dispositivo operante in continuo per produrre idrogeno da energia solare
M1.1.35.30 [M42]	Modello statistico per descrivere il funzionamento del reattore fotocatalitico

- M1.1.35.31 [M42] Dimostratori di varie tipologie che mettano in risalto le potenzialità e i limiti di applicazione dei dispositivi PEC proposti per produrre idrogeno da energia solare in modo economicamente sostenibile
- M1.1.35.32 [M42] Incremento di efficienza e stabilità in cella tandem rispetto allo stato dell'arte

Output:

- D1.1.35.1 [M12] Rapporto tecnico sulle procedure di sintesi e caratterizzazione (chimica, morfologica, strutturale, foto-fisica ed elettrochimica) dei primi fotocatalizzatori in forma di polveri, colloidali e in film sottili attivi nell'UV-VIS
- D1.1.35.2 [M12] Struttura cristallina di almeno due fotocatalizzatori determinata a risoluzione atomica, validata e depositata in database strutturali
- D1.1.35.3 [M12] Rapporto tecnico sulle procedure di preparazione di membrane fotocatalitiche
- D1.1.35.4 [M12] Rapporto tecnico sui dati delle simulazioni teoriche delle proprietà strutturali, elettroniche ed ottiche
- D1.1.35.5 [M18] Rapporto tecnico sulle procedure sintetiche dei nuovi sensibilizzatori organici e sulla caratterizzazione delle loro proprietà strutturali, spettroscopiche ed elettrochimiche
- D1.1.35.6 [M24] Rapporto tecnico sulla sintesi e caratterizzazione chimica, strutturale, morfologica e fotofisica di fotocatalizzatori attivi nel VIS-NIR
- D1.1.35.7 [M24] Rapporto tecnico sullo sviluppo di semiconduttori "core-shell" a base di CuO
- D1.1.35.8 [M24] Rapporto tecnico sulle procedure di integrazione dei fotocatalizzatori all'interno delle membrane polimeriche e loro caratterizzazione chimica, strutturale e fotofisica
- D1.1.35.9 [M24] Rapporto tecnico sulle procedure migliori per la deposizione dei semiconduttori in forma di polveri e colloidali su substrati conduttori trasparenti per ottenere fotoelettrodi stabili e riproducibili
- D1.1.35.10 [M24] Rapporto tecnico sulla procedura per assorbire la quantità ottimale di colorante sul semiconduttore e valutazione dell'adesione e della fotostabilità
- D1.1.35.11 [M24] Rapporto tecnico sull'analisi della dinamica strutturale dei fotocatalizzatori e dei fotoelettrodi
- D1.1.35.12 [M24] Rapporto tecnico sulle misure fotoelettrochimiche eseguite su elettrodi preparati e loro classificazione di impiego nei dispositivi PEC più idonei
- D1.1.35.13 [M24] Rapporto tecnico sullo studio teorico dei processi chimici, ottici e di separazione di carica che intervengono alle interfacce fotosensibilizzate
- D1.1.35.14 [M30] Rapporto tecnico sullo sviluppo di procedure di preparazione e deposizione per semiconduttori e catalizzatori per elettroliti acidi, neutri o basici
- D1.1.35.15 [M30] Rapporto tecnico sulla dinamica strutturale dei fotoelettrodi in condizioni operative
- D1.1.35.16 [M36] Rapporto tecnico sulle procedure di sintesi e caratterizzazione di 1-2 perovskiti ibride organiche-inorganiche prive di piombo
- D1.1.35.17 [M36] Struttura cristallina di almeno due perovskiti determinata a risoluzione atomica, validata e depositata in database strutturali
- D1.1.35.18 [M36] Rapporto tecnico sulla razionalizzazione teorica delle proprietà ottiche e catalitiche e della stabilità chimica delle perovskiti preparate
- D1.1.35.19 [M36] Rapporto tecnico sulle prestazioni in sviluppo di idrogeno di dispositivi PEC finiti ottenuti accoppiando fotoelettrodi tra loro in celle tandem o singoli fotoelettrodi a sorgenti di bias di tensione PV o DSSC

- D1.1.35.20 [M42] Rapporto tecnico sulla dimostrazione della scalabilità delle sintesi dei catalizzatori più interessanti
- D1.1.35.21 [M42] Rapporto tecnico sulla razionalizzazione dei meccanismi di assorbimento e attivazione dell'acqua nei dispositivi fotocatalitici e fotoelettrochimici
- D1.1.35.22 [M42] Rapporto tecnico sull'analisi delle prestazioni di un reattore fotocatalitico a membrana per la produzione di idrogeno
- D1.1.35.23 [M42] Modello statistico in grado di descrivere il funzionamento del reattore fotocatalitico al variare delle sue condizioni operative
- D1.1.35.24 [M42] Rapporto tecnico su dimostratori PEC, ottimizzati su scala di laboratorio, scelti tra le possibili configurazioni di cella in base a efficienza e stabilità della produzione di idrogeno e in conformità a criteri di green economy
- D1.1.35.25 [M42] Rapporto tecnico sulla validazione di fotocatalizzatore e cella tandem

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.1 – LA1.1.36

Sviluppo di materiali e nanomateriali per idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Nicola Lisi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 256.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 216.218,28

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 165.020,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 149.680,08

Costo Totale LA (escluse spese generali): € 786.918,36

Descrizione attività:

L'attività ha come obiettivo principale lo sviluppo di materiali per processi, sistemi e tecnologie per applicazioni dell'idrogeno: tecniche di processo, fabbricazione allo stato dell'arte e oltre. Tale LA fungerà da supporto e da volano anche alle altre linee di attività del progetto mettendo a comune aree di lavoro, strumentazioni e competenze e favorendo l'interazione tra ricercatori che operano sulle diverse linee. La messa a comune di strumenti ed attività è necessaria dato il costo capitale di alcune delle attrezzature e la loro specializzazione che richiedono personale dedicato. Questa linea di attività favorisce la predisposizione di un intervento strutturato nel campo della sintesi e della caratterizzazione di materiali per applicazioni nel campo della generazione dell'idrogeno. In particolare, lo sviluppo di catalizzatori nanostrutturati, supporti, elettrodi, barriere e membrane utilizzando metodi allo stato dell'arte e oltre, anche con l'ausilio di plasmi. Infrastruttura e sistemi per la sintesi di materiali. Utilizzo di processi basati sull'applicazione di plasmi.

L'attività sarà strutturata come di seguito indicato:

- Acquisizione ed operazione di un sistema di tipo plasma-spray commerciale, di scala laboratorio-industriale, per la sintesi di nano-polveri e per il coating di superfici e di elettrodi (Riferimento attività LA1.1.2 elettrolisi a bassa temperatura).
- Sistema sperimentale per la calcinazione in ossigeno e la riduzione in idrogeno basato sull'applicazione di plasmi e di effetti termici (fino a 1.000°C) per la preparativa di catalizzatori nanostrutturati (riferimento attività LA1.1.2 elettrolisi a bassa temperatura).

- Sistema per la deposizione di carbone e nano-carbone (con tecniche di tipo Plasma CVD e PVD) elettro-conduttivi per la protezione dalla corrosione di superfici metalliche in acciaio inox, alluminio, titanio e loro leghe (riferimento attività 3.1.2)

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione dell'Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, per attività mirate alla sintesi di grafene come materiale per elettrodi PGM-free, in considerazione delle consolidate e riconosciute competenze ed esperienze sul tema specifico. L'obiettivo è di mettere a confronto materiali prodotti con approcci e tecniche diverse.

Risultati attesi:

Dalla linea di attività ci si attendono risultati, in termini di progettazione, allestimento, installazione e funzionamento dei sistemi per la sintesi, la deposizione ed il processo di materiali, e componenti, con una operatività dei sistemi alla fine del secondo anno. Le ricadute di quanto condotto nella presente LA avranno evidenza nelle linee di attività di riferimento, che costituiscono la "domanda" delle attività di sintesi e caratterizzazione.

Di seguito si riportano le principali milestone:

- M1.1.36.1 [M12] Piena operatività del sistema e produzione di catalizzatori in forma di nano-polveri ed elettrodi nanostrutturati. Produzione in quantità idonea all'applicazione in elettrolizzatori di classe MW (Riferimento attività LA1.1.2 elettrolisi a bassa temperatura)
- M1.1.36.2 [M18] Produzione di componenti (i.e. elettrodi) da utilizzare a supporto nelle varie attività
- M1.1.36.3 [M18] Produzione di piatti metallici dotati di ricoperture (coating) protettive ed elettro-conduttive in carbonio (anche di tipo grafítico, grafene e nanostrutturato), con controllo dell'area superficiale e delle proprietà di protezione dalla corrosione in diversi tipi di ambiente. Si applicheranno le tecniche a piatti di Acciaio, Titanio e leghe di Alluminio (Riferimento attività LA3.1.2 celle a combustibile a bassa temperatura)
- M1.1.36.4 [M24] Produzione, pulizia ed attivazione di catalizzatori in forma di polveri ed elettrodi. Il trattamento al plasma permetterà di disaccoppiare gli effetti chimici dei processi di calcinazione e riduzione da quelli termici e strutturali, quindi limitando fenomeni di "sintering" ed i cambiamenti di fase. Permetterà quindi di ottenere catalizzatori nanostrutturati con maggiore attività catalitica. (Riferimento attività LA1.1.2 elettrolisi a bassa temperatura).

Output:

- D1.1.36.1 [M12] Rapporto tecnico di installazione del sistema di produzione di nano-polveri plasma spray
- D1.1.36.2 [M12] Disegno e progettazione del sistema per trattamenti termici con attivazione da plasma
- D1.1.36.3 [M12] Disegno e progettazione del sistema per la deposizione del carbonio e nano-carbonio su piatti metallici
- D1.1.36.4 [M18] Rapporto tecnico di allestimento officina microlavorazioni (componenti ed elettrodi)
- D1.1.36.5 [M24] Disponibilità sistema per trattamenti termici con attivazione da plasma
- D1.1.36.6 [M24] Disponibilità sistema per deposizione carbonio e nano-carbonio su piatti metallici

D1.1.36.7 [M42] Rapporto Tecnico “Descrizione della facility realizzata e della operatività relativamente alla produzione di materiali nel contesto del progetto ricerca e sviluppo di tecnologie per la filiera dell'idrogeno”

TRL (inizio-fine): 3-4

WP1.1 – LA1.1.37

Caratterizzazioni funzionali e strutturali di materiali per idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Nicola Lisi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 218.040,28

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 220.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 185.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 151.500,00

Costo Totale LA (escluse spese generali): € 774.540,28

Descrizione attività:

L'attività si pone l'obiettivo generale di sviluppare e acquisire tecniche e metodi di caratterizzazione allo stato dell'arte per i materiali afferenti ai sistemi ed alle tecnologie per l'idrogeno. Tale LA fungerà da supporto e volano anche alle altre linee di attività del progetto mettendo a comune aree di lavoro, strumentazioni e competenze e favorendo l'interazione tra ricercatori che operano sulle diverse linee. La messa a comune di strumenti ed attività è necessaria dato il costo capitale di alcune delle attrezzature e la loro specializzazione che richiedono personale dedicato. Questa linea di attività favorisce la predisposizione di un intervento strutturato nel campo della caratterizzazione di materiali per applicazioni nel campo della generazione dell'idrogeno. In particolare, per lo sviluppo di catalizzatori nanostrutturati, supporti, elettrodi, barriere e membrane è necessario utilizzare metodi allo stato dell'arte per le caratterizzazioni funzionali e strutturali adeguando le strumentazioni disponibili nel C.R. ENEA Casaccia per le esigenze specifiche del PNRR.

L'attività sarà strutturata come di seguito indicato:

- Acquisizione di un nuovo sistema di spettroscopia Elettronica ESCA-XPS (XPS-UPS con dual high energy X-Ray source Al e Ag, accessori vari). La spettroscopia fotoelettronica XPS permette di caratterizzare la composizione e lo stato chimiche delle superfici, ed è uno strumento necessario per lo studio dei processi di catalisi ed elettrocatalisi. Gli strumenti più recenti permettono di eseguire mappe spaziali della composizione delle superfici, oltre ad automatizzare i processi di misura
- Up-grade sistema per la spettroscopia ottica Microraman-Imaging (Multifrequenza 3 laser, tavola movimentazione per mapping spaziale 100cm², possibilità di integrazione con AFM). La spettroscopia Raman permette di valutare e quantificare la presenza di fasi cristalline di una larga classe di materiali, oltre che di fasi molecolari e amorfe, la possibilità di effettuare scansioni su larghe superfici (linee e mappe) in modo veloce, anche in condizioni reali di utilizzo dei materiali (celle ambientali). A oggi è una delle tecniche più importanti ed utilizzate, sia in fase di ricerca che per controllo qualità
- Up-grade diffrattometria X: accessori angolo radente ed alta temperatura

Risultati attesi:

Dalla linea di attività ci si attendono risultati, in termini di progettazione, allestimento, installazione e funzionamento delle infrastrutture e delle strumentazioni con una piena operatività degli strumenti alla fine del progetto. Le ricadute di quanto condotto nella presente LA avranno evidenza nelle linee di attività di riferimento che costituiscono la “domanda” delle attività di sintesi e caratterizzazione.

Di seguito si riportano le principali milestone:

- M1.1.37.1 [M18] Caratterizzazione dei materiali e dei componenti prodotti. Caratterizzazione dei catalizzatori in termini di stato di ossidazione di tutti gli elementi presenti in tutte le fasi dei processi di sintesi e fabbricazione. Mappe funzionali di dispersione dei catalizzatori sugli elettrodi prima e dopo l'utilizzo. Studio dei meccanismi di disattivazione
- M1.1.37.2 [M18] Caratterizzazioni strutturali-funzionali dei materiali e dei componenti prodotti, comprese mappe con alta risoluzione (ottica). Integrazione con indagini XRD-XPS-SEM-EDX ed applicazione della tecnica micro-Raman in celle ambientali in condizioni di utilizzo
- M1.1.37.3 [M18] Spettri di diffrazione X ad angolo radente per lo studio di strati sottili e ad alta temperatura per la valutazione dei fenomeni di modifica strutturale e funzionale nei processi di sintesi e durante l'utilizzo.

Output:

- D1.1.37.1 [M12] Rapporto di installazione del sistema di spettroscopia delle superficie XPS-ESCA
- D1.1.37.2 [M12] Rapporto di installazione del sistema di spettroscopia ottica Micro Raman
- D1.1.37.3 [M12] Rapporto di installazione degli accessori per XRD
- D1.1.37.4 [M24] Rapporti Tecnico “Descrizione dei metodi e delle tecniche di caratterizzazione disponibili”
- D1.1.37.5 [M42] Rapporto Tecnico sulle caratterizzazioni funzionali e strutturali dei materiali selezionati

TRL (inizio-fine): 3-4

**WP1.2 – Ricerca, sviluppo e modellazione di tecnologie, componenti e sistemi
di nuova generazione per applicazioni specifiche: feedstock per l'industria, trasporti,
calore ed energia**

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

L'idrogeno, come ampiamente detto, può intervenire nella decarbonizzazione dei diversi settori: energetico, industriale, trasporti e residenziale, grazie ad una filiera tecnologica complessa e articolata che va dalla produzione, al trasporto e distribuzione, fino agli usi finali, in ognuno dei settori indicati. Proprio grazie alle sue caratteristiche, l'idrogeno verde può contribuire a processi industriali più sostenibili e puliti, alla realizzazione di una mobilità a zero emissioni (che include mezzi su gomma, su rotaia, navali e aerei), alla riduzione delle emissioni generate dal riscaldamento domestico, a garantire la sicurezza e la flessibilità del sistema energetico grazie alla sua capacità di fungere da elemento di congiunzione tra il settore del gas e quello elettrico (sector coupling). Ne consegue che la filiera tecnologica e le possibili applicazioni sono talmente numerose e differenziate, da richiedere attività di ricerca e sviluppo specificamente indirizzate in funzione dell'ambito di interesse.

WP1.2 – LA1.2.1

***Ricerca e sviluppo di soluzioni innovative atte a incrementare la stabilità/durata delle
membrane nei processi di conversione dei combustibili/biocombustibili in idrogeno***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Salvatore Esposito

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 270.850,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 337.405,18

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 225.630,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 126.074,80

Costo Totale LA (escluse spese generali): € 959.959,98

Descrizione attività:

L'applicazione dei reattori a membrana nella conversione di combustibili/biocombustibili in idrogeno rappresenta un valido strumento per l'efficientamento e l'intensificazione dei processi produttivi, grazie alla contemporanea azione di purificazione/concentrazione dell'idrogeno prodotto e alla riduzione delle temperature operative per effetto dello spostamento dell'equilibrio di reazione verso i prodotti con l'estrazione continua dell'idrogeno. La più bassa temperatura operativa non solo consente l'utilizzo di materiali costruttivi convenzionali ma favorisce l'integrazione dei processi di conversione con fonti di calore rinnovabili (energia solare), in un'ottica di generazione sia clean che green (nel caso dei biocombustibili) dell'idrogeno.

L'elemento a maggiore contenuto tecnologico di un reattore a membrana è la membrana stessa, che, a seconda delle applicazioni, deve garantire sia una elevata permeanza e selettività per l'idrogeno, sia una elevata stabilità e durabilità. A tale proposito, la durabilità delle membrane al Pd, tra le più utilizzate per la separazione dell'idrogeno, può essere compromessa dalla presenza di impurità, tra cui i solfuri, e dall'azione meccanica di polveri e residui negli ambienti di reazione.

Riguardo al requisito sulla permeanza, si privilegiano membrane con spessori di pochi μm su supporti porosi, offrendo l'addizionale vantaggio di mantenere bassi i costi di produzione delle membrane a base di Pd. I supporti ceramici sono i più utilizzati, perché hanno proprietà superficiali, quali rugosità e porosità, e compatibilità chimica idonei per la deposizione di strati sottili di Pd. Tuttavia, l'utilizzo della membrana su supporto ceramico, soprattutto in caso di geometrie piane della membrana, può presentare difficoltà tecniche nell'accoppiamento con il reattore, quali tenuta alla pressione e integrità meccanica, specialmente in presenza di ciclaggi termici associati alla fluttuazione della sorgente solare. Diversamente, le membrane su supporto poroso metallico possono garantire un accoppiamento più semplice con il reattore, grazie alle caratteristiche di robustezza meccanica e saldabilità con le altre parti metalliche. Tuttavia, l'impiego di tali supporti metallici, caratterizzati da una porosità media elevata e disomogenea, rende difficile la fabbricazione di film sottili di Pd liberi da difetti, e comporta la diffusione indesiderata di elementi metallici dal supporto verso la membrana. I supporti metallici più comuni, quali gli acciai inossidabili, comportano la diffusione di Fe, Cr e Ni nei film di Pd, riducendo la permeazione dell'idrogeno a causa della sua minore diffusione e solubilità nel reticolo cristallino del Pd. Sulla base di queste considerazioni e sfruttando l'esperienza maturata in ENEA sui trattamenti superficiali di supporti metallici e sulle tecniche di deposizione di rivestimenti multifunzione a film sottili, su supporti piani e tubolari, la presente attività mira a sviluppare soluzioni innovative atte a incrementare la versatilità e la robustezza di membrane su supporto metallico idonee per reattori per la produzione di H_2 alimentati dall'energia solare e, più in generale, in processi di separazione e purificazioni dell' H_2 .

L'attività di ricerca si articola nelle seguenti fasi:

1. Progettazione e realizzazione di una camera di test per simulare le condizioni operative (gradienti termici, pressioni, reagenti, prodotti di reazione, catalizzatori ed eventuali impurità) di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno.
2. Individuazione e approvvigionamento dei supporti metallici considerati più idonei per realizzare le membrane per la produzione di idrogeno.
3. Individuazione e approvvigionamento di fogli di metallo/lega metallica considerati più idonei a simulare il comportamento delle membrane per la produzione di idrogeno.
4. Trattamento superficiale e/o ricoprimento del supporto con uno o più strati sottili per rendere il supporto compatibile con la tecnica di deposizione della membrana, per proteggere la membrana da eventuali fenomeni diffusivi di elementi dal supporto e per assicurare un buon adattamento termo-meccanico tra supporto metallico e membrana.
5. Deposizione sui supporti preparati al punto 4 di strati sottili di metallo/lega metallica che possano simulare il comportamento della membrana nelle reali condizioni operative per valutarne stabilità termica ed efficienza alla permeazione dell'idrogeno.
6. Sviluppo di materiali e processi di deposizione di film per proteggere i fogli di metallo/lega metallica al punto 2 e gli strati sottili di metallo/lega metallica al punto 5 dalle impurità e dall'azione meccanica di polveri e residui presenti negli ambienti di reazione.

Risultati attesi:

- | | |
|----------------|--|
| M1.2.1.1 [M9] | Progettazione della camera di test per simulare le condizioni operative di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno |
| M1.2.1.2 [M12] | Selezione di: (i) supporti metallici considerati più idonei per realizzare membrane per la produzione di idrogeno; (ii) fogli di metallo/lega metallica più idonei a simulare il comportamento delle membrane per la produzione di idrogeno; (iii) materiali e tecniche di deposizione per realizzare gli strati sottili |

- di metallo/lega metallica in grado di simulare il comportamento della membrana e gli strati protettivi e/o di adattamento termo-meccanico
- M1.2.1.3 [M18] Completamento della camera di test per simulare le condizioni operative di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno
- M1.2.1.4 [M18] Approvvigionamento di: (i) supporti metallici su cui realizzare le membrane; (ii) fogli di metallo/lega metallica; (iii) uno o più sistemi di deposizione e/o adeguamento di sistemi di deposizione preesistenti per realizzare gli strati sottili di metallo/lega metallica in grado di simulare il comportamento della membrana, gli strati protettivi e/o di adattamento termo-meccanico
- M1.2.1.5 [M21] Completamento della: (i) caratterizzazione morfo-strutturale e composizionale dei supporti metallici e dei fogli di metallo/lega metallica approvvigionati; (ii) fase di valutazione, mediante la camera di test, della permeazione all'idrogeno e della stabilità dei supporti metallici e dei fogli di metallo/lega metallica approvvigionati
- M1.2.1.6 [M24] Completamento delle fasi di sviluppo dei: (i) processi di trattamento superficiale e/o ricoprimento del supporto con uno o più strati sottili per rendere il supporto compatibile con la tecnica di deposizione, per proteggere la membrana e per assicurare un buon adattamento termo-meccanico tra il supporto metallico e la membrana; (ii) processi di ricoprimento dei fogli di metallo/lega metallica con uno o più strati per proteggerli dalle impurità e dall'azione meccanica di polveri e residui presenti negli ambienti di reazione.
- M1.2.1.7 [M30] Completamento della: (i) fase realizzativa e di caratterizzazione morfo-strutturale e composizionale dei supporti trattati superficialmente e/o ricoperti con uno o più strati protettivi e di adattamento termo-meccanico; (ii) fase di valutazione, mediante la camera di test, della permeazione all'H₂ e della stabilità dei supporti trattati superficialmente e/o ricoperti con uno o più strati protettivi e di adattamento termo-meccanico
- M1.2.1.8 [M30] Completamento della: (i) fase realizzativa e di caratterizzazione morfo-strutturale e composizionale dei fogli di metallo/lega di metallo ricoperti con uno o più strati di protezione; (ii) fase di valutazione, mediante la camera di test, della permeazione all'idrogeno e della stabilità dei fogli di metallo/lega di metallo ricoperti con uno o più strati di protezione
- M1.2.1.9 [M36] Completamento della fase di sviluppo di processi di deposizione, su supporti metallici preventivamente preparati, di strati sottili di metallo/lega metallica in grado di simulare il comportamento della membrana per la produzione di idrogeno
- M1.2.1.10 [M36] Completamento della: (i) fase realizzativa e di caratterizzazione morfo-strutturale e composizionale di strati sottili di metallo/lega metallica sui supporti metallici preventivamente preparati; (ii) fase di valutazione, mediante la camera di test, della permeazione all'idrogeno e della stabilità di strati sottili di metallo/lega metallica depositati su supporti metallici preventivamente preparati
- M1.2.1.11 [M42] Realizzazione e caratterizzazione morfo-strutturale e composizionale di una o più strutture multistrato in grado di simulare il comportamento della membrana per la produzione dell'idrogeno, composte da un supporto metallico trattato superficialmente e/o ricoperto da strati protettivi e/o di adattamento termo-meccanico, uno strato metallico in grado di simulare il comportamento della membrana e, infine, uno o più strati a protezione dello

strato metallico dalle impurità e dall'azione meccanica di polveri e residui presenti negli ambienti di reazione

M1.2.1.12 [M42] Valutazione della permeanza e selettività all'idrogeno, e della stabilità e durabilità delle strutture multistrato realizzate nelle condizioni operative mediante l'impiego della camera di test

Output:

D1.2.1.1 [M12] Rapporto Tecnico "Progettazione di una camera di test per simulare le condizioni operative di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno"

D1.2.1.2 [M24] Rapporto Tecnico "Realizzazione di una camera di test per simulare le condizioni operative di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno e relativi test di verifica del suo corretto funzionamento"

D1.2.1.3 [M24] Rapporto Tecnico "Sviluppo di processi di trattamento superficiale e di deposizione al fine di rendere compatibile il supporto metallico e la membrana con le condizioni operative di un reattore per la produzione di idrogeno"

D1.2.1.4 [M36] Rapporto Tecnico "Sviluppo di processi di deposizione e relative caratterizzazioni di strati sottili di metallo/lega metallica in grado di simulare il comportamento della membrana per la produzione di idrogeno"

D1.2.1.5 [M42] Rapporto Tecnico "Realizzazione e caratterizzazione di strutture multistrato in grado di simulare il comportamento della membrana per la produzione dell'idrogeno. Valutazione della permeanza e selettività all'idrogeno, e della stabilità e durabilità delle strutture multistrato nelle condizioni di funzionamento mediante camera di test"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.2 – LA1.2.2

Studio dell'integrazione di sistemi reversibili ad Ossidi Solidi o Carbonati Fusi con fonti rinnovabili

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Mese inizio: 01 **Mese fine:** 42

Costo totale LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo totale LA - 2 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo totale LA - 3 anno (escluse spese generali): € 50.000,00

Costo totale LA - 4 anno (escluse spese generali): € 60.000,00

Costo Totale LA (escluse spese generali): € 410.000,00

Descrizione attività:

La presente LA è incentrata sull'analisi dell'integrazione di sistemi di conversione elettrochimici ad alta temperatura reversibili in diversi contesti applicativi, in compresenza con sistemi di conversione di energia da Fonti di Energia Rinnovabili (FER). Nello specifico si studierà l'integrazione di sistemi reversibili basati su celle a ossidi solidi (reversible Solid Oxide Cells, rSOC) e a carbonati fusi (reversible Molten Carbonate Cells, rMCC), operanti alternativamente in modalità cella a

combustibile (produzione di potenza e calore) e in modalità elettrolisi (produzione di idrogeno e/o syngas).

In una prima fase si individueranno possibili casi studio di particolare interesse per l'implementazione di tali sistemi reversibili per diversi tipi di applicazioni (sulla base dei profili di domanda di energia elettrica e/o termica, o delle caratteristiche d'impianto) su diverse scale di applicazione (e.g. scala MW, applicazioni industriali o scala kW, applicazioni residenziali). Si favoriranno applicazioni con elevato grado di integrazione termica, con l'utilizzo/produzione di calore ad alta temperatura e di vapore d'acqua, valutando soluzioni co-generative e/o tri-generative (con accoppiamento con pompe ad adsorbimento). Per i sistemi rMCC si investigherà anche la possibilità di operare in modalità cattura della CO₂ (essendo questa uno dei gas di processo necessari per il funzionamento del dispositivo), contemporaneamente alla normale operazione in modalità cella a combustibile o in modalità elettrolisi.

Verranno sviluppati modelli di performance zero-dimensional a parametri concentrati per le due tecnologie per stimare la risposta input/output in termini di prestazioni elettriche (corrente, tensione, potenza, etc.), chimiche (composizione e flussi degli stream, etc.), termiche (calore di reazione, calore assorbito, calore di scarto, etc.) ed energetiche globali (efficienza di conversione, consumi specifici, coefficienti di prestazione) in funzione delle condizioni operative (temperatura, pressione, condizioni di carico, fattori di utilizzo, etc.). Le funzioni di trasferimento saranno sviluppate sia tramite una modellazione analitica con vari gradi di dettaglio dei principali fenomeni fisico-chimici che governano i sistemi, sia – ove possibile – mediante un approccio semi-empirico, per cui viene sfruttato l'uso di dati sperimentali, ottenuti in campagne sperimentali sviluppate *ad-hoc* su campioni a scala rilevante, per la calibrazione empirica delle funzioni di trasferimento. I modelli dei componenti verranno sviluppati in ambienti di programmazione rilevanti.

Successivamente i modelli dei componenti (rSOC, rMCC) precedentemente sviluppati saranno integrati in simulazioni di sistema delle applicazioni e casi studio più promettenti precedentemente identificati in compresenza di sistemi FER. Per valutare l'integrazione dei sistemi reversibili rSOC e rMCC con i profili di generazione di energia variabile da FER, l'analisi di sistema verrà portata avanti mediante software di simulazione dinamica per studiare la risposta di tali sistemi ed accoppiamenti (e.g. operanti in modalità elettrolisi in presenza di energia da FER ed in modalità cella a combustibile altrimenti), con orizzonte temporale sufficientemente lungo (e.g. annuali, con risoluzione oraria) per rappresentare la variabilità intra-annuale dei sistemi FER. L'effettivo impatto della integrazione di tali sistemi in sistemi complessi ed integrati verrà analizzato con l'impiego di diverse strategie di gestione ed esercizio. I benefici dell'implementazione di tali sistemi rispetto alla situazione *ex-ante* verranno quantificati mediante indicatori di performance specifici per ogni applicazione considerata calcolati dai risultati delle simulazioni dinamiche.

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione dell'Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (considerata la consolidata e riconosciuta competenza ed esperienza nelle tematiche di seguito indicate), per la definizione di una matrice di casi studio per l'integrazione di sistemi reversibili (rSOC e/o rMCC) accoppiati con fonti rinnovabili, i quali, a valle di una selezione, saranno analizzati mediante simulazioni dinamiche.

Risultati attesi:

M1.2.2.1 [M12] Identificazione di una matrice dei casi studio per l'implementazione di sistemi elettrochimici reversibili ad alta temperatura (rSOC, rMCC) a diverse scale e per diversi usi sulla base dei profili di domanda di energia elettrica e/o termica, o delle caratteristiche d'impianto

M1.2.2.2 [M12]	Selezione dei casi studio più promettenti per l'implementazione di sistemi elettrochimici reversibili ad alta temperatura (rSOC, rMCC)
M1.2.2.3 [M30]	Sviluppo di un modello di performance zero-dimensionale a parametri concentrati di un sistema rMCC in un ampio campo di variazione dei parametri di operazione
M1.2.2.4 [M30]	Sviluppo di un modello di performance zero-dimensionale a parametri concentrati di un sistema rSOC in un ampio campo di variazione dei parametri di operazione
M1.2.2.5 [M42]	Simulazione di sistema dettagliata dell'integrazione di sistemi rSOC o rMCC per i casi studio individuati come più promettenti
M1.2.2.6 [M42]	Quantificazione dei principali indicatori di performance negli scenari sviluppati, includendo l'analisi di diverse modalità di operazione alternative dei sistemi elettrochimici reversibili ad alta temperatura quali: co-generazione (rSOC e/o rMCC), tri-generazione (rSOC e/o rMCC), cattura della CO ₂ (rMCC)

Output:

D1.2.2.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Identificazione della matrice dei casi studio e selezione dei casi studio strategici per l'implementazione di sistemi elettrochimici reversibili ad alta temperatura (rSOC, rMCC)"
D1.2.2.2 [M36]	Rapporto Tecnico "Sviluppo di un modello di performance zero-dimensionale a parametri concentrati per entrambi i sistemi rSOC e rMCC"
D1.2.2.3 [M42]	Rapporto Tecnico sui risultati delle simulazioni di sistema dell'integrazione di sistemi rSOC e rMCC dei principali casi studio identificati

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.2 – LA1.2.3

Sviluppo di modelli di previsione di produzione di energia da RES non programmabili per la produzione di idrogeno finalizzata al P2G

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giampaolo Caputo

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 99.947,57

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 160.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 70.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 70.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 399.947,57

Descrizione attività:

Ai fini della localizzazione di un impianto che sfrutti l'energia da fonte rinnovabile (come è il caso di sistemi per la produzione di idrogeno rinnovabile) occorre tener conto delle caratteristiche meteorologiche del sito prescelto per l'installazione. Un'analisi tecnica ed economica puntuale richiede soprattutto la conoscenza dei valori e gli andamenti nel tempo della grandezza meteo che è all'origine della fonte stessa, come la velocità e la direzione prevalente del vento nel caso di un impianto eolico, o la radiazione solare per un'installazione che sfrutti quest'altra risorsa.

I fenomeni meteorologici sono in gran parte irregolari e imprevedibili. Per questo motivo, al fine di caratterizzare compiutamente una località, è necessario collezionare una serie di dati meteo, che copra un periodo di alcuni anni.

In Italia si è assistito negli ultimi anni ad un'espansione esponenziale dell'installazione d'impianti di energia rinnovabile; si presenta quindi la necessità a scala nazionale nella quale il gestore dell'energia deve amministrare tutte le utenze e quindi deve conoscere in anticipo quali saranno le esigenze della rete nei diversi punti del territorio.

Alla luce di quanto sopra esposto, è evidente l'utilità di sviluppare un sistema di previsione delle grandezze meteo utili alla produzione di energia.

Nella seguente linea di attività sarà sviluppato un modello di previsione dell'irraggiamento solare a lungo e medio termine attraverso le sue tre componenti: irradianza orizzontale globale (GHI), irradianza normale diretta (DNI – Direct Normal Irradiance) e irradianza diffusa (Diff.). I dati di previsione ottenuti verranno validati utilizzando la stazione solarimetrica del centro ricerche ENEA della Casaccia.

L'obiettivo principale è sviluppare un modello avanzato di previsione dell'irraggiamento solare che copra più scale temporali e valido per tutto il territorio nazionale. Il modello sviluppato sarà messo a disposizione sul sito dell'Atlante italiano della Radiazione Solare gestito dalla divisione Solare Termico, Termodinamico e Smart Grid (STSN) del Dipartimento TERIN dell'ENEA.

Saranno raccolti dati d'irraggiamento solare misurati al suolo sull'intero territorio nazionale e dalla loro elaborazione, sarà sviluppata una mappa del territorio nazionale dell'irraggiamento solare a "cielo sereno" che rappresenta la massima radiazione incidente. Date longitudine e latitudine si potrà calcolare il profilo orario annuo dell'irraggiamento solare a cielo sereno per quella località.

Sarà sviluppato un modello fisico-statistico per il calcolo dell'indice di copertura nuvolosa a partire da immagini satellitari. Con questo modello saranno elaborate le immagini satellitari fornite da EUMetSat per la stima della GHI su tutto il territorio nazionale a partire dal 2006 con un intervallo temporale di 15'. Sarà inoltre sviluppato sempre un modello fisico-statistico per il calcolo della DNI e della Diff "direttamente" dalla GHI.

I valori di GHI, DNI e Diff così calcolati saranno confrontati con misure al suolo. Dalla stima della radiazione solare calcolata in precedenza (dal 2006 ogni 15'), potrà essere calcolato l'anno meteorologico tipico (TMY) per la radiazione solare per qualsiasi località italiana. Saranno, inoltre, messi a punto modelli per il calcolo della radiazione solare globale incidente (GI) su un piano con un certo orientamento (azimut) e inclinazione (tilt) e per il calcolo della radiazione normale incidente sull'apertura del concentratore (ANI). Conoscendo tutti i parametri calcolati è possibile stimare la produttività energetica a lungo termine d'impianti solari a concentrazione (CSP) e fotovoltaici (PV). Infine, sarà sviluppato un modello, elaborando i dati meteo-solarimetrici acquisiti in Casaccia dalla strumentazione già in possesso e dalla strumentazione che sarà acquistata nell'ambito del progetto, per calcolare il coefficiente di attenuazione atmosferica per l'irradianza solare in funzione di alcuni parametri che caratterizzano l'atmosfera (copertura nuvolosa, umidità, aerosol, etc.).

Da modelli fisici di previsione meteorologica numerica (NWP) si estrapolano questi dati che inseriti nel modello sviluppato fornisce il profilo orario per le successive 48 ore della GHI, DNI e Diff e quindi della potenza elettrica prodotta da impianti PV e CSP (Concentrated Solar Power) che alimentano elettrolizzatori per la produzione di idrogeno. La previsione a 24 e 48h dell'energia elettrica prodotta permette di gestire al meglio il flusso energetico tra rete elettrica, stoccaggio elettrico ed elettrolizzatore.

I valori di radiazione solare previsti saranno confrontati con misure al suolo.

Risultati attesi:

M1.2.3.1 [M6] Modello fisico-statistico per il calcolo della DNI e Diff a partire dalla GHI

M1.2.3.2 [M18]	Modello di cielo sereno per tutta l'Italia
M1.2.3.3 [M30]	Modello per la stima dell'irraggiamento solare a lungo termine
M1.2.3.4 [M42]	Modello per la previsione a 24 e 48h della GHI, DNI e Diff e della potenza elettrica prodotta da impianti PV e CSP che alimentano elettrolizzatori per la produzione di idrogeno

Output:

D1.2.3.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Implementazione di un modello di cielo sereno per l'irradianza globale orizzontale e diretta normale per l'Italia"
D1.2.3.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Elaborazione d'immagini satellitari per la stima dell'irradianza solare"
D1.2.3.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Modello per la previsione a 24 e 48h della GHI, DNI e Diff"
D1.2.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Stima e previsione a 24 e 48h della produzione di energia elettrica di un impianto PV accoppiato ad un elettrolizzatore per il sito ENEA Casaccia"

TRL (inizio-fine): 4-5

WP1.2 – LA1.2.4

Sviluppo di processi di elettrolisi in scala di laboratorio finalizzati al settore navale, per applicazioni off-shore, on-board e in aree portuali, con validazione in stack prototipali

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Claudio Lugni

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 57.658,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 86.405,95

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 86.405,95

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 49.530,10

Costo totale LA (escluse spese generali): € 280.000,00

Descrizione attività:

Studio di sistemi di elettrolisi alimentati con acqua di mare.

L'acqua di mare è una delle risorse naturali più abbondanti del nostro pianeta. L'elettrolisi alimentata con acqua di mare non è solo un approccio promettente per produrre energia pulita a idrogeno, ma anche di grande valore per la desalinizzazione dell'acqua di mare. L'implementazione dell'elettrolisi dell'acqua di mare richiede elettrocatalizzatori robusti ed efficienti in grado di sostenere la scissione dell'acqua di mare senza corrosione dovuta alla presenza di cloruri, soprattutto per l'anodo.

La LA1.2.4 verte sullo studio e valutazione di processi che combinano elettrolizzatori di tipo PEM o AEM alimentati con acqua di mare processata attraverso sistemi di osmosi inversa. L'obiettivo è di studiare diverse condizioni di alimentazione, diversi sistemi prettamente dell'acqua di mare e il relativo impatto sulla degradazione dei sistemi PEM e AEM.

Studio di processi di desalinizzazione acqua di mare

Verranno studiati i processi di desalinizzazione dell'acqua di mare per gli elettrolizzatori AEM. Saranno proposti diversi schemi di processo a seconda del livello di deionizzazione richiesto. Le nuove soluzioni saranno rafforzate da un'accurata analisi dei costi dei processi di desalinizzazione e purificazione dell'acqua di mare. Tra i più promettenti saranno valutati gli impianti ad osmosi inversa (RO). Lo stato dell'arte, i consumi energetici, i problemi tecnologici e i trattamenti a monte e a valle

dei processi di dissalazione saranno esaminati con attenzione. La salamoia da RO subirà un processo di separazione in cui gli ioni bivalenti Ca^{2+} e Mg^{2+} verranno rimossi selettivamente in un cristallizzatore reattivo utilizzando una soluzione alcalina. Il flusso di salamoia risultante verrà inviato a un'unità di elettrodialisi (ED) per diluire il flusso e recuperare acqua aggiuntiva in RO. I risultati di letteratura mostrano che è possibile ottenere un recupero dell'acqua del 60%, valore che potrà essere aumentato fino al 75% a seconda delle condizioni operative dell'unità di elettrodialisi (ED) che si prevede di utilizzare.

Test elettrochimici in cella.

Verrà effettuato lo studio dei sistemi di elettrolisi in funzione delle condizioni operative. Diverse concentrazioni di NaCl saranno incluse nella soluzione acqua/KOH. L'obiettivo sarà capire qual è il livello di depurazione dell'acqua di mare da utilizzare e valutare il costo e il processo in termini di efficienza del sistema.

Analisi del funzionamento dello stack e test in camera salina.

L'attività sullo stack sarà indirizzata alla degradazione elettrochimica e dei materiali attraverso studi post-operation ed indagini chimico fisiche mirate. Nello stesso tempo sarà utilizzata la diagnostica elettrochimica in situ.

I sistemi saranno analizzati in una camera salina al fine di valutarne il degrado nella simulazione dell'ambiente marino (altamente corrosivo). Le analisi fisico-chimiche, dopo il test della camera salina, permetteranno di mettere in evidenza le eventuali degradazioni dei componenti dello stack.

Risultati attesi:

M1.2.4.1 [M3]	Analisi dello stato dell'arte dei processi di purificazione di acqua di mare
M1.2.4.2 [M6]	Nuovi processi di purificazione di acqua di mare per applicazioni di elettrolisi
M1.2.4.3 [M12]	Studio dei processi di purificazione di acqua di mare per applicazioni di elettrolisi
M1.2.4.4 [M15]	Analisi delle prestazioni di celle di elettrolisi in ambiente salino simulato.
M1.2.4.5 [M24]	Definizione tecnico economica dei processi di desalinizzazione con un recupero dell'acqua del 75%, dipendente delle condizioni operative dell'unità di elettrodialisi (ED) che verrà utilizzata
M1.2.4.6 [M30]	Analisi della degradazione di celle di elettrolisi in ambiente salino simulato.
M1.2.4.7 [M36]	Ottenimento di efficienze superiori al 70% per sistemi alimentati con acqua di mare simulata
M1.2.4.8 [M42]	Validazione della durata e studio della degradazione con l'obiettivo di ottenere una perdita di prestazione inferiore a 1%/1000 h

Output:

D1.2.4.1 [M12]	Studio dei sistemi di purificazione di acqua di mare per applicazione in elettrolisi
D1.2.4.2 [M24]	Analisi delle possibili architetture di sistema di trattamento acqua ed elettrolizzatore
D1.2.4.3 [M36]	Validazione delle prestazioni in termini di efficienza, dinamicità flessibilità di condizioni operative
D1.2.4.4 [M42]	Studio della degradazione del sistema di elettrolisi alimentato con acqua di mare nelle diverse condizioni operative

TRL (inizio-fine): 2-4

***Sviluppo di processi di elettrolisi ad alta temperatura in scala di laboratorio
finalizzati al settore industria con validazione in stack prototipali***

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Marco Ferraro

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): €69.200,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 59.167,11

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 34.167,11

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 37.465,78

Costo totale LA (escluse spese generali): € 200.000,00

Descrizione attività:

Per il raggiungimento dei target europei in termini di produzione di idrogeno verde, ancora più sfidanti dopo la pubblicazione della comunicazione REPowerEU (che aggiunge 20 Mt di idrogeno alle 5.6 Mt previste dal FF55), è necessario produrre, già nel breve medio termine, elettrolizzatori a scala MW. L'attività è volta allo sviluppo di un'unità base di sistema SOEC modulare per l'integrazione in sistemi di elettrolisi a scala MW. L'obiettivo generale è l'ingegnerizzazione di un modulo industrializzabile che abbia interfacce standard e facilità di intercambiabilità. Ciò al fine di ridurre i costi connessi alle fasi di ingegneria di sistema (attualmente si tratta di sistemi customizzati) e di manifattura degli impianti (CAPEX) che nelle fasi operative (OPEX) per esempio nei casi di sostituzione di componenti danneggiati e per aumentare la vita utile dei componenti critici (tipicamente le singole celle). Particolare attenzione verrà posta in fase di progettazione per l'individuazione delle migliori soluzioni che garantiscano al contempo il minimo costo economico e il minimo costo ambientale grazie ad un approccio di ottimizzazione multiobiettivo combinando analisi economica (Life Cycle Costing - LCC) e analisi ambientale (Life Cycle Assessment - LCA).

Risultati attesi:

M1.2.5.1 [M12]	Acquisizione e caratterizzazione stack SOEC taglia kW
M1.2.5.2 [M12]	LCA e LCC del sistema e individuazione degli hot-spot e definizione linee guida per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali
M1.2.5.3 [M24]	Sviluppo di un sistema di controllo basato su reti neurali e tecniche di machine learning per la massimizzazione della vita utile dei componenti critici
M1.2.5.4 [M24]	Sviluppo di un sistema di pressurizzazione per stack SOEC per operare a pressioni superiori ai 20 bar
M1.2.5.5 [M36]	Sviluppo di un'architettura ibrida SOEC/batterie/supercap per la massimizzazione della vita utile dei componenti critici
M1.2.5.6 [M36]	LCA e LCC del sistema e individuazione degli hot-spot e definizione linee guida per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali
M1.2.5.7 [M42]	Definizione linee guida per la progettazione di un modulo SOEC per la realizzazione di elettrolizzatori a scala MW

Output:

D1.2.5.1 [M12]	Rapporto tecnico sulla caratterizzazione stack SOEC della taglia del kW
D1.2.5.2 [M12]	Rapporto tecnico su LCA e LCC del sistema e individuazione degli hot-spot e definizione linee guida per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali
D1.2.5.3 [M24]	Rapporto tecnico sullo sviluppo di un sistema di controllo basato su reti neurali e tecniche di machine learning per la massimizzazione della vita utile dei componenti critici

- | | |
|----------------|---|
| D1.2.5.4 [M36] | Rapporto tecnico sullo di un'architettura ibrida SOEC/batterie/supercap per la massimizzazione della vita utile dei componenti critici |
| D1.2.5.5 [M36] | Rapporto tecnico su LCA e LCC del sistema e individuazione degli hot-spot e definizione linee guida per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali |
| D1.2.5.6 [M42] | Linee guida per la progettazione di un modulo SOEC per la realizzazione di elettrolizzatori a scala MW |

TRL (inizio-fine): 3-4

WP1.2 – LA1.2.6

Sistemi catalitici avanzati per DeNOx di sistemi di mobilità alimentati con idrogeno

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Luciana Lisi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 40.600,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 53.350,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 52.850,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 53.200,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 200.000,00

Descrizione attività:

Considerati i rapidi cambiamenti climatici e il conseguente impatto socio-economico, l'obiettivo dell'Unione Europea espresso nel "Green Deal" nel diventare il primo continente a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 impone decisioni strategiche di politica energetica del paese. In tale contesto si è riacceso l'interesse per l'idrogeno come vettore energetico in applicazioni industriali, energetiche e nel settore trasporti.

Nella Strategia Energetica Nazionale (2017) e nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (2019) l'uso di combustibili H₂-Based ha un ruolo di primaria importanza consentendo di azzerare le emissioni di CO₂ e di contribuire alla riduzione dei gas serra.

L'H₂ è un combustibile pulito rispetto a idrocarburi convenzionali e NH₃ perché la sua combustione genera solo H₂O e consente di impiegare miscele magre. La sua ossidazione in aria può però generare ossidi di azoto essenzialmente per meccanismo termico.

L'impiego di un processo lean-burn e di un sistema High-pressure Exhaust Gas Recirculation consente di minimizzare le emissioni, ma non tutte le condizioni operative (in particolare ad alti carichi) possono essere realizzate, nel rispetto del livello di NO_x fissato dalla normativa. L'uso di un sistema di post-trattamento catalitico con idrogeno come riducente avrebbe il grosso vantaggio di richiedere un unico combustibile a bordo, sia per la propulsione che per la riduzione di NO_x, evitando l'unità di stoccaggio ed iniezione di urea.

Nella H₂-Selective Catalytic Reduction (SCR) i metalli nobili sono i più attivi a basse temperature (100-200°C) mentre i metalli non nobili sono attivi a temperature maggiori di 200°C. La selettività costituisce un aspetto cruciale anche per la H₂-SCR: la reazione competitiva fra idrogeno e ossigeno in eccesso va limitata e, allo stesso tempo, va evitata la formazione di N₂O, noto gas climalterante. L'uso di un adeguato supporto per il metallo attivo influenza fortemente le prestazioni catalitiche. Le zeoliti incrementano l'attività grazie alle loro proprietà di confinamento. Il Pt/HZSM-5 mostra una eccellente resistenza a SO₂ e H₂O grazie alla stabilizzazione delle nanoparticelle di Pt nella struttura porosa.

La maggiore attività del Pt/H-ZSM-5 nella H₂-SCR è attribuita all'effetto sinergico tra l'attivazione dell'idrogeno e l'adsorbimento dell'NO_x che avviene attraverso la migrazione tra l'idrogeno, adsorbito sul PtO sulla superficie esterna del catalizzatore, alle specie NO_x adsorbite nei canali interni sul Pt²⁺. Inoltre, la migrazione delle specie attive può essere largamente favorita in materiali a struttura gerarchica caratterizzati da distribuzione di pori che spazia dai macro ai meso e micro-pori come nei compositi zeolite/geopolimero. Essi possiedono prestazioni eccellenti nella NH₃-SCR e possono essere prodotti tramite stampa 3D come monoliti ad elevata resistenza meccanica che ne consente l'uso in applicazioni mobili. Inoltre, rispetto ai monoliti convenzionali con washcoat, possono consentire fino al 60% di zeolite nella matrice macro- meso-porosa.

A partire da tali premesse, la LA1.2.6 è incentrata sullo sviluppo di nuovi catalizzatori a base di Pt supportato su zeoliti incorporate in una matrice geopolimerica per H₂-SCR che verranno caratterizzati e testati in un reattore in scala di laboratorio con una miscela che simuli i gas di scarico da un motore Heavy-Duty gas alimentato ad idrogeno conforme agli standard EURO VI installato in una sala prova del CNR-STEMS. In ciascuna condizione testata verrà fornita la caratterizzazione completa dei gas di scarico, sia in termini di portate che di concentrazione degli inquinanti; la linea di scarico sarà strumentata con sensori di temperatura e di pressione per fornire un completo set di dati necessario per il design del catalizzatore in scala laboratorio.

I risultati di una approfondita caratterizzazione fisica, chimica, meccanica e morfologica del catalizzatore forniranno le informazioni in grado di indirizzare opportunamente la formulazione chimica del sistema.

Risultati attesi:

- | | |
|----------------|--|
| M1.2.6.1 [M12] | Definizione delle condizioni del motore Heavy-Duty gas (6.0L, conforme agli standard EURO VI) tipicamente utilizzato sia per applicazioni su strada (truck e/o bus) che off-road che determinano le minori emissioni di NO _x al variare del rapporto stechiometrico λ e dello spark advance (SA) con ottimizzazione del processo di combustione (evitando fenomeni di knocking) e determinazione dei livelli di NO _x , O ₂ , di temperatura e pressione allo scarico utili per i test sul catalizzatore |
| M1.2.6.2 [M12] | Progettazione e realizzazione dell'impianto da laboratorio e del protocollo dei test per la campagna sperimentale con miscela simulata con composizione determinate in base ai precedenti test sul motore |
| M1.2.6.3 [M18] | Caratterizzazione di base del catalizzatore e eventuale variazione delle condizioni di preparazione per l'ottimizzazione delle proprietà chimico-fisiche |
| M1.2.6.4 [M24] | Definizione della procedura di preparazione del catalizzatore che fornisce una riduzione >95% degli NO _x con selettività a N ₂ prossima al 100% a T<200°C sulla base dei risultati dei test effettuati in condizioni anidre e in assenza di SO ₂ |
| M1.2.6.5 [M30] | Definizione del meccanismo di reazione attraverso caratterizzazione fisica, chimica e funzionale |
| M1.2.6.6 [M42] | Studio dell'effetto di H ₂ O e SO ₂ sulle prestazioni catalitiche e determinazione della durata del catalizzatore |
| M1.2.6.7 [M42] | Aggiunta eventuale di promotori per l'intensificazione delle prestazioni |
| M1.2.6.8 [M42] | Dimensionamento del reattore catalitico in condizioni operative reali |

Output:

- | | |
|----------------|---|
| D1.2.6.1 [M12] | Analisi delle emissioni di NO _x da motore Heavy-Duty gas (6.0L, conforme agli standard EURO VI) e dei livelli di NO _x e O ₂ per i test sul catalizzatore in scala da laboratorio |
|----------------|---|

- D1.2.6.2 [M12] Progettazione e realizzazione dell'impianto da laboratorio e del protocollo dei test per la campagna sperimentale con miscela simulata con composizione determinate in base ai precedenti test sul motore
- D1.2.6.3 [M24] Preparazione di catalizzatori Pt/zeolite disperse in matrice geopolimerica 3D con contenuto di Pt <0.5% e contenuto di zeolite nella matrice fino al 60 %
- D1.2.6.4 [M24] Definizione delle prestazioni del catalizzatore in condizioni di alimentazione semplificata (assenza di acqua e SO₂)
- D1.2.6.5 [M36] Caratterizzazione di base del catalizzatore con ottimizzazione del protocollo di preparazione
- D1.2.6.6 [M36] Definizione delle condizioni del motore Heavy-Duty gas (6.0L, conforme agli standard EURO VI) che determinano le minori emissioni di NO_x al variare del rapporto stechiometrico e dello spark advance (SA) con ottimizzazione del processo di combustione (evitando fenomeni di knocking)
- D1.2.6.7 [M42] Caratterizzazione funzionale (spettroscopia operando) del catalizzatore selezionato e determinazione del meccanismo di reazione
- D1.2.6.8 [M42] Determinazione della durata del catalizzatore in condizioni di alimentazione che simula quella reale
- D1.2.6.9 [M42] Effetto dell'eventuale aggiunta di promotori per l'intensificazione del processo catalitico in condizioni reali
- D1.2.6.10 [M42] Dimensionamento del catalizzatore

TRL (inizio-fine): 2-3

WP1.2 – LA1.2.7

Sviluppo di modelli per processi di gassificazione di biomasse, reforming di biogas e processi integrati per produrre idrogeno per applicazioni stazionarie e validazione sperimentale in reattori prototipali

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Alessandro Fortunelli

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 133.878,40

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 130.810,60

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 81.763,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 61.548,00

Costo totale LA (escluse spese generali): €408.000,00

Descrizione attività:

L'attività verterà sulla modellazione e progettazione razionale di materiali e processi innovativi per gassificazione di biomasse lignocellulosiche, l'arricchimento in idrogeno di correnti di syngas, lo (steam/dry) reforming di biogas, nonché sullo sviluppo di materiali e processi integrati per produrre idrogeno decarbonizzato per applicazioni stazionarie, basati sull'utilizzo di catalizzatori ad alta stabilità ed attività catalitica anche in presenza di contaminanti. Saranno condotti studi sulla configurazione reattoristica, analizzando diverse opzioni di reattore a letto fluido (spouted e bollente) per la gassificazione di biomasse, così come su processi di reforming autotermico non-catalitico di biogas in reattori innovativi, a forte ricircolo interno, o su processi di dry/steam reforming di biogas in reattori intensificati a membrana (a base di Pd e/o Ni e/o Cu e/o loro leghe) sia da un punto di vista modellistico (studi di fluidodinamica e catalisi computazionale) che

sperimentale, per l'identificazione della configurazione fluidodinamica di alimentazione ottimale e per l'ottimizzazione e la stabilità del processo, al fine di massimizzare la produzione di idrogeno decarbonizzato.

Per lo sviluppo dei materiali e processi integrati, si studierà l'utilizzo di materiali catalitici (minerali e/o metalli supportati su ossidi), sia in configurazione "in bed" (direttamente nel reattore) che in "down stream" (reattori di up-grade del gas di sintesi prodotto a valle del gassificatore). Si valuterà quindi sperimentalmente la conversione di biomassa in gas di sintesi, attraverso un gassificatore a letto fluido (scala laboratorio), variando i principali parametri del processo ed investigando l'uso di agenti gassificanti differenti. Sarà inoltre valutata l'ipotesi di integrazione di step efficienti di processo per aumentare la produzione di idrogeno, a più basse temperature e contestualmente con la promozione del cracking del tar, sviluppando materiali catalitici strutturati che saranno testati in impianti in scala da laboratorio.

Dal punto di vista teorico, saranno sviluppati modelli di siti catalitici su nanoparticelle a base di Pd e/o Ni e/o Cu in lega, attivi nella decomposizione delle molecole presenti in biogas/biomasse, e saranno studiati i cammini di reazione in funzione dei gruppi funzionali presenti nelle molecole, derivando i diagrammi di energia libera corrispondenti. Inoltre, saranno sviluppati modelli teorici per la simulazione dei processi di produzione ed arricchimento in idrogeno in reattori a membrana da reforming di biogas e da correnti di syngas, rispettivamente, validati sperimentalmente mediante test catalitici ed operandone un raffinamento tramite tecniche di ricostruzione incrementale dei diagrammi di energie libere di reazione. Lo studio teorico sarà completato con un'analisi basata su high-throughput screening per l'individuazione dei sistemi catalitici più robusti rispetto ai fenomeni di disattivazione dei catalizzatori e maggiormente performanti in funzione dei parametri di processo. Saranno considerati sistemi a base di Pd e/o Ni e/o Cu in lega, e sarà determinata la taglia e la composizione ottimale delle nanoparticelle anche in funzione del supporto. Contestualmente, l'analisi teorica sui reattori a membrana sarà utile per determinare le migliori condizioni operative e le variabili di processo per la massimizzazione delle prestazioni in termini di maggiore produzione e recupero di idrogeno decarbonizzato. Questo permetterà una progettazione razionale e innovativa delle condizioni ottimali di processo in termini di parametri di materiali e dispositivi, personalizzata sulla formulazione dei biogas/biomasse/syngas.

Risultati attesi:

- | | |
|----------------|--|
| M1.2.7.1 [M6] | Sviluppo di modelli per l'intensificazione di processo mediante reattori a membrana per la produzione di idrogeno da reforming di biogas ed arricchimento di correnti di syngas |
| M1.2.7.2 [M9] | Identificazione dell'influenza della configurazione "spouted" sull'efficienza del processo di gassificazione |
| M1.2.7.3 [M12] | Individuazione delle condizioni di lavoro ottimali per la massimizzazione della resa in H ₂ , al variare della composizione del biogas, stechiometria, temperatura e pressione in processi di reforming autotermico non catalitico in reattori semplici |
| M1.2.7.4 [M15] | Sviluppo di modelli di siti catalitici, cammini di reazione, e diagrammi di energia libera nella decomposizione dei composti tipicamente presenti in biogas/biomasse |
| M1.2.7.5 [M18] | Analisi validata sperimentalmente da test in reattori tradizionali e a membrana prototipali (scala laboratorio) dell'attività catalitica in diverse condizioni e per diverse formulazioni dei biogas/biomasse/syngas |

- M1.2.7.6 [M21] Acquisizione e/o preparazione e caratterizzazione chimico-fisica di catalizzatori attivi nel processo di gassificazione di biomasse per la produzione di idrogeno
- M1.2.7.7 [M21] Test di gassificazione termica e/o catalitica in reattori a letto fluido
- M1.2.7.8 [M24] Identificazione delle proprietà chimico-fisiche dei catalizzatori strutturati per i processi di upgrading del gas di sintesi in uscita dal gassificatore per la produzione di idrogeno
- M1.2.7.9 [M24] Valutazione della stabilità del processo di reforming autotermico non catalitico in funzione dei parametri del sistema in reattori semplici
- M1.2.7.10 [M30] Ottimizzazione delle condizioni operative di esercizio del processo di gassificazione (temperatura, rapporto agente ossidante/biomassa) finalizzato alla produzione di idrogeno e informazioni dettagliate sulla composizione del syngas prodotto
- M1.2.7.11 [M33] Ottimizzazione dei parametri operativi dei processi di upgrading del gas di sintesi in uscita dal gassificatore e/o di reforming del biogas (rapporti O_2/C , H_2O/C , temperatura, velocità spaziale, pressioni, informazioni dettagliate sulla composizione dei prodotti della reazione) mediante prove di attività catalitica in microscala
- M1.2.7.12 [M36] Identificazione della configurazione fluidodinamica ottimale di alimentazione (premiscelata/non-premiscelata) e del rapporto di ricircolo interno in processi di reforming autotermico non catalitico
- M1.2.7.13 [M36] Individuazione di sistemi catalitici ottimali in funzione delle condizioni di reazione e della formulazione dei biogas/biomasse/syngas
- M1.2.7.14 [M39] Modellazione del processo di (steam/dry) reforming di biogas, arricchimento di correnti di syngas e gassificazione di biomasse
- M1.2.7.15 [M42] Validazione testing sperimentale materiali catalitici in reattori da banco
- M1.2.7.16 [M42] Ottimizzazione della resa in idrogeno in processi di reforming autotermico non catalitico in un reattore a forte ricircolo interno
- M1.2.7.17 [M42] Modellazione dei meccanismi catalitici di (steam/dry) reforming di biogas, integrata in una modellazione predittiva finale del processo di (steam/dry) reforming di biogas, di arricchimento di correnti di syngas e gassificazione di biomasse dalla quale si ricavano le condizioni e i parametri di processo ideali in funzione della formulazione dei biogas/biomasse/syngas per lo sviluppo di reattori di tipo prototipali (pilot scale) efficaci per la massimizzazione della produzione sostenibile e decarbonizzata dell'idrogeno

Output:

- D1.2.7.1 [M6] Sviluppo di modelli CFD e/o ANN per la modellazione di reattori a membrana per produzione di idrogeno COx-free da reforming di biogas e WGS
- D1.2.7.2 [M9] Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per studio e valutazione della configurazione reattoristica e del processo di gassificazione in reattori a letto fluido
- D1.2.7.3 [M12] Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per preparazione di catalizzatori per la gassificazione di biomasse
- D1.2.7.4 [M15] Modelli atomistici di siti catalitici di (steam/dry) reforming di biogas e gassificazione di biomasse, e relativi cammini di reazione e diagrammi di energia libera

D1.2.7.5 [M18]	Analisi teorica sull'influenza delle variabili di processo e validazione sperimentale di reattori a membrana prototipali (bench-scale) per la produzione di idrogeno CO _x -free da reforming di biogas e WGS
D1.2.7.6 [M21]	Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per caratterizzazione e testing di catalizzatori attivi nei processi di gassificazione delle biomasse
D1.2.7.7 [M24]	Tabelle di attività catalitica di sistemi a base di Pd e/o Ni e/o Cu e/o loro leghe in diverse condizioni e per diverse formulazioni dei biogas/biomasse
D1.2.7.8 [M30]	Analisi modellistica sulle condizioni operative dei reattori a membrana per la massimizzazione della produzione di idrogeno CO _x -free
D1.2.7.9 [M33]	Efficienza di sistemi catalitici di nanoparticelle in funzione delle condizioni di reazione e della formulazione dei biogas/biomasse
D1.2.7.10 [M36]	Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per testing catalitici in reattori a letto fluido ed ottimizzazione del processo
D1.2.7.11 [M39]	Parametri ottimali di dispositivo da modelli realistici di reattori di (steam/dry) reforming di biogas e gassificazione di biomasse
D1.2.7.12 [M42]	Rapporto/i Tecnici/i sulle attività svolte per: i) l'ottimizzazione dei processi di reforming autotermico non-catalitico di biogas in reattori innovativi a forte ricircolo interno, ii) scale-up dei catalizzatori strutturati e la validazione catalitica in reattori dimostrativi

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.2 – LA1.2.8

Studi sull'applicazione delle tecnologie dell'idrogeno in settori "hard to abate", analisi tecnico-economiche, impatti sulla riduzione delle emissioni e sperimentazioni su casi selezionati

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Andrea Rossetti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 380.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 343.169,71

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.173.169,71

Descrizione attività:

L'idrogeno è fondamentale nel perseguimento della completa decarbonizzazione dei settori "Hard to abate" per la sua capacità di sostituire i combustibili fossili nei processi non elettrificabili. L'attività sarà articolata in sei fasi:

- valutare la fattibilità tecnica dell'uso dell'idrogeno nei settori "hard to abate" in sostituzione dei combustibili fossili, individuando gli sviluppi tecnologici necessari per l'utilizzo progressivo in miscele con gas naturale fino alla loro totale sostituzione.
- valutare l'applicabilità delle tecnologie dell'idrogeno considerando le barriere infrastrutturali e di policy.
- valutare i benefici ambientali in termini di decarbonizzazione (emissioni di CO₂) e i costi per l'applicazione industriale (CAPEX e OPEX).

- identificare e analizzare le criticità per l'applicazione industriale e i possibili impatti sul processo, sulla gestione dell'impianto, sulla qualità dei prodotti.
- individuare la sperimentazione in laboratorio, su impianti pilota e in impianti industriali necessaria per lo sviluppo e l'industrializzazione della tecnologia.
- definire una "road map" per l'industrializzazione e la diffusione della soluzione nell'industria italiana.

Lo studio dei processi, delle tecnologie dell'idrogeno e la sperimentazione su casi studio nel settore siderurgico e vetro, consentiranno di identificare le soluzioni tecnologiche che potranno contribuire al perseguimento dell'obiettivo di sostituire gli attuali bruciatori a GN garantendo:

- identiche prestazioni termo-fluidodinamiche a parità di potenza;
- stessa qualità del prodotto;
- massima applicabilità sugli impianti esistenti (es.: forni di riscaldamento, forni di fusione).
- netta riduzione dell'impatto ambientale.

Caso studio settore siderurgico

L'uso di bruciatori a idrogeno, nei forni di riscaldamento e trattamento termico di prodotti di acciaio, presenta diverse criticità, in particolare:

- impatto sulla formazione ed emissioni inquinanti (es.: NO_x);
- impatto sulla conformazione e temperatura di fiamma, sulla efficienza dello scambio termico e sulle temperature dei refrattari e altri componenti del forno;
- impatto sulla gestione della sicurezza;
- impatto sulla resa e qualità del prodotto.

Caso studio settore vetro

L'uso del sistema di combustione a idrogeno invece di gas naturale nei forni per la produzione di vetro cavo, presenta diverse criticità, in particolare:

- impatto sul controllo dell'affinaggio, della produzione di polveri, della formazione di schiuma sul bagno;
- impatto sui refrattari e componenti del forno;
- impatto sul volume dei fumi di combustione, sulla termofluidodinamica, intasamento del rigeneratore, corrosione dei refrattari di volta e sovrastruttura;
- effetto dell'aumento di H₂O e diminuzione di CO₂ nei fumi di combustione sulla evaporazione di Na₂O ed SO_x dal bagno;
- impatto ambientale (formazione di NO_x, SO_x);
- impatto sulla qualità del prodotto.

Nell'ottica di superamento di tali criticità, il presente caso studio si pone il perseguimento dei seguenti obiettivi:

- Valutazione dello stato di sviluppo della tecnologia di combustione con idrogeno (con aria e oxy-fuel) nei forni di riscaldamento e di trattamento siderurgici e di fusione del vetro.
- Valutazione dei tempi richiesti e investimenti necessari per il raggiungimento del livello industriale.
- Valutazione dei volumi di idrogeno richiesti, della produzione di idrogeno in situ o da rete e infrastrutture necessarie.
- Individuazione e selezione produttori settore siderurgico e vetro per la progettazione della sperimentazione industriale e i test industriali.
- Progettazione ed esecuzione di sperimentazione in laboratorio.
- Analisi dell'impatto sui processi e sui prodotti.
- Indicazioni per la predisposizione di possibili proposte per progetti finanziati nazionali e internazionali.
- Definizione di una road map per lo sviluppo a livello industriale e la diffusione nel settore.

Risultati attesi:

- M.1.2.8.1 [M6] Analisi e valutazione dello stato di sviluppo della tecnologia di combustione con idrogeno (con aria e oxy-fuel) nei forni di riscaldamento e di trattamento siderurgici e di fusione del vetro con stima dei tempi richiesti e degli investimenti necessari per il raggiungimento del livello industriale
- M.1.2.8.2 [M12] Valutazione dei volumi di idrogeno richiesti, della produzione di idrogeno in situ o da rete e analisi delle infrastrutture necessarie. Analisi delle criticità relative alla produzione e all'accumulo dell'idrogeno nello stabilimento
- M.1.2.8.3 [M18] Individuazione e selezione produttori settore siderurgico e vetro per la progettazione della sperimentazione industriale e i test industriali. Predisposizione e pianificazione dei test industriali
- M.1.2.8.4 [M24] Risultati preliminari dei test industriali e analisi dei dati
- M.1.2.8.5 [M30] Progettazione ed esecuzione di sperimentazione in laboratorio sulla base dei risultati dei test industriali
- M.1.2.8.6 [M36] Risultati dei test di laboratorio. Analisi dei dati e dell'impatto sui processi e sui prodotti
- M.1.2.8.7 [M42] Indicazioni per la predisposizione di possibili proposte per progetti finanziati nazionali e internazionali. Definizione di una road map per lo sviluppo a livello industriale

Output:

- D.1.2.8.1 [M12] Rapporto tecnico "Tecnologie per l'utilizzo dell'idrogeno nei settori "hard to abate": analisi degli sviluppi tecnologici necessari e di applicabilità agli impianti esistenti"
- D.1.2.8.2 [M24] Rapporto tecnico "Test di combustione di idrogeno su impianti industriali dei settori acciaio e vetro"
- D.1.2.8.3 [M36] Rapporto tecnico "Sperimentazioni in laboratorio per l'analisi dell'impatto sui processi e sui prodotti dei settori acciaio e vetro"
- D.1.2.8.4 [M42] Rapporto tecnico "Indicazioni per proposte di progetti finanziati e definizione di una road map per lo sviluppo delle tecnologie di combustione dell'idrogeno nel settore industriale"

TRL (inizio-fine): 4-5

WP1.3 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Per la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno su larga scala il quadro evolutivo deve favorire lo sviluppo di una filiera integrata definendo priorità di azione che non sono solo di tipo puramente tecnologico: dovranno essere definite regole chiare e di agevole applicazione, sarà necessario individuare standard e procedure che consentano di validare e immettere sul mercato i nuovi prodotti, bisognerà formare per tempo nuove figure professionali, che possano sostenere il mercato non appena sarà pronto a partire. L'obiettivo principale del WP è di proporre possibili soluzioni per il superamento di alcune delle suddette barriere mettendo a disposizione infrastrutture e laboratori di ricerca per la conduzione di attività sperimentali di tipo pre-normativo, per la definizione di standard, per effettuare analisi di tipo tecnico-economico, per supportare la formazione. In particolare, l'attenzione andrà posta verso tutte le tecnologie di produzione dell'idrogeno la cui complessità e diversificazione dei processi, impone di definire procedure per validazione e certificazione sia della qualità del prodotto sia con riferimento agli aspetti legati alla sicurezza.

WP1.3 – LA1.3.1

Definizione di procedure sperimentali per la qualifica delle prestazioni di celle e moduli a ossidi solidi commerciali operanti in modalità elettrolitica

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 75.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 24.730,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 399.730,00

Descrizione:

La seguente linea di attività si pone lo scopo di strutturare delle procedure standardizzate e quanto più possibile ripetibili per la quantificazione delle performance di celle a ossidi solidi utilizzate per la produzione di idrogeno (SOEC). Tali procedure riguarderanno sia l'operazione statica che quella dinamica di celle e piccoli moduli (3-5 celle in serie) SOEC, includendo le specifiche dei sistemi di testing, della modalità di operazione (statica o dinamica), delle condizioni operative e delle tecniche di caratterizzazione elettrochimica, quali curve di polarizzazione (IV) e spettroscopia di impedenza elettrochimica (EIS), con lo scopo di fornire un protocollo robusto, armonico, di semplice utilizzo e che consenta un confronto diretto tra le prestazioni di sistemi sviluppati e caratterizzati in contesti differenti. Le procedure prenderanno in considerazione tutte le condizioni operative più rilevanti per i sistemi SOEC, quali composizione e portata dei gas in ingresso, livelli di pressione, temperature, carichi di corrente, livelli di voltaggio, carico meccanico, transienti dinamici, etc.

La linea di attività sarà articolata in diverse fasi:

- Revisione delle procedure esistenti ed eventualmente già implementate in ambito nazionale ed europeo. L'obiettivo sarà quello di produrre un primo protocollo di testing estrapolando, armonizzando e condensando quanto già esistente in un unico protocollo preliminare, che fornirà la base per lo sviluppo successivo delle procedure standardizzate. In questa fase, la verifica sperimentale della validità di tale protocollo preliminare sarà effettuata a livello di cella, ponendo l'attenzione principalmente sull'armonizzazione della nomenclatura, sui parametri e sulle condizioni di misura per le tecniche di caratterizzazione elettrochimica, e sull'analisi e la valutazione dei dati ottenuti.
- Definizione e validazione sperimentale di una prima versione dei protocolli di testing per moduli SOEC. Quanto fornito dalla prima fase a livello di cella, verrà implementato nelle procedure per moduli SOEC, le quali prenderanno in considerazione ulteriori parametri critici prettamente di interesse a livello di sistema. Le procedure di testing saranno quindi indirizzate a valutare l'impatto della gestione delle temperature e dei flussi di gas, delle pressioni, delle composizioni e della purezza dei gas di alimentazione, delle prestazioni elettrochimiche e della stabilità delle stesse nel tempo. La validazione sperimentale di questi protocolli avrà come oggetto di testing piccoli moduli SOEC (3-5 celle) le cui prestazioni verranno analizzate sia in condizioni di produzione stazionaria di idrogeno, sia in condizioni dinamiche di profili di corrente, contenenti carichi parziali (con bassa produzione di idrogeno) e picchi di corrente (produzione massima di idrogeno) che simulino profili caratteristici delle RES (eolico/solare).
- I risultati ottenuti dal testing dei moduli saranno analizzati al fine di produrre una versione consolidata di procedure sperimentali, apportando modifiche mirate ai protocolli ed atte a incrementare l'affidabilità e riproducibilità dei test proposti.
- La valutazione sperimentale dei protocolli consolidati sarà condotta sui moduli SOEC da laboratorio analoghi a quelli testati nella seconda fase, portando alla redazione della versione definitiva dei protocolli di testing armonizzati.

Risultati attesi:

M1.3.1.1 [M12]	Definizione ed armonizzazione dei parametri operativi per celle sistemi SOEC, a partire da una revisione dei protocolli attualmente esistenti in letteratura.
M1.3.1.2 [M24]	Definizione di procedure standardizzate per l'esecuzione di misure elettrochimiche, quali curve IV ed EIS, e per l'analisi e l'interpretazione dei risultati ottenuti, verificando la conformità di tali procedure attraverso test di laboratorio su campioni di celle singole ad ossidi solidi operanti in modalità elettrolisi, in numero statisticamente rilevante.
M1.3.1.3 [M42]	Definizione e conseguente validazione sperimentale di procedure per il testing armonizzato di moduli SOEC per la valutazione delle prestazioni nominali, per la valutazione della stabilità delle prestazioni e per la valutazione delle prestazioni in regime dinamico.

Output:

D1.3.1.1 [M12]	Protocolli di testing: armonizzazione dei parametri operativi e standardizzazione delle condizioni per i test elettrochimici
D1.3.1.2 [M12]	Rapporto Tecnico "Validazione del protocollo preliminare"
D1.3.1.3 [M24]	Redazione protocolli preliminari di testing armonizzati per moduli SOEC
D1.3.1.4 [M30]	Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale dei protocolli preliminari di testing armonizzati per moduli SOEC"
D1.3.1.5 [M36]	Redazione protocolli di testing armonizzati per moduli SOEC

- D1.3.1.6 [M42] Rapporto Tecnico “Validazione sperimentale dei protocolli di testing armonizzati per moduli SOEC”
- D1.3.1.7 [M42] Rapporto Tecnico “Protocolli di testing armonizzati per moduli SOEC”

TRL (inizio-fine): 3-5

WP1.3 – LA1.3.2

Protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi per l'elettrolisi, processi catalitici di gassificazione e reforming, processi biologici e fotoelettrochimici, fotocatalitici e relativa validazione in laboratorio

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Antonino Aricò

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 60.200,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 8.250,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 8.250,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 3.300,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 80.000,00

Descrizione attività:

Nel 1° anno, le attività saranno indirizzate a definire un set di metodologie di caratterizzazione ex situ per materiali funzionali quali catalizzatori, elettrocatalizzatori, semiconduttori, elettroliti, materiale biologico, substrati e biomassa utili per i processi di gassificazione etc. Per ogni tipologia di materiale funzionale si procederà alla standardizzazione delle metodologie per le misure più rilevanti.

I protocolli per la caratterizzazione dei materiali riguarderanno le proprietà chimiche, fisiche morfologiche, strutturali e di superficie. La caratterizzazione ex situ e lo screening dei materiali funzionali includeranno test di attività catalitica, fotocatalitica, attività biologica, e caratterizzazione elettrochimica quali test elettrochimici condotti in semicella. Per le prove elettrochimiche ex situ, l'attività è rivolta alla definizione di protocolli di misura per voltammetria ciclica, curve di polarizzazione e spettroscopia di impedenza con la determinazione dei parametri caratteristici. Sarà importante l'identificazione di test accelerati supportati da analisi ex situ post-operation, per valutare la degradazione della fase attiva del materiale funzionale.

Nel secondo anno, verranno specificati protocolli per la determinazione delle proprietà rilevanti dei componenti utilizzati nei diversi processi e procedure accelerate per valutare la stabilità dei componenti. Questi includono per le tecnologie di elettrolisi ed elettroreforming assemblati elettrodo-elettrolita, letti catalitici per i processi di catalisi, interfacce semiconduttore –elettrolita per processi fotoelettrochimici, etc.

Per gli assemblati elettrodi-elettrolita, oltre alla caratterizzazione ex-situ, saranno sviluppati protocolli specifici per le misure di polarizzazione, stabilità, analisi del cross over e test accelerati per valutare la durata (2° anno).

Lo studio dei processi di conversione diretta delle biomasse in idrogeno attraverso la gassificazione sarà approntato anche attraverso la stesura e definizione di un protocollo che definirà le procedure da eseguire nelle diverse fasi di analisi sperimentale. In particolare, il protocollo sarà articolato in: i) Caratterizzazione chimico-fisica della biomassa/materiale grezzo di alimentazione ii) Testing catalitici di gassificazione di biomasse in micro-reattori a letto fisso, iii) Testing catalitici di gassificazione di biomasse in reattori a letto fluido

Tale fase di testing permetterà di ottimizzare il processo di conversione diretta di biomasse in idrogeno sia dal punto di vista del processo che dello sviluppo dei materiali catalitici selezionati e/o sintetizzati ad hoc.

Approcci simili saranno sviluppati per i processi biologici e fotocatalitici in riferimento alle caratteristiche specifiche e alle condizioni di operatività.

Saranno successivamente sviluppati al 3° anno protocolli per la valutazione dei prototipi e dei sistemi catalitici. I prototipi includono reattori catalitici, reattori biologici, dispositivi fotoelettrochimici e fotocatalitici e stack di celle di elettrolisi. Saranno delineate procedure di test per quanto riguarda le prestazioni, la durata e il comportamento dinamico con riferimento alle differenti applicazioni. Saranno messe a punto procedure di diagnostica in situ con l'utilizzo di metodi spettroscopici.

Nella fase finale dell'attività (4° anno) si affronterà lo sviluppo di protocolli per la validazione di sistemi catalitici, biologici, fotocatalitici completi, di sistemi di elettrolisi per le diverse applicazioni insieme a procedure rigorose per determinare l'efficienza, la stabilità e il comportamento dinamico in condizioni operative.

Risultati attesi:

M1.3.2.1 [M3]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per materiali funzionali per processi di produzione di idrogeno verde
M1.3.2.2 [M12]	Validazione delle procedure di test per materiali funzionali per processi di produzione di idrogeno verde
M1.3.2.3 [M15]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per componenti utilizzati in processi di produzione di idrogeno verde
M1.3.2.4 [M24]	Validazione delle procedure di test di componenti utilizzati in processi di produzione di idrogeno verde
M1.3.2.5 [M30]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
M1.3.2.6 [M36]	Validazione delle procedure di test per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
M1.3.2.7 [M40]	Validazione delle procedure di test per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
M1.3.2.8 [M42]	Validazione delle procedure di test per sistemi completi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche

Output:

D1.3.2.1 [M3]	Relazione su protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per materiali funzionali per processi di produzione di idrogeno verde
D1.3.2.2 [M12]	Relazione sulle procedure di test per materiali funzionali per processi di produzione di idrogeno verde
D1.3.2.3 [M15]	Relazione sui protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per componenti utilizzati in processi di produzione di idrogeno verde
D1.3.2.4 [M24]	Relazione sulle procedure di test di componenti utilizzati in processi di produzione di idrogeno verde
D1.3.2.5 [M30]	Relazione sui protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche

D1.3.2.6 [M36]	Relazione sulle procedure di test per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
D1.3.2.7 [M40]	Relazione sulle procedure di test per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
D1.3.2.8 [M42]	Relazione sulle procedure di test per sistemi completi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche

TRL (inizio-fine): 2-4

WP1.3 - LA1.3.3

Analisi e ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno, per diverse tecnologie ed in diverse configurazioni che prevedono l'integrazione con fonte solare

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Claudia Bassano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 35.224,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 101.948,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 67.497,88

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 36.856,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 241.525,88

Descrizione attività:

L'attività sarà rivolta allo sviluppo di un apposito strumento (modello) per l'analisi costi/benefici (costi/prestazioni). Il modello sarà in un primo tempo arricchito con i dati, presenti ed attesi, per i diversi sistemi di produzione, con diverse tecnologie (e.g., elettrolisi, fotolisi, cicli termo-chimici), diversi lay-out progettuali e diversa potenzialità produttiva (economie di scala). Particolare attenzione sarà posta nella definizione di costi e benefici esterni al sistema analizzato.

Il modello consentirà l'integrazione di tecnologie solari (i.e., fotovoltaico, solare a concentrazione, etc.) per la produzione di energia primaria, nonché la possibilità di studiare configurazioni on-grid (per il contesto italiano) e off-grid, con l'obiettivo di valutare anche gli effetti dell'applicazione del "principio di addizionalità" (per le fonti rinnovabili adottate) e dei criteri di "correlazione geografica e temporale" (tra la fonte rinnovabile ed il sistema di produzione dell'idrogeno) attualmente in discussione in ambito europeo.

Poiché l'ottimizzazione del costo di produzione può dipendere in misura significativa anche dalla presenza di sistemi di accumulo e dall'uso finale del vettore, il modello terrà conto, in termini economici, anche della loro eventuale presenza. Il modello, inoltre, consentirà la valutazione delle prestazioni tecniche e dei costi di investimento e di esercizio specifici di tutti i componenti e sistemi. Durante le analisi di ottimizzazione il modello verrà applicato ad almeno cinque tecnologie rappresentative tra quelle maggiormente emergenti in diversi ambiti di uso finale e potenziale produttivo, che potranno essere selezionate anche sulla base delle risultanze di altre LA afferenti al progetto stesso. Ciascuna di queste tecnologie sarà anche studiata ed analizzata con uno o più sistemi di accumulo per individuare la configurazione che minimizza il costo di produzione dell'idrogeno, attraverso l'incremento del load factor degli elettrolizzatori.

Si prevede di avviare una collaborazione con una Università, con comprovata esperienza e competenza sulla tematica specifica, per attività di ricerca finalizzate alla individuazione e definizione di casi studio rappresentativi della produzione di idrogeno su grande scala.

Risultati attesi:

I risultati attesi consistono in indicazioni quantitative e tendenziali sull'ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno per le maggiori tecnologie emergenti (e.g., elettrolisi, fotolisi, cicli termochimici, ecc.), con diversi lay-out progettuali e diversa potenzialità produttiva (economie di scala).

M1.3.3.1 [M12]	Raccolta dati per le tecnologie selezionate ed integrazione nel modello di calcolo
M1.3.3.2 [M24]	Applicazione del modello di analisi per l'ottimizzazione delle configurazioni base per le varie tecnologie di produzione
M1.3.3.3 [M36]	Aggiornamento dati ed applicazione del modello a configurazioni con uno o più sistemi di accumulo
M1.3.3.4 [M36]	Identificazione e caratterizzazione di casi studio di utilizzo del vettore idrogeno di particolare rilevanza nel contesto italiano
M1.3.3.5 [M42]	Identificazione delle migliori tecnologie e configurazioni per diversi profili di utilizzo del vettore idrogeno prodotto, nel contesto italiano (definito dagli scenari energetici ufficiali)

Output:

D1.3.3.1 [M24]	Rapporto Tecnico "Ottimizzazione delle configurazioni base per le principali tecnologie di produzione dell'idrogeno"
D1.3.3.2 [M36]	Rapporto Tecnico "Ottimizzazione di configurazioni diverse da quella base per le principali tecnologie di produzione dell'idrogeno. Integrazione con sistemi di accumulo"
D1.3.3.3 [M36]	Selezione e caratterizzazione di casi studio di utilizzo del vettore idrogeno di particolare rilevanza nel contesto italiano.
D1.3.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Selezione delle migliori tecnologie e configurazioni per diversi profili di utilizzo del vettore idrogeno prodotto, nel contesto italiano"

TRL (inizio-fine): 4-5

WP1.3 – LA 1.3.4***Analisi di sostenibilità ed elaborazione di scenari energetici relativi a processi di produzione di idrogeno***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alessandro Agostini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 87.341,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 93.543,97

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 85.293,97

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 63.670,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 329.848,94

Descrizione attività:

L'attuazione di un'economia dell'idrogeno presenta ancora diverse sfide dal punto di vista della maturità tecnologica (TRL), e sistemica (IRL, Integration Readiness Level e MRL, Manufacturing Readiness Level), lo sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno deve essere guidato in modo che le tecnologie stesse siano desiderabili e accettabili dalla società.

Occorre quindi un approccio di eco-design nello sviluppo delle tecnologie di produzione dell'idrogeno affinché queste superino la cosiddetta 'valle della morte' dello sviluppo tecnologico e vengano adottate dalla società su larga scala. Ciò che rende le tecnologie desiderabili dalla società è la loro sostenibilità. Sostenibilità da intendere inclusiva di tutti i pillars, economico, sociale ed ambientale.

A tal fine, in questa linea di attività verranno elaborate valutazioni della sostenibilità delle tecnologie sviluppate nelle altre linee di attività nel progetto (quelle che saranno ad un grado di maturità tale da consentire l'elaborazione di bilanci di massa ed energia per l'intera filiera), al fine di caratterizzarle dal punto di vista economico, ambientale e sociale, e identificare le soluzioni più sostenibili, anche in confronto di tecnologie alternative presenti sul mercato per la produzione di idrogeno.

L'analisi dell'impatto ambientale e sulla salute seguirà un approccio basato sull'analisi del ciclo di vita (LCA) e comprenderà una prospettiva dalla culla al cancello. Le categorie di impatto ambientale esaminate includeranno il cambiamento climatico, il consumo di risorse (fossili o abiotiche), emissioni di PM, eutrofizzazione, creazione di ozono fotochimico, riduzione dello strato di ozono e altre categorie di impatto per le quali i metodi di valutazione dell'impatto e la qualità dei dati saranno considerati sufficientemente solidi da trarre conclusioni significative. Il software utilizzato sarà Gabi.

La sostenibilità sociale delle tecnologie sviluppate verrà valutata applicando la metodologia raccomandata da UNEP per la social LCA. La quantificazione dell'impatto sociale verrà elaborata in modo quantitativo per quanto possibile con l'utilizzo del Social Hotspot DataBase integrato in Simapro.

Verrà eseguita un'analisi di sensitività sui parametri che influenzano maggiormente i risultati, unitamente all'analisi delle combinazioni di sistemi più performanti con un apposito approccio all'eco-design. La LCA verrà eseguita utilizzando il software commerciale Gabi.

La sostenibilità economica delle tecnologie di produzione di idrogeno sviluppate dalle altre linee di attività di questo WP verrà valutata attraverso l'elaborazione di indicatori economici quali il costo livellato dell'idrogeno (Levelized Cost of Hydrogen - LCOH), ed il valore attuale netto (NPV), il tasso di ritorno interno (IRR), quando tali valutazioni saranno possibili in riguardo alla maturità della tecnologia e della relativa filiera ed i dati resi disponibili dai responsabili delle altre linee di attività di questo WP.

I risultati verranno presentati in comparazione a tecnologie alternative e/o convenzionali.

Al fine di valutare il potenziale realizzativo delle tecnologie di produzione di idrogeno nei vari settori dell'economia, ed il loro impatto, verranno elaborati scenari di penetrazione delle diverse tecnologie e applicazioni per la produzione di idrogeno attraverso l'utilizzo del TIMES Italia.

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione del Politecnico di Torino gruppo di ricerca MAHTEP, in considerazione delle consolidate competenze ed esperienze sul tema specifico, per la creazione di moduli relativi all'industria e alla catena dell'idrogeno, da utilizzare nello sviluppo di modelli e scenari.

Risultati attesi:

M1.3.4.1 [M12]

Metodologia, software e gestione dati: Per la valutazione di sostenibilità sarà definito l'approccio metodologico da adottare sulla base delle più recenti raccomandazioni delle istituzioni internazionali, principalmente ISO e ILCD/PEF per la valutazione LCA ambientale e le linee guida UNEP per l'LCA sociale.

Sulla base delle metodologie individuate, verrà impostato un quadro chiaro e conciso per la raccolta dei dati dalle altre linee di attività del WP1, al fine di

snellire lo scambio di dati e garantire la completezza e la coerenza nei dati raccolti. Questa attività iniziale coopererà con le LA 2.5.4 e 3.5.4 nella definizione di una metodologia consistente per la valutazione della sostenibilità delle varie fasi di produzione ed utilizzo dell'idrogeno. L'attività del primo anno sarà inoltre finalizzata alla realizzazione della infrastruttura software (PC, licenze dei modelli utilizzati, competenze e databases) necessaria alle elaborazioni che avverranno negli anni successivi, con la fornitura dei primi risultati da parte delle altre linee di attività seguendo l'approccio definito in questa linea di attività.

Verrà inoltre definito un quadro metodologico per la gestione e la pubblicazione dei dati.

M1.3.4.2 [M12] Raccolta dati, valutazione preliminare della sostenibilità di alcune filiere con identificazione delle linee di sviluppo più sostenibili e elaborazione di scenari di penetrazione dell'idrogeno nel sistema energetico nazionale: il secondo anno di attività sarà dedicato alla raccolta dei risultati preliminari, ove disponibili, e alla realizzazione degli inventari e modelli delle singole tecnologie sviluppate ed al loro utilizzo per valutare le performances ambientali, economiche e sociali delle tecnologie sviluppate nelle altre linee di attività del WP1, con un approccio di eco-design, al fine di identificare le opzioni di sviluppo più sostenibili, e quindi desiderabili dalla società. Le tecnologie di produzione dell'idrogeno verranno inoltre dettagliate maggiormente in TIMES-Italia.

M1.3.4.3 [M36] Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di produzione idrogeno sviluppate nel progetto, e aggiornamento degli scenari di penetrazione dell'idrogeno nel sistema energetico nazionale: il terzo anno di attività sarà dedicato alla raccolta dei risultati finali delle sperimentazioni, ove disponibili, e alla loro messa in contesto in filiere di produzione dell'idrogeno, realizzando inventari e modelli delle intere filiere di produzione dell'idrogeno basate sulle tecnologie di produzione sviluppate nel progetto al fine di valutare le performances ambientali, economiche e sociali delle tecnologie sviluppate e fornire agli stakeholders ad ai policy makers dati accurati e robusti sulla sostenibilità dell'idrogeno.

M1.3.4.4 [M42] Valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di produzione dell'idrogeno, sintesi, conclusioni e raccomandazioni. Aggiornamento finale degli scenari di penetrazione dell'idrogeno nel sistema energetico nazionale: il periodo finale di attività sarà dedicato alla finalizzazione delle valutazioni di sostenibilità per quelle linee di attività non ancora completate ed alla sintesi dei risultati ottenuti in un database strutturato aperto al pubblico e alla elaborazione di documenti di sintesi contenenti conclusioni e raccomandazioni per gli operatori economici e policy makers.

Output:

D1.3.4.1 [M12] Rapporto Tecnico "Definizione dell'approccio metodologico per LCA, SLCA e valutazione economica. Definizione delle filiere da modellare, delle necessità di dati da raccogliere, delle potenziali elaborazioni"

D1.3.4.2 [M12] Realizzazione della suite modellistica necessaria alla valutazione della sostenibilità e alla modellazione degli scenari energetici di produzione di idrogeno

D1.3.4.3 [M24]	Rapporto Tecnico “Validazione della metodologia e della suite informatica, risultati preliminari per alcune filiere”. I modelli informatici e la metodologia definita sono validati con l’utilizzo dei primi dati raccolti secondo quanto definito in D1.3.4.1: Valutazione della sostenibilità e indicazioni di eco-design per le linee di attività corrispondenti a filiere per cui saranno disponibili dati preliminari
D1.3.4.4 [M24]	Rapporto Tecnico “Scenari energetici preliminari”. Elaborazione di scenari energetici nazionali con variabili livelli di penetrazione dell’idrogeno in diversi settori
D1.3.4.5 [M36]	Rapporto Tecnico “Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di produzione di idrogeno”. Inventari e modelli della maggior parte delle tecnologie sviluppate completati e analizzati per quanto riguarda gli aspetti sociali, ambientali ed economici. Indicazioni finali di eco-design
D1.3.4.6 [M36]	Rapporto Tecnico “Aggiornamento scenari energetici”. Aggiornamento degli scenari energetici nazionali di penetrazione dell’idrogeno in diversi settori dell’economia
D1.3.4.7 [M42]	Rapporto Tecnico “Valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di produzione di idrogeno, sintesi dei risultati in conclusioni e raccomandazioni”. Inventari e modelli della maggior parte delle tecnologie sviluppate completati e analizzati per quanto riguarda gli aspetti sociali, ambientali ed economici con valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di produzione dell’idrogeno
D1.3.4.8 [M42]	Rapporto Tecnico “Aggiornamento finale scenari energetici”. Aggiornamento finale degli scenari energetici nazionali di penetrazione dell’idrogeno in diversi settori dell’economia e sintesi dei risultati

TRL (inizio-fine): 3-5

WP1.3 – LA1.3.5

Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie di produzione idrogeno.

Organizzazione di Summer School tematiche

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Paola Gislon

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 82.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 332.000.00

Descrizione attività:

La transizione energetica richiede indubbiamente investimenti, oltre che nello sviluppo tecnologico, anche nelle azioni culturali rivolte ai cittadini, dai più giovani che stanno crescendo in un mondo sempre più sostenibile, ai ragazzi che devono decidere quale percorso di studi intraprendere, fino agli adulti cui dev’essere fornita l’opportunità di aggiornare le proprie competenze.

La presente attività ha dunque, come scopo principale, la formazione, oltre che la comunicazione e la diffusione degli obiettivi e delle attività del progetto e dei risultati ottenuti, al fine di garantire il massimo impatto nei diversi settori interessati (ricerca, industria, decisori politici e società civile). Le attività di formazione saranno promosse attraverso diversi canali, quali incontri tematici o workshop. Saranno organizzati percorsi formativi, con cicli di incontri e lezioni sia teoriche/virtuali sia in presenza presso i laboratori dei diversi Centri di Ricerca dell'ENEA. In particolare, si metteranno a disposizione le infrastrutture della Hydrogen demo Valley (in fase di realizzazione presso il CR ENEA Casaccia) e della Smart Grid (in fase di realizzazione presso il CR ENEA di Portici) finanziate in ambito Mission Innovation, promuovendo visite guidate indirizzate sia ad esperti dell'industria e del settore normativo, sia a studenti di diverso ordine e grado, al fine di formare nuovi operatori per la gestione delle nuove tecnologie, Infine, si prevede di organizzare annualmente una "Summer School" dedicata ai temi afferenti alla filiera dell'idrogeno presso il C.R. ENEA della Casaccia indirizzata a laureati, italiani e stranieri, che hanno iniziato un percorso di specializzazione, come dottorandi, post-doc, e ricercatori. Sono ricomprese nella presente LA anche tutte le azioni connesse alla divulgazione e condivisione dei risultati anche con i co-realizzatori, al fine massimizzare la sinergia tra i diversi ambiti di sviluppo. In particolare, le attività afferenti alla LA1.3.5 saranno focalizzate su tutte le tecnologie per la produzione di idrogeno verde. Si prevede di attivare una collaborazione con l'Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, per l'organizzazione di Master universitari e corsi specifici sul tema del trasporto e accumulo di idrogeno, in considerazione dell'esperienza consolidata sulla tematica in oggetto.

Risultati attesi:

M1.3.5.1 [M9]	Definizione programmi di formazione
M1.3.5.2 [M12]	Organizzazione della prima Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi
M1.3.5.3 [M24]	Organizzazione della seconda Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi
M1.3.5.4 [M36]	Organizzazione della terza Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi

Output:

D1.3.5.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 1° anno"
D1.3.5.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 2° anno"
D1.3.5.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 3° anno"
D1.3.5.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sui temi del trasporto e accumulo di idrogeno"

TRL (inizio-fine): n.a.

WP1.3 – LA1.3.6

Sviluppo di programmi di formazione per portare ad una filiera integrata di competenze e per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della produzione di idrogeno verde

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Alessandra Sanson

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 97.415,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 58.727,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 57.543,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): €26.315,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 240.000,00

Descrizione attività:

Per un corretto sviluppo dell'economia dell'idrogeno è necessario favorire la formazione di figure professionali di filiera sul settore, da tecnici diplomati a laureati fino a responsabili di settori privati interessati all'introduzione delle diverse tecnologie. Per questo motivo l'attività prevede sviluppo di programmi di formazione (corsi, workshop e giornate formative) lungo tutti i vari stadi dell'educazione scolastica per portare ad una filiera integrata di competenze che vadano sia dalla formazione tecnica (istituti superiori) che Universitaria per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica. Sono previsti quindi corsi per diplomati, laureati e studenti in dottorato, così come momenti di formazione per personale proveniente dal settore privato. L'attività prevede inoltre l'istituzione di dottorati industriali e il reclutamento di specifico personale mediante borse ed assegni di ricerca per essere formato ed al contempo poter collaborare al progetto di ricerca nel settore produzione di idrogeno aperta a vari tipi di laureati in discipline scientifiche ed eventualmente anche economiche per attività specifiche quali life cycle analysis e cost-assessment. Il fine della formazione è consentire di acquisire le competenze necessarie sulle nuove tecnologie di produzione di idrogeno per potersi efficacemente proporre alle aziende che operano in campo energetico e nel mercato della ricerca. A questo scopo verranno studiati programmi di formazione specifici per le diverse fasce di età e esperienza che permettano la formazione delle diverse figure professionali necessarie al settore.

Nei programmi di formazione per studenti in discipline scientifiche si renderà necessaria al primo anno una prima fase didattica durante la quale saranno trattati i contenuti di base della Chimica, dell'Elettrochimica, della Fisica, dei Reattori Chimici e dei Fenomeni di Trasporto che sono essenziali alla comprensione degli argomenti previsti nella successiva fase di alta formazione che si articolerà negli anni successivi attraverso la collaborazione diretta alle attività progettuali. Ciò permetterà il raggiungimento di una certa uniformità nel "background" culturale dei formandi. Un approccio simile sarà adottato per i laureati nelle discipline economiche. I contenuti prevedono non solo i fondamenti dell'elettrochimica, dei processi catalitici, della caratterizzazione chimico-fisica ma anche nozioni specifiche sulle tecnologie di produzione di idrogeno verde.

Saranno trattati in particolare i materiali funzionali, l'elettrolisi, i processi di reforming e gassificazione, i processi catalitici e fotocatalitici, i processi biologici etc. Sarà inoltre trattata con i formandi la "programmazione e gestione dei progetti di Ricerca". I seminari saranno svolti da esperti provenienti da diversi istituti del CNR coinvolti nel progetto e saranno organizzati seminari che prevederanno possibilmente anche rappresentanti del mondo universitario ed industriale.

Negli anni successivi il training dei formandi riguarderà le attività specifiche di progetto e si consentirà loro di acquisire competenze dirette sull'uso delle tecniche di caratterizzazione chimico-fisica, catalitica, elettrochimica e si darà loro la possibilità di partecipare allo sviluppo dei prototipi e dei sistemi. Un aspetto rilevante riguarda la possibilità di dare ai formandi l'opportunità di presentare le loro attività nelle conferenze più importanti del settore.

Per i dottorati industriali si stabiliranno convenzioni con università specifiche al fine di consentire ai formandi di acquisire il titolo alla fine del loro percorso di formazione.

Programmi specifici saranno sviluppati per diplomati che permettano una formazione più pratica mentre per il personale privato verranno inseriti anche nozioni più generali legati all'economia dell'idrogeno e alle politiche e normative connesse.

Risultati attesi:

M1.3.6.1 [M12]	Selezione e stipula di almeno 4 contratti complessivi per dottorati industriali o assegnisti
M1.3.6.2 [M12]	Nozioni di base e specifiche su produzione di idrogeno verde fornite ai formandi
M1.3.6.3 [M24]	Realizzazione di programmi definiti per studenti diplomati con competenze tecnico scientifico ed economiche
M1.3.6.4 [M24]	Coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche per la produzione di idrogeno verde a partire da processi elettrochimici, catalitici, biologici, fotocatalitici etc.
M1.3.6.5 [M36]	Prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
M1.3.6.6 [M36]	Realizzazione di programmi definiti per laureati e studenti di dottorato con competenze tecnico scientifico ed economiche
M1.3.6.7 [M42]	Realizzazione di programmi definiti per personale proveniente dal settore privato
M1.3.6.8 [M42]	Prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative per la produzione di idrogeno verde inclusi i dottorati industriali e gli assegnisti.

Output:

D1.3.6.1 [M9]	Relazione sui contratti stipulati con i formandi
D1.3.6.2 [M12]	Relazione sulle nozioni di base fornite su produzione di idrogeno verde ai formandi
D1.3.6.3 [M24]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per diplomati in materie tecnico scientifiche ed economiche
D1.3.6.4 [M24]	Relazione sulle attività progettuali dei formandi in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche per la produzione di idrogeno verde a partire da processi elettrochimici, catalitici, biologici, fotocatalitici etc.
D1.3.6.5 [M36]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per laureati e studenti di dottorati in materie tecnico scientifiche ed economiche
D1.3.6.6 [M36]	Relazione sulle attività progettuali dei formandi con valutazione intermedia delle competenze acquisite
D1.3.6.7 [M42]	Relazione sulla formazione finale delle figure professionali nei settori della progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative per la produzione di idrogeno verde inclusi i dottorati industriali e gli assegnisti.
D1.3.6.8 [M42]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per personale del settore privato

TRL (inizio-fine): n.a.

Tabella riassuntiva LA e prodotti della ricerca (Obiettivo 1)

Obiettivo 1 - Produzione di idrogeno verde e pulito Responsabile ENEA			
WP (3)/LA (51)	Resp.	Titolo Deliverable	
WP1.1 - Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni (n° 37 LA) TRL 1-5	ENEA		
WP1.1 – LA.1.1.1 Sviluppo di nuove geometrie per elettrolizzatori alcalini a gap zero TRL 2-3	ENEA	D1.1.1.1 [M12] D1.1.1.2 [M12] D1.1.1.3 [M42] D1.1.1.4 [M42]	Rapporto "Configurazioni geometriche realizzabili con le tecnologie di produzione adottate o in via di adozione per elettrolizzatori alcalini avanzati" Rapporto "Applicazione di un modello predittivo 0-D a casi di letteratura per configurazioni gap-zero per elettrolizzatori alcalini avanzati" Rapporto "Ottimizzazione della configurazione di una cella elettrolitica di tipo gap-zero per elettrolizzatori alcalini avanzati" Rapporto "Progettazione e simulazione numerica di uno stack per elettrolisi alcalina avanzata"
WP1.1 – LA 1.1.2 Sviluppo elettrolizzatori alcalini ad alte prestazioni TRL 2-4	ENEA	D1.1.2.1 [M12] D1.1.2.2 [M24] D1.1.2.3 [M36] D1.1.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Analisi delle criticità del sistema alcalino per l'elettrolisi dell'acqua in pressione" Prototipo monocella AEL ad alte prestazioni Prototipo stack AEL ad alte prestazioni Rapporto Tecnico "Analisi delle prestazioni dello stack AEL"
WP1.1 – LA1.1.3 Sviluppo di catalizzatori e metodi di produzione di elettrodi catalizzati per elettrolizzatori alcalini e a membrana TRL 2-4	ENEA	D1.1.3.1 [M42] D1.1.3.2 [M42]	Rapporto Tecnico "Produzione di catalizzatori per elettrolisi attraverso spray pirolisi a fiamma" Testing elettrochimico completo di catalizzatori catodici per spray pirolisi a fiamma e a plasma
WP1.1 – LA1.1.4 Sviluppo di processi di preparazione di membrane a scambio anionico e relativi ionomeri a basso costo TRL 2-4	ENEA	D1.1.4.1 [M12] D1.1.4.2 [M24] D1.1.4.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Sintesi di ionomeri a base di polichetone funzionalizzato" Rapporto Tecnico "Sintesi di membrane anioniche a partire dai corrispondenti ionomeri" Rapporto Tecnico "Testing meccanico ed elettrochimico in celle elettrolisi scala laboratorio"
WP1.1 – LA 1.1.5 Sviluppo di elettrolizzatori in pressione a membrana anionici TRL 2-4	ENEA	D1.1.5.1 [M14] D1.1.5.2 [M14] D1.1.5.3 [M14] D1.1.5.4 [M26]	Rapporto Tecnico "Analisi criticità sistema AEM per l'elettrolisi dell'acqua in pressione" Modello energetico di uno stack AEM Modello termomeccanico di uno stack AEM Prototipo monocella AEM ad alta pressione

		D1.1.5.5 [M36] D.1.1.5.6 [M40] D.1.1.5.7 [M42]	Prototipo stack AEM ad alta pressione Rapporto Tecnico “Dimensionamento BoP dello stack AEM” Rapporto Tecnico “Analisi delle prestazioni dello stack AEM in pressione”
WP1.1 – LA 1.1.6 Sviluppo di materiali e componenti non contenenti materiali critici per elettrolizzatori anionici (AEM) operanti anche ad elevata pressione differenziale TRL 2-4	CNR	D1.1.6.1 [M3] D1.1.6.2 [M6] D1.1.6.3 [M12] D1.1.6.4 [M15] D1.1.6.5 [M18] D1.1.6.6 [M21] D1.1.6.7 [M24] D1.1.6.8 [M27] D1.1.6.9 [M30] D1.1.6.10 [M39] D1.1.6.11 [M42]	Sintesi di almeno un batch di catalizzatori per HER, OER in ambiente alcalino con caratterizzazione morfologico/strutturale di catalizzatori per evoluzione di idrogeno in elettrolisi alcalina a membrana. Sintesi e caratterizzazione fondamentale dei primi batch di membrane AEM Sintesi e caratterizzazione morfologico strutturale di catalizzatori per l’evoluzione di ossigeno (almeno 4 tipologie) e di idrogeno (almeno 4 tipologie) e membrane (almeno 4 tipologie) per operazioni in ambiente alcalino Rapporto tecnico sullo stato di avanzamento della sintesi di membrane composite ed a base di nanocellulosa Rapporto tecnico sulla caratterizzazione elettrochimica fondamentale dei catalizzatori per HER e OER in ambiente alcalino Rapporto tecnico sulla selezione delle migliori membrane e dei migliori elettrocatalizzatori da impiegarsi nella fabbricazione di assemblati membrana elettrodo Protocollo per la preparazione delle MEA con le membrane ed i catalizzatori assemblati nel corso dell’attività Produzione e analisi delle performance di almeno sei tipologie di MEA basate sui catalizzatori e membrane selezionati Analisi delle performance e caratterizzazione morfologico/strutturale delle tipologie di MEA in elettrolizzatore da 6 cm ² con selezione di 2 MEA da impiegarsi nei test con elettrolizzatore da 50 cm ² Test di invecchiamento accelerati e analisi delle performance delle celle elettrolitiche da 50 cm ² e di stack alimentati con sequenze che simulano le condizioni di alimentazioni tipiche delle applicazioni reali Relazione finale del progetto: Principale risultati ottenuti e benchmarking dei risultati con lo stato dell’arte
WP1.1 – LA 1.1.7 Sviluppo di materiali e componenti con ridotto contenuto di metalli preziosi per elettrolizzatori protonici (PEM) basati su membrane innovative operanti anche ad elevata pressione differenziale TRL 3-4	CNR	D1.1.7.1 [M9] D1.1.7.2 [M12] D1.1.7.3 [M12] D1.1.7.4 [M18] D1.1.7.5 [M24] D1.1.7.6 [M30] D1.1.7.7 [M36] D1.1.7.8 [M42]	Protocollo per la preparazione di membrane PEM a matrice mista Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori per l’evoluzione di idrogeno per elettrolisi PEM Sviluppo e caratterizzazione di catalizzatori per l’evoluzione di ossigeno per elettrolisi PEM” Protocolli di Test elettrochimici per celle singole Data-set attività catalitica, proprietà elettrochimiche e stabilità MEAs sviluppati Ottimizzazione e scale-up componenti per elettrolizzatori avanzati Protocolli di Test elettrochimici per short stack Validazione prestazioni e stabilità in stack da 3 celle in elettrolisi PEM
WP1.1 – LA1.1.8 Sviluppo, caratterizzazione e ottimizzazione dei processi di elettrolisi convenzionale e alternativa	ENEA	D1.1.8.1 [M12] D1.1.8.2 [M24] D1.1.8.3 [M36]	Realizzazione del set-up per il multi-campionamento localizzato e relativo report tecnico sulla progettazione e validazione dello stesso Rapporto tecnico sulle performance e l’ottimizzazione dell’elettrolisi di vapore (SOEC) Rapporto tecnico sulle performance e l’ottimizzazione della co-elettrolisi di vapore e CO2 (co-SOEC)

in sistemi ad ossidi solidi per la produzione di idrogeno e syngas TRL 2-4		D1.1.8.4 [M42]	Rapporto tecnico sulle performance dell'elettrolisi assistita (SO FEC)
WP1.1 – LA1.1.9 Sviluppo e ottimizzazione di materiali, componenti e nuove architetture di cella per elettrolizzatori a carbonati fusi TRL 2-4	ENEA	D1.1.9.1 [M24] D1.1.9.2 [M42]	Rapporto Tecnico “Materiali e coatings innovativi per celle di elettrolisi a carbonati fusi e collettori” Rapporto Tecnico “Sviluppo e caratterizzazione di una cella di elettrolisi a carbonati fusi funzionante a media/bassa temperatura”
WP1.1 – LA1.1.10 Studio parametrico dei principali fenomeni chimico-fisici di elettrolizzatori a carbonati fusi alimentati da RES TRL 3-4	ENEA	D1.1.10.1 [M12] D1.1.10.2 [M24] D1.1.10.3 [M28] D1.1.10.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Definizione delle campagne sperimentali” Rapporto Tecnico “Risultati sperimentali ottenuti nella prima campagna di test mirata alla variazione dei parametri operativi in condizioni stazionarie” Rapporto Tecnico “Sviluppo del modello multiscala” Rapporto Tecnico “Risultati sperimentali ottenuti nella seconda campagna di test mirata all'identificazione dei principali fenomeni di degrado nel tempo”
WP1.1 – LA1.1.11 Sviluppo di materiali e componenti innovativi per elettrolisi di vapore in celle ad ossidi solidi operanti a temperatura intermedie (<750 °C) e validazione in dispositivi prototipali da laboratorio TRL 2-4	CNR	D1.1.11.1 [M6] D1.1.11.2 [M9] D1.1.11.3 [M12] D1.1.11.4 [M15] D1.1.11.5 [M18] D1.1.11.6 [M20] D1.1.11.7 [M30] D1.1.11.8 [M33] D1.1.11.9 [M39] D1.1.11.10 [M42] D1.1.11.11 [M42]	Rapporto tecnico “Data-sheet dei materiali più promettenti e delle architetture di cella attualmente stato dell'arte per applicazioni come H-SOEC” Prototipo di sospensioni a base di cerati-zirconati, idonee al processo di collaggio su nastro e serigrafia, per la realizzazione di semicelle elettrodo-supportate da utilizzarsi come riferimento Prototipo di semicelle elettrodo-supportate da utilizzarsi come riferimento Prototipo di Back-bone poroso/denso a base di cerati-zirconati e cella elettrodo supportata convenzionale Rapporto tecnico “Protocollo di produzione di un back-bone poroso/denso a base di cerati-zirconati mediante freeze-casting/serigrafia e di una cella elettrodo supportata attraverso processi convenzionali” Rapporto tecnico “Data sheet delle caratteristiche funzionali della cella convenzionale e delle semicelle prodotte” Rapporto tecnico “Protocollo di sintesi di materiali elettrodici ritenuti stato dell'arte idonei a processi di infiltrazione/impregnazione e data-sheet delle caratteristiche morfologiche/strutturali delle semicelle innovative” Rapporto tecnico “Data sheet delle caratteristiche funzionali di semicelle costituite da materiali ed architetture innovative e loro stabilità” Prototipo di cella innovativa completa costituita da un elettrodo supportante avente porosità direzionata Rapporto tecnico “Protocollo di produzione di sospensioni del contro elettrodo e di celle innovative complete” Rapporto tecnico “Data sheet delle caratteristiche funzionali di celle costituite da materiali ed architetture innovative”

WP1.1 – LA1.1.12 Valutazione delle prestazioni elettrochimiche di celle ad ossidi solidi operanti in modalità reversibile: quantificazione dei fenomeni di degrado e sviluppo di strategie di mitigazione TRL 3-5	ENEA	D1.1.12.1 [M24]	Rapporto Tecnico “Sviluppo di un tool numerico per l’analisi semi-quantitativa delle immagini SEM grazie all’implementazione di tecniche di analisi d’immagine (IAM)”
		D1.1.12.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Prima campagna sperimentale, per identificare i principali processi fisico-chimici limitanti nella operazione in modalità rSOC ed i principali fenomeni di degrado”
		D1.1.12.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Analisi e gestione ottimale del transitorio di switch SOEC/SOFC”
		D1.1.12.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Seconda campagna sperimentale di testing dinamico, in configurazioni di accoppiamento con RES”
WP1.1 – LA1.1.13 Test prestazionali stazionari e dinamici di elettrolizzatori innovativi nella test facility multienergy di RSE TRL 4-5	RSE	D.1.1.13.1 [M30]	Rapporto tecnico “Installazione di elettrolizzatori a bassa temperatura in applicazioni P2G da fonte eolica/solare”
		D.1.1.13.2 [M42]	Rapporto tecnico “sperimentazione di elettrolizzatori a bassa temperatura in applicazioni P2G da fonte eolica/solare”
WP1.1 – LA1.1.14 Studio e sviluppo di gassificazione O ₂ /vapore in reattore a letto fluidizzato TRL 2-4	ENEA	D1.1.14.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Caratterizzazione matrici e studio termogravimetrico della reattività”
		D1.1.14.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Ottimizzazione dei parametri di gassificazione O ₂ /vapore e massimizzazione delle prestazioni in reattore ICBFB - configurazione ENEA - per la produzione di syngas ricco in H ₂ da matrici di diversa tipologia e origine”
		D1.1.14.3 [M24]	Rapporto Tecnico “Modello di simulazione del processo di gassificazione O ₂ /vapore in reattore ICBFB di configurazione ENEA”
		D1.1.14.4 [M36]	Rapporto Tecnico “Caratterizzazione delle prestazioni di processo in presenza di catalizzatori primari e secondari per il condizionamento del syngas e riduzione delle principali classi di Tar in condizioni di gassificazione O ₂ /vapore”
		D1.1.14.5 [M36]	Rapporto Tecnico “Caratterizzazione delle prestazioni di sorbenti per l’arricchimento in idrogeno di correnti reali di syngas e simultanea cattura di CO ₂ ”
		D1.1.14.6 [M36]	Prototipo avanzato di gassificazione O ₂ /vapore
		D1.1.14.7 [M42]	Rapporto Tecnico “Studio della fattibilità tecnico-economica del processo di gassificazione O ₂ /vapore, integrazione dei sorbenti SEWGS e scale up”
WP1.1 - LA 1.1.15 Studio e sviluppo di sistemi di gassificazione delle biomasse ad alta efficienza TRL 3-5	ENEA	D1.1.15.1 [M24]	Rapporto Tecnico “Definizione di criteri per la progettazione e l’operatività del gassificatore a letto fisso per massimizzare la conversione del carbonio in vettori energetici gassosi”
		D1.1.15.2 [M36]	Rapporto Tecnico “Studio e Sviluppo di un prototipo di reattore catalitico a doppio stadio per trattare circa 1 Nm ³ /h di syngas grezzo per ridurre il contenuto di tar ed inquinanti aumentando le rese di conversione in H ₂ ”
		D1.1.15.3 [M42]	Rapporto Tecnico “Studio e Sviluppo di reattori a membrana basati sulla permeazione di idrogeno, in grado di trattare 0,25 Nm ³ /h di miscela gassosa per l’ottenimento di idrogeno iper puro e rese delle reazione di water gas shift oltre il limite di equilibrio termodinamico”
WP1.1 – LA 1.1.16 Sviluppo di metodi elettrochimici per il trattamento dei reflui solidi e liquidi della gasificazione con produzione di idrogeno	ENEA	D1.1.16.1 [M18]	Rapporto Tecnico “Metodi per ottenere idrogeno da biomasse e test di elettrolisi di cellulosa, lignina, emicellulosa”
		D1.1.16.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Ossidazione elettrochimica delle frazioni organiche reflue dei processi di gasificazione con produzione di idrogeno e riduzione del COD”

TRL 2-3		D1.1.16.3 [M36] D1.1.16.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Test di elettrolisi di acidi organici, furfurali, aromatici, lignina pirolitica" Prototipo scala laboratorio di cella elettrochimica per il trattamento in continuo dei reflui da impianti a biomasse
WP1.1 – LA1.1.17 Sviluppo di materiali e processi per la produzione termochimica d'idrogeno da biomasse intensificata dalla separazione di CO ₂ mediante sorbenti solidi TRL 2-4	ENEA	D1.1.17.1 [M12] D1.1.17.2 [M12] D1.1.17.3 [M12] D1.1.17.4 [M24] D1.1.17.5 [M36] D1.1.17.6 [M42] D1.1.17.7 [M42]	Rapporto Tecnico "Sintesi e caratterizzazione di sistemi combinati catalizzatore e sorbente per la produzione di idrogeno da gas riformati di biometano e biomassa residuale" Materiale sorbente da utilizzare per la produzione intensificata di idrogeno da biomassa residuale Campioni di filtri ceramico per la pulizia del gas riformato prodotto da processo SEG Rapporto Tecnico "Up-grading del DFB e dell'RDR per la produzione di idrogeno attraverso la valorizzazione di biomassa residuale" Rapporto Tecnico "Produzione di idrogeno da biomasse residuali e bio-metano a scala pilota con tecnologia DFB e RDR" Rapporto Tecnico "Protocollo sperimentale di processi SEG e raccolta dati su banco prova" Rapporto Tecnico "Valutazione economica e termodinamica finale di processi industriali (e.g. acciaio, ferro, cemento) integrati con tecnologie di produzione SEP mediante l'impiego di sorbenti solidi a base di calcio"
WP1.1 – LA1.1.18 Valorizzazione di materiali carboniosi prodotti da processi termochimici di lignine e plastiche TRL 2-4	ENEA	D1.1.18.1 [M12] D1.1.18.2 [M24] D1.1.18.3 [M24] D1.1.18.4 [M24] D1.1.18.5 [M30] D1.1.18.6 [M42]	Rapporto Tecnico "Selezione e caratterizzazione di matrici di biomassa e plastiche da utilizzare nel processo di pirolisi" Reattore per una rapida produzione di grafene sintetico da pirolisi di biomassa Catalizzatore grafene sintetico da biomassa per processi industriali Elettrodi di grafene sintetico da biomassa per uso in campo elettrolitico Rapporto Tecnico "Caratterizzazione e funzionalizzazione del materiale carbonioso prodotto per utilizzo in campo energetico" Rapporto Tecnico "Modello cinetico di pirolisi e addestramento dell'algoritmo di Machine Learning per il miglioramento del processo di pirolisi"
WP1.1 – LA1.1.19 Sviluppo di un processo di Steam Reforming elettrico TRL 2-4	ENEA	D1.1.19.1 [M12] D1.1.19.2 [M12] D1.1.19.3 [M12] D1.1.19.4 [M12] D1.1.19.5 [M24] D1.1.19.6 [M24] D1.1.19.7 [M36] D1.1.19.8 [M36]	Rapporto Tecnico "Design di un reattore mono-tubolare eSR-HT con riscaldamento elettrico con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto" Rapporto Tecnico "Design di un reattore a membrana di eSR-LT con riscaldamento indiretto a sali fusi con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto" Rapporto Tecnico "Design di un reattore a membrana di eSR-LT con riscaldamento elettrico diretto con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto" Rapporto Tecnico "Messa a punto delle tecniche per la realizzazione delle membrane permeabili all'idrogeno da integrare nei reattori eSR-LT" Prototipi di membrane per l'integrazione nei reattori eSR-LT Rapporto Tecnico "Caratterizzazione di membrane per l'integrazione nei reattori eSR-LT" Prototipo di reattore mono-tubolare eSR-HT con riscaldamento elettrico con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto Prototipo di reattore a membrana di eSR-LT con riscaldamento indiretto a sali fusi con capacità di almeno 200 NI/h d'idrogeno prodotto

		D1.1.19.9 [M42] D1.1.19.10 [M42]	Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale di diverse soluzioni di reformer elettrico" Rapporto Tecnico "Studio di scale-up di processo dalla scala di laboratorio a quella minima per applicazioni commerciali (alimentazione biogas >300 Nm3/h di biogas) e valutazioni tecnico-economiche secondo casi studio di integrazione con una rete elettrica avente prevalenza di sorgenti rinnovabili"
WP1.1 – LA1.1.20 Produzione d'idrogeno mediante reforming e idrogassificazione di biomasse TRL 2-4	ENEA	D1.1.20.1 [M12] D1.1.20.2 [M24] D1.1.20.3 [M36] D1.1.20.4 [M42] D1.1.20.5 [M42]	Prototipo di reattore di idrogassificazione realizzato e messo in esercizio Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale e mappa prestazionale del reattore di idrogassificazione" Impianto di produzione d'idrogeno mediante idrogassificazione integrato con le unità di purificazione e steam reforming Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale del processo di produzione d'idrogeno mediante idrogassificazione integrato con le unità di purificazione e steam reforming" Rapporto Tecnico "Analisi tecnico-economica e di sostenibilità del processo integrato su scala commerciale per la produzione d'idrogeno mediante conversione di biomassa da rifiuto"
WP1.1 – LA1.1.21 Produzione plasmico-chimica di Idrogeno TRL 2-5	ENEA	D1.1.21.1 [M12] D1.1.21.2 [M18] D1.1.21.3 [M18] D1.1.21.4 [M24] D1.1.21.5 [M24] D1.1.21.6 [M36] D1.1.21.7 [M36] D1.1.21.8 [M42] D1.1.21.9 [M42]	Rapporto Tecnico "Progettazione e disegno di un reattore per la dissociazione della CO ₂ classe 10kW" Reattore operativo presso C.R. ENEA Casaccia Sistema per la separazione dei gas basato su cicli di desorbimento "PSA" Rapporto Tecnico "Operatività del reattore e caratterizzazioni elettriche e di efficienza di dissociazione" Rapporto Tecnico "Operatività dei sistemi di separazione dei gas" Reattore per la generazione di idrogeno mediante WGS Rapporto Tecnico "Primi test di produzione idrogeno da processi plasmico-chimici" Sistema integrato, dissociatore-separatore-generatore con ricircolo dei gas Rapporto Tecnico "Produzione plasmico-chimica di idrogeno"
WP1.1 – LA1.1.22 Produzione di idrogeno mediante processi termochimici ad alta temperatura basati su reattori con membrane iono-conduttrici ad ossidi solidi TRL 2-4	RSE	D1.1.22.1 [M12] D1.1.22.2 [M24] D1.1.22.3 [M42]	Studio di letteratura per individuazione materiali da utilizzare per la realizzazione delle membrane Caratterizzazione delle membrane realizzate e verifica delle loro proprietà di permeazione Caratterizzazione delle membrane in condizioni di reazione e progetto del prototipo di reattore a membrana
WP1.1 – LA 1.1.23 Conversione diretta delle biomasse in idrogeno: Sviluppo di materiali per pirolisi e gassificazione di materiali biogenici e sperimentazione in microreattori catalitici per la produzione di idrogeno verde TRL 2-4	CNR	D1.1.23.1 [M3] D1.1.23.2 [M6] D1.1.23.3 [M9] D1.1.23.4 [M12] D1.1.23.5 [M18] D1.1.23.6 [M21]	Rapporto tecnico su selezione di campioni preliminari biomassa Layout di impianto multistadio da laboratorio a letto fluido Rapporto tecnico sulla definizione di metodi di pretrattamento delle biomasse selezionate e sulla caratterizzazione preliminare Rapporto tecnico intermedio sulla preparazione e caratterizzazione dei catalizzatori Rapporto finale delle attività svolte per la selezione e caratterizzazione di biomasse residuali e sugli eventuali metodi di pretrattamento da utilizzare per migliorare la processabilità Catalizzatori APR ottimizzati in formulazione

		D1.1.23.7 [M24] Impianto da laboratorio multistadio a letto fluido D1.1.23.8 [M24] Rapporto tecnico delle attività svolte per la preparazione, caratterizzazione di catalizzatori home-made, e di acquisizione di catalizzatori tradizionali attivi nei processi termo-chimici D1.1.23.9 [M27] Database dei risultati di progetto (avviato) D1.1.23.10 [M30] Rapporto tecnico su prove di gassificazione in letto fluido D1.1.23.11 [M33] Rapporto tecnico delle attività di test-validazione sperimentale dei sistemi catalitici selezionati e selezione del sistema/i più promettenti per il processo di gassificazione D1.1.23.12 [M36] Catalizzatori ottimizzati per gassificazione e APR D1.1.23.13 [M39] Rapporto tecnico conclusivo su prove di gassificazione e APR D1.1.23.14 [M42] Database definitivo dei risultati di progetto D1.1.23.15 [M42] Relazione finale sulle attività e risultati della linea progettuale
WP1.1 – LA 1.1.24 Sviluppo di materiali e processi innovativi per processi di elettroreforming di alcoli finalizzati alla produzione di idrogeno TRL 2-4	CNR	D1.1.24.1 [M6] Relazione di stato di avanzamento del progetto: sintesi catalizzatori anodici e catodici per l'ossidazione di glicerolo e etanolo in sistemi AEM D1.1.24.2 [M12] Relazione di stato di avanzamento del progetto: determinazione della performance dei sistemi elettrolitici per glicerolo ed etanolo (AEM) D1.1.24.3 [M18] Relazione di stato di avanzamento del progetto: Sintesi catalizzatori catodici e anodici per la cella a etanolo e glicerolo PEM D1.1.24.4 [M24] Relazione di stato di avanzamento del progetto: determinazione della performance dei sistemi elettrolitici per glicerolo ed etanolo (PEM) D1.1.24.5 [M30] Relazione di stato di avanzamento del progetto: sintesi catalizzatori anodici e anodici per la cella AEM a glicole etilenico e metanolo D1.1.24.6 [M36] Relazione di stato di avanzamento del progetto: determinazione della performance dei sistemi elettrolitici per glicole etilenico e metanolo (AEM) D1.1.24.7 [M39] Relazione di stato di avanzamento del progetto: sintesi catalizzatori anodici e catodici per l'ossidazione di glicole etilenico e metanolo in sistemi PEM D1.1.24.8 [M42] Relazione finale del progetto: Principale risultati ottenuti e valutazione comparativa della migliore tecnologia
WP1.1 – LA 1.1.25 Sviluppo di materiali e processi catalitici per il reforming di biogas in idrogeno TRL 2-4	CNR	D1.1.25.1 [M3] Rapporto tecnico delle attività svolte per la definizione dello stato dell'arte aggiornato su catalizzatori e processi catalitici di reforming del biogas D1.1.25.2 [M6] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'individuazione e/o realizzazione di reattori e di stazioni di prova per test catalitici di reforming del biogas, lo sviluppo dei protocolli di test dei materiali e delle condizioni operative [D1.1.25.3 [M9] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di catalizzatori eterogenei e mono- e bimetallici di impiego in processi catalitici di reforming del biogas con elevata attività, selettività e stabilità D1.1.25.4 [M12] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di reattori a membrane a base di Pd e/o sue leghe auto supportate, integrati con i catalizzatori innovativi per il reforming del biogas, al fine di produrre idrogeno ultrapuro (purezza > 99.999%)

		<p>D1.1.25.5 [M15] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'ottimizzazione dei parametri operativi per ottenere un'elevata conversione del biogas ed un'elevata produttività di idrogeno</p> <p>D1.1.25.6 [M18] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo studio dell'influenza dei contaminanti (H₂S) sulle prestazioni (attività, tempo di vita, deposizione di coke) dei catalizzatori per il reforming del biogas.</p> <p>D1.1.25.7 [M21] Rapporto tecnico delle attività svolte per la definizione delle migliori metodologie di sintesi sia del supporto che per l'introduzione del metallo attivo al fine di modulare l'interazione metallo-supporto e stabilizzare la fase metallica dalla sinterizzazione</p> <p>D1.1.25.8 [M24] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di reattori a membrane a base di Pd e/o sue leghe supportate, integrati con i catalizzatori innovativi per il reforming del biogas, al fine di produrre idrogeno di tipo CO_x-free e recupero rispetto al totale prodotto > 70%</p> <p>D1.1.25.9 [M27] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di catalizzatori eterogenei innovativi con aumentata resistenza all'avvelenamento da contaminanti presenti nelle correnti di biogas (H₂S, etc.) e alla formazione di coke</p> <p>D1.1.25.10 [M30] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'individuazione di una metodologia di coating adeguata alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato usato</p> <p>D1.1.25.11 [M33] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'identificazione delle cinetiche catalitiche dei catalizzatori più promettenti</p> <p>D1.1.25.12 [M36] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo sviluppo e testing di soluzioni impiantistiche a doppio stadio costituite da un reformer tradizionale seguito da uno stadio di separazione a membrane a base di Pd, confrontandone i risultati in termini di conversione del CH₄, produzione e recupero di idrogeno di tipo CO_x-free con un reattore a membrana a singolo stadio, e valutandone la migliore soluzione di processo per il conseguimento dei target di progetto; Sviluppo e caratterizzazione morfologica e catalitica di catalizzatori strutturati in forma di monoliti e/o schiume ceramiche a celle aperte (Foams)</p> <p>D1.1.25.13 [M39] Rapporto tecnico delle attività svolte per lo scale-up del metodo di coating per la preparazione di catalizzatori strutturati di dimensioni significative (Φ = 2cm, L = 5 -15cm, Vol= 25-50 cm³)</p> <p>D1.1.25.14 [M42] Rapporto tecnico delle attività svolte per l'ottimizzazione e scale-up della sintesi dei catalizzatori e del processo con prestazioni più elevate e alla validazione scala prototipale della configurazione impiantistica che avrà offerto le migliori prestazioni nel 3° anno di attività; Identificazione delle condizioni ottimali di esercizio e dei principali parametri operativi utilizzando reattori catalitici strutturati</p>
<p>WP1.1 – LA 1.1.26</p> <p>Sviluppo di materiali e processi catalitici per il cracking del biogas per la produzione di idrogeno TRL 2-4</p>	CNR	<p>D1.1.26.1 [M12] Relazione sulla produzione di catalizzatori a base carboniosa o compositi C/SiC per applicazione in processi CMC</p> <p>D1.1.26.2 [M12] Dati di caratterizzazione completi sulle proprietà fisico-chimiche dei catalizzatori oggetto di studio</p> <p>D1.1.26.3 [M18] Relazione sulle correlazioni proprietà/attività dei catalizzatori sopra citati nel processo CMC</p> <p>D1.1.26.4 [M24] Relazione sulla natura e proprietà dei depositi di carbonio ottenuti nel processo, loro valorizzazione e applicazione come catalizzatori "self-produced" durante il processo stesso</p> <p>D1.1.26.5 [M30] Progettazione e messa a punto di un reattore a letto fisso riscaldato per induzione elettromagnetica (radiofrequenza)</p>

		<p>D1.1.26.6 [M36] Relazione sul cracking del metano in idrogeno attraverso il reattore a letto fisso riscaldato a radiofrequenza</p> <p>D1.1.26.7 [M39] Rapporto tecnico sul processo CMC ottimizzato e comparazione tra le proprietà catalitiche dei depositi di C prodotti durante il CMC e i carboni solidi commerciali</p> <p>D1.1.26.8 [M42] Rapporto tecnico su campi di applicazione e sulle proprietà dei materiali carboniosi solidi ottenuti dal CMC e valorizzazione dell'idrogeno turchese prodotto nel processo</p> <p>D1.1.26.9 [M42] Valutazione comparativa dell'impatto ambientale derivante dalla produzione di idrogeno convenzionale "verde" (elettrolisi dell'acqua) e idrogeno "turchese" (CMC) e relazione finale di attività</p>
<p>WP1.1 – LA 1.1.27</p> <p>Sviluppo di processi di produzione biologica di idrogeno tramite fermentazione (dark fermentation) da reflui agro-industriali, inclusa l'applicazione delle scienze omiche per l'ottimizzazione del processo</p> <p>TRL 2-4</p>	ENEA	<p>D1.1.27.1 [M12] Rapporto Tecnico "Selezione dello scarto agro-industriale. Stato dell'arte e caratterizzazione chimico-fisica del substrato"</p> <p>D1.1.27.2 [M18] Rapporto Tecnico "Metodologie per la produzione potenziale di bioH₂ e stesura di un protocollo operativo"</p> <p>D1.1.27.3 [M24] Rapporto Tecnico "Processo di autofermentazione"</p> <p>D1.1.27.4 [M30] Rapporto Tecnico "Caratterizzazione metagenomica delle MMC"</p> <p>D1.1.27.5 [M36] Definizione delle unità funzionali (specie chiave e/o CFU) delle MMC selezionate e caratterizzazione molecolare.</p> <p>D1.1.27.6 [M36] Rapporto Tecnico "Controllo della fermentazione attraverso strategie di eco-engineering ed elettrofermentazione"</p> <p>D1.1.27.7 [M42] Rapporto Tecnico "Selezione di MMC tramite EF in funzione del potenziale applicato all'elettrodo, che varia le condizioni ossido-riduttive del mezzo di reazione (ORP)"</p> <p>D1.1.27.8 [M42] Rapporto Tecnico "Produzione di bioH₂ dal processo DF ottimizzato"</p> <p>D1.1.27.9 [M42] Rapporto Tecnico "Analisi metaomiche e di correlazione microrganismi/metaboliti/parametri di processo"</p>
<p>WP1.1 – LA 1.1.28</p> <p>Sviluppo di tecnologie di celle elettrolitiche microbiologiche per la produzione di idrogeno dalla conversione dei sottoprodotti della fermentazione in un processo a cascata</p> <p>TRL 2-4</p>	ENEA	<p>D1.1.28.1 [M12] Allestimento della piattaforma sperimentale</p> <p>D1.1.28.2 [M12] Rapporto Tecnico "Analisi bibliografica sulle Celle elettrolitiche Microbiche"</p> <p>D1.1.28.3 [M12] Realizzazione su scala banco di un prototipo MEC</p> <p>D1.1.28.4 [M24] Rapporto Tecnico "Arricchimento di comunità microbiche anodiche su un substrato modello"</p> <p>D1.1.28.5 [M24] Rapporto Tecnico "Selezione ed arricchimento di comunità microbiche anodiche sull'effluente della DF"</p> <p>D1.1.28.6 [M24] Rapporto Tecnico "Strategie di inibizione della metanogenesi"</p> <p>D1.1.28.7 [M36] Rapporto Tecnico "Strategie di eco-engineering"</p> <p>D1.1.28.8 [M36] Rapporto Tecnico "Produzione di bioH₂ nel corso dell'ottimizzazione dei parametri sperimentali della MEC"</p> <p>D1.1.28.9 [M42] Rapporto Tecnico "Valorizzazione dei sottoprodotti della DF tramite MEC in relazione alla composizione degli effluenti"</p>
WP1.1 – LA 1.1.29	ENEA	<p>D1.1.29.1 [M12] Lista di specie/ceppi di microalghe e cianobatteri selezionati per la produzione di idrogeno</p> <p>D1.1.29.2 [M24] Lista di geni target e loro regolatori per la produzione di idrogeno</p>

Produzione di idrogeno da microalghe: ingegneria genetica per aumentare la produzione di idrogeno nelle microalghe TRL 2-3		D1.1.29.3 [M36] D1.1.29.4 [M42] D1.1.29.5 [M42]	Microrganismi ingegnerizzati con aumentata capacità di produzione di idrogeno Rapporto Tecnico “Quantificazione della produzione di idrogeno dei microrganismi ingegnerizzati su scala di laboratorio” Rapporto Tecnico “Quantificazione della produzione di biomassa ed eventuali bioprodotto ad alto valore aggiunto dei microrganismi ingegnerizzati su scala di laboratorio”
WP1.1 – LA 1.1.30 Sviluppo di processi biologici sostenibili e bioreattori per la produzione di idrogeno con batteri/microorganismi fotosintetici da sottoprodotti e biomasse dell'industria agro-alimentare TRL 2-4	CNR	D1.1.30.1 [M9] D1.1.30.2 [M9] D1.1.30.3 [M12] D1.1.30.4 [M12] D1.1.30.5 [M12] D1.1.30.6 [M12] D1.1.30.7 [M15] D1.1.30.8 [M18] D1.1.30.9 [M18] D1.1.30.10 [M24] D1.1.30.11 [M24] D1.1.30.12 [M24] D1.1.30.13 [M24] D1.1.30.14 [M30] D1.1.30.15 [M30] D1.1.30.16 [M33] D1.1.30.17 [M36] D1.1.30.18 [M36] D1.1.30.19 [M36] D1.1.30.20 [M36] D1.1.30.21 [M40]	MIC - Rapporto tecnico sullo sviluppo e la caratterizzazione di matrici polimeriche a base di polisaccaridi, proteine e polimeri sintetici BRP - Rapporto tecnico sullo stato dell'arte e basi di lavoro CLF - Rapporto tecnico sull'identificazione dei pathway metabolici di interesse in batteri Thermotogales selezionati per la produzione di idrogeno BF - Definizione di protocolli di crescita di microalghe e cianobatteri commerciali in condizioni e mezzi di coltura convenzionali tali da permettere produzione di idrogeno FF - Rapporto tecnico sui ceppi e sui consorzi microbici e relative produzioni di idrogeno BRP - Rapporto tecnico sulla definizione dei principi di funzionamento del prototipo FF - Rapporto tecnico sulla relazione reflui agroalimentari (e non) sulla produzione di idrogeno ed elettricità MIC - Rapporto tecnico sui risultati ottenuti utilizzando gli idrogeli selezionati come supporti di immobilizzazione per la produzione di bioidrogeno BRP - Progetto di massima del sistema integrato (Report con progetto) CLF - Descrizione della regolazione e della interazione dei pathway metabolici correlati alla produzione di idrogeno BF - Protocolli per l'ottenimento di brodi di coltura ottimizzati per microalghe e cianobatteri utili alla produzione di idrogeno da acque reflue di industrie agroalimentari FF - Rapporto tecnico sulle interfacce microorganismo/elettrodo BRP - Progetto esecutivo del prototipo di bio-reattore (Report con progetto). FF - Rapporto tecnico sui fotobioreattori BRP - Produzione del bio-reattore (Prodotto); Progetto del banco di test da laboratorio (Report) MIC - Almeno un supporto ibrido stimuli-responsive con capacità di interazione cellula-matrice modulabile realizzato CLF - Definizione del processo di produzione ottimizzata di idrogeno su biowaste con batteri selezionati per studi metabolici BF - Protocolli per l'ottenimento di brodi di coltura ottimizzati per microalghe e cianobatteri utili alla crescita cellulare in condizioni eterotrofe e alla produzione di idrogeno FF - Rapporto tecnico su operatività del fotobioreattore e rispettivi output elettrici e di idrogeno BRP - Realizzazione del banco di test (Prodotto); Report del protocollo di misura e verifica banco di test (Rapporto tecnico) MIC - Rapporto tecnico sull'impiego e la caratterizzazione di polimeri ibridi stimuli-responsive come supporti di immobilizzazione per la produzione di bio-H2

		D1.1.30.22 [M42] D1.1.30.23 [M42] D1.1.30.24 [M42] D1.1.30.25 [M42]	CLF - Processo su bio-waste convalidato su scala di laboratorio BF - Definizione di protocolli utili alla crescita di colture microalgali in presenza di idrogel utili allo sviluppo di fotobioreattori utilizzabili per coltivazione e produzione di idrogeno continua e prolungata FF - Rapporto tecnico sul processo per almeno due tipi di bio-waste BRP - Rapporto tecnico dei risultati dei test in condizioni di laboratorio
WP1.1 – LA 1.1.31 Sviluppo di materiali ed elettrodi per sistemi di bioelettrolisi microbica e prevenzione della corrosione microbiologica TRL 3-5	RSE	D.1.1.31.1 [M12] D.1.1.31.2 [M24] D.1.1.31.3 [M24] D.1.1.31.4 [M42]	Rapporto tecnico tecnico descrivente i risultati di prove di elettrolisi microbica con microorganismi ipertermofili svolte a pressione atmosferica e con diversi tipi di materiali per gli elettrodi Rapporto tecnico descrivente componenti dell'apparato sperimentale realizzato e delle prove di elettrolisi microbica ipertermofila svolte a diverse pressioni di H ₂ e CO ₂ Rapporto tecnico riportante la descrizione dei materiali compositi innovativi per anodo e catodo messi a punto per sistemi di elettrolisi microbica ipertermofili e delle prove svolte Rapporto tecnico riportante una road map per lo sviluppo delle tecnologie di elettrometanogenesi nei settori industriali/ambientali individuati
WP1.1 – LA 1.1.32 Splitting Termochimico dell'acqua TRL 2-4	ENEA	D1.1.32.1 [M12] D1.1.32.2 [M24] D1.1.32.3 [M24] D1.1.32.4 [M24] D1.1.32.5 [M36] D1.1.32.6 [M42] D1.1.32.7 [M42]	Rapporto Tecnico "Stato dell'arte dei materiali metallici e ceramici da utilizzare per la costruzione del prototipo di reattore e le tecniche di giunzione da utilizzare" Rapporto Tecnico "Test e validazione di materiali metallici e ceramici e analisi delle tecniche di giunzione" Progetto concettuale del prototipo di reattore, Progetto esecutivo e costruzione del prototipo di reattore, Rapporto Tecnico "Risultati delle prove sperimentali con particolare riferimento al funzionamento discontinuo del reattore" Rapporto Tecnico "Definizione delle condizioni operative ottimali e verifica della stabilità dei materiali e componenti utilizzati alle alte temperature operative" Rapporto Tecnico "Risultati dell'analisi tecnico-economica relativa alle fasi di industrializzazione del reattore per applicazioni energetiche di media e grande scala"
WP1.1 – LA 1.1.33 Materiali innovativi redox per la produzione di idrogeno attraverso processi termochimici a due step di water splitting TRL 2-3	ENEA	D1.1.33.1 [M12] D1.1.33.2 [M24] D1.1.33.3 [M36] D1.1.33.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Sintesi, caratterizzazione e primo screening sperimentale dei sistemi REDOX più promettenti per l'utilizzo in cicli WSTC a due step" Rapporto Tecnico "Sintesi e analisi termogravimetrica e calorimetrica di sistemi in forma di polvere per cicli WSTC a due step; studio dello step di riduzione con inerte e di ossidazione con aria e stabilità sotto cicli termici" Rapporto Tecnico "Studio di sistemi in forma di polvere per cicli WSTC a due step: stabilità sotto cicli termici e rese delle reazioni di riduzione con inerte e produzione di idrogeno con vapore" Rapporto Tecnico "Verifica su scala di laboratorio delle reazioni di riduzione degli ossidi e produzione di idrogeno utilizzando un reattore caricato con pellet. Valutazione preliminare tecnico-economica di un processo di water splitting a due step selezionato"
WP1.1 – LA 1.1.34 Sviluppo di materiali non critici e componenti per celle di fotoelettrolisi in configurazione tandem	CNR	D1.1.34.1 [M6]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la preparazione dei materiali per la produzione di idrogeno attraverso water splitting

<p>per la conversione diretta di energia solare in idrogeno e sistemi avanzati per splitting catalitico assistito da energia solare e termica TRL 2-4</p>	<p>D1.1.34.2 [M9] Rapporto tecnico contenente le strutture dei nuovi sensibilizzatori derivanti dall'attività di progettazione molecolare oltre che dei nuovi materiali inorganici</p> <p>D1.1.34.3 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte su semiconduttori e co-catalizzatori per celle fotoelettrochimiche tandem</p> <p>D1.1.34.4 [M12] Rapporto tecnico sulle proprietà strutturali, morfologiche, ottiche di semiconduttori di tipo p per applicazioni in fotocatodi</p> <p>D1.1.34.5 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la preparazione dei materiali per la produzione di idrogeno attraverso water splitting e per la loro caratterizzazione fisica per impiego in reattori a letto fluidizzato</p> <p>D1.1.34.6 [M15] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione funzionale dei materiali per WS in microreattori a letto fisso</p> <p>D1.1.34.7 [M15] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione chimico-fisica dei materiali per WS in microreattori a letto fisso</p> <p>D1.1.34.8 [M18] Rapporto tecnico contenente le strutture dei nuovi coloranti, le loro procedure sintetiche dettagliate e la loro caratterizzazione, sia in soluzione che adsorbiti su film di TiO₂. Inoltre, descrizione di possibili catalizzatori organici/organometallici, già riportati in letteratura per l'ossidazione di H₂O o alcoli, da accoppiare ai nuovi coloranti</p> <p>D1.1.34.9 [M21] Rapporto tecnico sulle proprietà microstrutturali, ottiche, e fotoelettrochimiche dei film sviluppati con le diverse tecniche e dei materiali inorganici per applicazioni fotocatalitiche, e produzione di almeno 3 foto-catodi da utilizzare nella produzione di idrogeno tramite cella PEC</p> <p>D1.1.34.10 [M21] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'identificazione delle condizioni operative ottimali per WS in microreattori a letto fisso</p> <p>D1.1.34.11 [M24] Rapporto Tecnico delle attività svolte su materiali protettivi e supporti idrofobici per celle fotoelettrochimiche tandem</p> <p>D1.1.34.12 [M24] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione funzionale dei materiali per WS in reattori a letto fluidizzato</p> <p>D1.1.34.13 [M30] Rapporto tecnico contenente la descrizione del processo di scale-up della sintesi del colorante più promettente e del catalizzatore ad esso accoppiato</p> <p>D1.1.34.14 [M30] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'ottimizzazione dei materiali redox per water splitting sulla base dell'interazione con radiazione solare concentrata.</p> <p>D1.1.34.15 [M33] Rapporto tecnico sulle proprietà microstrutturali, ottiche e foto-elettrochimiche dei foto-catodi ad incrementata efficienza e produzione di almeno 3 foto-catodi ad incrementata efficienza</p> <p>D1.1.34.16 [M33] Almeno due materiali inorganici depositati su substrati per applicazioni fotocatalitiche e termiche</p> <p>D1.1.34.17 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte su membrane elettrolitiche polimeriche e ionomero per celle fotoelettrochimiche tandem</p> <p>D1.1.34.18 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'adeguamento, ottimizzazione e messa in esercizio del DIFBAR per la produzione di idrogeno</p> <p>D1.1.34.19 [M42] Produzione di almeno 1 prototipo di cella DS-PEC (area ca. 1 cm²) in configurazione tandem e relazione sulle sue prestazioni in termini di produzione di idrogeno, efficienza faradica e STH</p>
---	---

		D1.1.34.20 [M42]	Rapporto tecnico sulla caratterizzazione e determinazione delle prestazioni dei sistemi fototermici e fotoelettrochimici realizzati con i nuovi materiali inorganici
		D1.1.34.21 [M42]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione elettrochimica di celle fotoelettrochimiche tandem
		D1.1.34.22 [M42]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'esercizio del DIFBAR nelle condizioni di interesse applicativo per la produzione di idrogeno
WP1.1 – LA 1.1.35 Produzione di Idrogeno tramite processi di fotocatalisi fotoelettrocatalisi TRL 2-4	CNR	D1.1.35.1 [M12]	Rapporto tecnico sulle procedure di sintesi e caratterizzazione (chimica, morfologica, strutturale, foto-fisica ed elettrochimica) dei primi fotocatalizzatori in forma di polveri, colloidali e in film sottili attivi nell'UV-VIS
		D1.1.35.2 [M12]	Struttura cristallina di almeno due fotocatalizzatori determinata a risoluzione atomica, validata e depositata in database strutturali
		D1.1.35.3 [M12]	Rapporto tecnico sulle procedure di preparazione di membrane fotocatalitiche
		D1.1.35.4 [M12]	Rapporto tecnico sui dati delle simulazioni teoriche delle proprietà strutturali, elettroniche ed ottiche
		D1.1.35.5 [M18]	Rapporto tecnico sulle procedure sintetiche dei nuovi sensibilizzatori organici e sulla caratterizzazione delle loro proprietà strutturali, spettroscopiche ed elettrochimiche
		D1.1.35.6 [M24]	Rapporto tecnico sulla sintesi e caratterizzazione chimica, strutturale, morfologica e fotofisica di fotocatalizzatori attivi nel VIS-NIR
		D1.1.35.7 [M24]	Rapporto tecnico sullo sviluppo di semiconduttori "core-shell" a base di CuO
		D1.1.35.8 [M24]	Rapporto tecnico sulle procedure di integrazione dei fotocatalizzatori all'interno delle membrane polimeriche e loro caratterizzazione chimica, strutturale e fotofisica
		D1.1.35.9 [M24]	Rapporto tecnico sulle procedure migliori per la deposizione dei semiconduttori in forma di polveri e colloidali su substrati conduttori trasparenti per ottenere fotoelettrodi stabili e riproducibili
		D1.1.35.10 [M24]	Rapporto tecnico sulla procedura per assorbire la quantità ottimale di colorante sul semiconduttore e valutazione dell'adesione e della fotostabilità
		D1.1.35.11 [M24]	Rapporto tecnico sull'analisi della dinamica strutturale dei fotocatalizzatori e dei fotoelettrodi
		D1.1.35.12 [M24]	Rapporto tecnico sulle misure fotoelettrochimiche eseguite su elettrodi preparati e loro classificazione di impiego nei dispositivi PEC più idonei
		D1.1.35.13 [M24]	Rapporto tecnico sullo studio teorico dei processi chimici, ottici e di separazione di carica che intervengono alle interfacce fotosensibilizzate
		D1.1.35.14 [M30]	Rapporto tecnico sullo sviluppo di procedure di preparazione e deposizione per semiconduttori e catalizzatori per elettroliti acidi, neutri o basici
		D1.1.35.15 [M30]	Rapporto tecnico sulla dinamica strutturale dei fotoelettrodi in condizioni operative.
		D1.1.35.16 [M36]	Rapporto tecnico sulle procedure di sintesi e caratterizzazione di 1-2 perovskiti ibride organico-inorganiche prive di piombo
		D1.1.35.17 [M36]	Struttura cristallina di almeno due perovskiti determinata a risoluzione atomica, validata e depositata in database strutturali
		D1.1.35.18 [M36]	Rapporto tecnico sulla razionalizzazione teorica delle proprietà ottiche e catalitiche e della stabilità chimica delle perovskiti preparate

		D1.1.35.19 [M36] Rapporto tecnico sulle prestazioni in sviluppo di idrogeno di dispositivi PEC finiti ottenuti accoppiando fotoelettrodi tra loro in celle tandem o singoli fotoelettrodi a sorgenti di bias di tensione PV o DSSC D1.1.35.20 [M42] Rapporto tecnico sulla dimostrazione della scalabilità delle sintesi dei catalizzatori più interessanti D1.1.35.21 [M42] Rapporto tecnico sulla razionalizzazione dei meccanismi di assorbimento e attivazione dell'acqua nei dispositivi fotocatalitici e fotoelettrochimici D1.1.35.22 [M42] Rapporto tecnico sull'analisi delle prestazioni di un reattore fotocatalitico a membrana per la produzione di idrogeno D1.1.35.23 [M42] Modello statistico in grado di descrivere il funzionamento del reattore fotocatalitico al variare delle sue condizioni operative D1.1.35.24 [M42] Rapporto tecnico su dimostratori PEC, ottimizzati su scala di laboratorio, scelti tra le possibili configurazioni di cella in base a efficienza e stabilità della produzione di idrogeno e in conformità a criteri di green economy D1.1.35.25 [M42] Rapporto tecnico sulla validazione di fotocatalizzatore e cella tandem
WP1.1 – LA1.1.36 Sviluppo di materiali e nanomateriali per idrogeno TRL 3-4	ENEA	D1.1.36.1 [M12] Rapporto tecnico di installazione del sistema di produzione di nano-polveri plasma spray D1.1.36.2 [M12] Disegno e progettazione del sistema per trattamenti termici con attivazione da plasma D1.1.36.3 [M12] Disegno e progettazione del sistema per la deposizione del carbonio e nano-carbonio su piatti metallici D1.1.36.4 [M18] Rapporto tecnico di allestimento officina microlavorazioni (componenti ed elettrodi) D1.1.36.5 [M24] Disponibilità sistema per trattamenti termici con attivazione da plasma D1.1.36.6 [M24] Disponibilità sistema per deposizione carbonio e nano-carbonio su piatti metallici D1.1.36.7 [M42] Rapporto Tecnico “Descrizione della facility realizzata e della operatività relativamente alla produzione di materiali nel contesto del progetto ricerca e sviluppo di tecnologie per la filiera dell'idrogeno”
WP1.1 – LA1.1.37 Caratterizzazioni funzionali e strutturali di materiali per idrogeno TRL 3-4	ENEA	D1.1.37.1 [M12] Rapporto di installazione del sistema di spettroscopia delle superficie XPS-ESCA D1.1.37.2 [M12] Rapporto di installazione del sistema di spettroscopia ottica Micro Raman D1.1.37.3 [M12] Rapporto di installazione degli accessori per XRD D1.1.37.4 [M24] Rapporti Tecnico “Descrizione dei metodi e delle tecniche di caratterizzazione disponibili” D1.1.37.5 [M42] Rapporto Tecnico sulle caratterizzazioni funzionali e strutturali dei materiali selezionati
WP1.2 - Ricerca, sviluppo e modellazione di tecnologie, componenti e sistemi di nuova generazione per applicazioni specifiche: feedstock per l'industria, trasporti, calore ed energia (totale n° 8 LA) TRL 2-5	ENEA	
WP1.2 – LA1.2.1 Ricerca e sviluppo di soluzioni innovative atte a incrementare la stabilità/durata delle membrane	ENEA	D1.2.1.1 [M12] Rapporto Tecnico “Progettazione di una camera di test per simulare le condizioni operative di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno”

nei processi di conversione dei combustibili/biocombustibili in idrogeno TRL 2-4		D1.2.1.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Realizzazione di una camera di test per simulare le condizioni operative di una membrana in reattori per la produzione di idrogeno e relativi test di verifica del suo corretto funzionamento”
		D1.2.1.3 [M24]	Rapporto Tecnico “Sviluppo di processi di trattamento superficiale e di deposizione al fine di rendere compatibile il supporto metallico e la membrana con le condizioni operative di un reattore per la produzione di idrogeno”
		D1.2.1.4 [M36]	Rapporto Tecnico “Sviluppo di processi di deposizione e relative caratterizzazioni di strati sottili di metallo/lega metallica in grado di simulare il comportamento della membrana per la produzione di idrogeno”
		D1.2.1.5 [M42]	Rapporto Tecnico “Realizzazione e caratterizzazione di strutture multistrato in grado di simulare il comportamento della membrana per la produzione dell'idrogeno. Valutazione della permeanza e selettività all'idrogeno, e della stabilità e durabilità delle strutture multistrato nelle condizioni di funzionamento mediante camera di test”
WP1.2 – LA1.2.2 Studio dell'integrazione di sistemi reversibili ad Ossidi Solidi o Carbonati Fusi con fonti rinnovabili TRL 2-4	ENEA	D1.2.2.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Identificazione della matrice dei casi studio e selezione dei casi studio strategici per l'implementazione di sistemi elettrochimici reversibili ad alta temperatura (rSOC, rMCC)”
		D1.2.2.2 [M36]	Rapporto Tecnico “Sviluppo di un modello di performance zero-dimensionale a parametri concentrati per entrambi i sistemi rSOC e rMCC”
		D1.2.2.3 [M42]	Rapporto tecnico sui risultati delle simulazioni di sistema dell'integrazione di sistemi rSOC e rMCC dei principali casi studio identificati
WP1.2 – LA1.2.3 Sviluppo di modelli di previsione di produzione di energia da RES non programmabili per la produzione di idrogeno finalizzata al P2G TRL 4-5	ENEA	D1.2.3.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Implementazione di un modello di cielo sereno per l'irradianza globale orizzontale e diretta normale per l'Italia”
		D1.2.3.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Elaborazione d'immagini satellitari per la stima dell'irradianza solare”
		D1.2.3.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Modello per la previsione a 24 e 48h della GHI, DNI e Diff”
		D1.2.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Stima e previsione a 24 e 48h della produzione di energia elettrica di un impianto PV accoppiato ad un elettrolizzatore per il sito ENEA Casaccia”
WP1.2 – LA1.2.4 Sviluppo di processi di elettrolisi in scala di laboratorio finalizzati al settore navale, per applicazioni off-shore, on-board e in aree portuali, con validazione in stack prototipali TRL 2-4	CNR	D1.2.4.1 [M12]	Studio dei sistemi di purificazione di acqua di mare per applicazione in elettrolisi
		D1.2.4.2 [M24]	Analisi delle possibili architetture di sistema di trattamento acqua ed elettrolizzatore
		D1.2.4.3 [M36]	Validazione delle prestazioni in termini di efficienza, dinamicità flessibilità di condizioni operative
		D1.2.4.4 [M42]	Studio della degradazione del sistema di elettrolisi alimentato con acqua di mare nelle diverse condizioni operative
WP1.2 – LA1.2.5 Sviluppo di processi di elettrolisi ad alta temperatura in scala di laboratorio finalizzati al settore industria con validazione in stack prototipali TRL 3-4	CNR	D1.2.5.1 [M12]	Rapporto tecnico sulla caratterizzazione stack SOEC taglia kW
		D1.2.5.2 [M12]	Rapporto tecnico su LCA e LCC del sistema e individuazione degli hot-spot e definizione linee guida per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali
		D1.2.5.3 [M24]	Rapporto tecnico sullo sviluppo di un sistema di controllo basato su reti neurali e tecniche di machine learning per la massimizzazione della vita utile dei componenti critici
		D1.2.5.4 [M36]	Rapporto tecnico sullo di un'architettura ibrida SOEC/batterie/supercap per la massimizzazione della vita utile dei componenti critici

		D1.2.5.5 [M36] Rapporto tecnico su LCA e LCC del sistema e individuazione degli hot-spot e definizione linee guida per la riduzione dei costi e degli impatti ambientali D1.2.5.6 [M42] Linee guida per la progettazione di un modulo SOEC per la realizzazione di elettrolizzatori a scala MW
WP1.2 – LA1.2.6 Sistemi catalitici avanzati per DeNOx di sistemi di mobilità alimentati con idrogeno TRL 2-3	CNR	D1.2.6.1 [M12] Analisi delle emissioni di NOx da motore Heavy-Duty gas (6.0L, conforme agli standard EURO VI) e dei livelli di NOx e O ₂ per i test sul catalizzatore in scala da laboratorio D1.2.6.2 [M12] Progettazione e realizzazione dell'impianto da laboratorio e del protocollo dei test per la campagna sperimentale con miscela simulata con composizione determinate in base ai precedenti test sul motore D1.2.6.3 [M24] Preparazione di catalizzatori Pt/zeolite disperse in matrice geopolimerica 3D con contenuto di Pt <0,5% e contenuto di zeolite nella matrice fino al 60 % D1.2.6.4 [M24] Definizione delle prestazioni del catalizzatore in condizioni di alimentazione semplificata (assenza di acqua e SO ₂) D1.2.6.5 [M36] Caratterizzazione di base del catalizzatore con ottimizzazione del protocollo di preparazione D1.2.6.6 [M36] Definizione delle condizioni del motore Heavy-Duty gas (6.0L, conforme agli standard EURO VI) che determinano le minori emissioni di NOx al variare del rapporto stechiometrico e dello spark advance (SA) con ottimizzazione del processo di combustione (evitando fenomeni di knocking) D1.2.6.7 [M42] Caratterizzazione funzionale (spettroscopia Operando) del catalizzatore selezionato e determinazione del meccanismo di reazione D1.2.6.8 [M42] Determinazione della durata del catalizzatore in condizioni di alimentazione che simula quella reale D1.2.6.9 [M42] Effetto dell'eventuale aggiunta di promotori per l'intensificazione del processo catalitico in condizioni reali D1.2.6.10 [M42] Dimensionamento del catalizzatore
WP1.2 – LA1.2.7 Sviluppo di modelli per processi di gassificazione di biomasse, reforming di biogas e processi integrati per produrre idrogeno per applicazioni stazionarie e validazione sperimentale in reattori prototipali TRL 2-4	CNR	D1.2.7.1 [M6] Sviluppo di modelli CFD e/o ANN per la modellazione di reattori a membrana per produzione di idrogeno COx-free da reforming di biogas e WGS D1.2.7.2 [M9] Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per studio e valutazione della configurazione reattoristica e del processo di gassificazione in reattori a letto fluido D1.2.7.3 [M12] Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per preparazione di catalizzatori per la gassificazione di biomasse D1.2.7.4 [M15] Modelli atomistici di siti catalitici di (steam/dry) reforming di biogas e gassificazione di biomasse, e relativi cammini di reazione e diagrammi di energia libera D1.2.7.5 [M18] Analisi teorica sull'influenza delle variabili di processo e validazione sperimentale di reattori a membrana prototipali (bench-scale) per la produzione di idrogeno COx-free da reforming di biogas e WGS D1.2.7.6 [M21] Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per caratterizzazione e testing di catalizzatori attivi nei processi di gassificazione delle biomasse D1.2.7.7 [M24] Tabelle di attività catalitica di sistemi a base di Pd e/o Ni e/o Cu e/o loro leghe in diverse condizioni e per diverse formulazioni dei biogas/biomasse

		D1.2.7.8 [M30] Analisi modellistica sulle condizioni operative dei reattori a membrana per la massimizzazione della produzione di idrogeno COx-free D1.2.7.9 [M33] Efficienza di sistemi catalitici di nanoparticelle in funzione delle condizioni di reazione e della formulazione dei biogas/biomasse D1.2.7.10 [M36] Rapporto/i Tecnico/i sulle attività svolte per testing catalitici in reattori a letto fluido ed ottimizzazione del processo D1.2.7.11 [M39] Parametri ottimali di dispositivo da modelli realistici di reattori di (steam/dry) reforming di biogas e gassificazione di biomasse D1.2.7.12 [M42] Rapporto/i Tecnici/i sulle attività svolte per: i) l'ottimizzazione dei processi di reforming autotermico non-catalitico di biogas in reattori innovativi a forte ricircolo interno, ii) scale-up dei catalizzatori strutturati e la validazione catalitica in reattori dimostrativi
WP1.2 – LA1.2.8 Studi sull'applicazione delle tecnologie dell'idrogeno in settori "hard to abate", analisi tecnico-economiche, impatti sulla riduzione delle emissioni e sperimentazioni su casi selezionati TRL 4-5	RSE	D.1.2.8.1 [M12] Rapporto tecnico "Tecnologie per l'utilizzo dell'idrogeno nei settori "hard to abate": analisi degli sviluppi tecnologici necessari e di applicabilità agli impianti esistenti" D.1.2.8.2 [M24] Rapporto tecnico "Test di combustione di idrogeno su impianti industriali dei settori acciaio e vetro" D.1.2.8.3 [M36] Rapporto tecnico "Sperimentazioni in laboratorio per l'analisi dell'impatto sui processi e sui prodotti dei settori acciaio e vetro" D.1.2.8.4 [M42] Rapporto tecnico "Indicazioni per proposte di progetti finanziati e definizione di una road map per lo sviluppo delle tecnologie di combustione dell'idrogeno nel settore industriale"
WP1.3 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali (totale n° 6 LA) TRL 2-5	ENEA	
WP1.3 – LA1.3.1 Definizione di procedure sperimentali per la qualifica delle prestazioni di celle e moduli a ossidi solidi commerciali operanti in modalità elettrolitica TRL 3-5	ENEA	D1.3.1.1 [M12] Protocolli di testing: armonizzazione dei parametri operativi e standardizzazione delle condizioni per i test elettrochimici D1.3.1.2 [M12] Rapporto Tecnico "Validazione del protocollo preliminare" D1.3.1.3 [M24] Redazione protocolli preliminari di testing armonizzati per moduli SOEC D1.3.1.4 [M30] Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale dei protocolli preliminari di testing armonizzati per moduli SOEC" D1.3.1.5 [M36] Redazione protocolli di testing armonizzati per moduli SOEC D1.3.1.6 [M42] Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale dei protocolli di testing armonizzati per moduli SOEC" D1.3.1.7 [M42] Rapporto Tecnico "Protocolli di testing armonizzati per moduli SOEC"
WP1.3 – LA1.3.2 Protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi per l'elettrolisi,	CNR	D1.3.2.1 [M3] Relazione su protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per materiali funzionali per processi di produzione di idrogeno verde D1.3.2.2 [M12] Relazione sulle procedure di test per materiali funzionali per processi di produzione di idrogeno verde

processi catalitici di gassificazione e reforming, processi biologici e fotoelettrochimici, fotocatalitici e relativa validazione in laboratorio TRL 2-4		D1.3.2.3 [M15]	Relazione sui protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per componenti utilizzati in processi di produzione di idrogeno verde
		D1.3.2.4 [M24]	Relazione sulle procedure di test di componenti utilizzati in processi di produzione di idrogeno verde
		D1.3.2.5 [M30]	Relazione sui protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
		D1.3.2.6 [M36]	Relazione sulle procedure di test per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
		D1.3.2.7 [M40]	Relazione sulle procedure di test per prototipi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
		D1.3.2.8 [M42]	Relazione sulle procedure di test per sistemi completi utilizzati nei processi di produzione di idrogeno verde per applicazioni specifiche
WP1.3 – LA1.3.3 Analisi e ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno, per diverse tecnologie ed in diverse configurazioni che prevedono l'integrazione con fonte solare TRL 4-5	ENEA	D1.3.3.1 [M24]	Rapporto Tecnico "Ottimizzazione delle configurazioni base per le principali tecnologie di produzione dell'idrogeno"
		D1.3.3.2 [M36]	Rapporto Tecnico "Ottimizzazione di configurazioni diverse da quella base per le principali tecnologie di produzione dell'idrogeno. Integrazione con sistemi di accumulo"
		D1.3.3.3 [M36]	Selezione e caratterizzazione di casi studio di utilizzo del vettore idrogeno di particolare rilevanza nel contesto italiano.
		D1.3.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Selezione delle migliori tecnologie e configurazioni per diversi profili di utilizzo del vettore idrogeno prodotto, nel contesto italiano"
WP1.3 – LA 1.3.4 Analisi di sostenibilità ed elaborazione di scenari energetici relativi a processi di produzione di idrogeno TRL 3-5	ENEA	D1.3.4.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Definizione dell'approccio metodologico per LCA, SLCA e valutazione economica. Definizione delle filiere da modellare, delle necessità di dati da raccogliere, delle potenziali elaborazioni"
		D1.3.4.2 [M12]	Realizzazione della suite modellistica necessaria alla valutazione della sostenibilità e alla modellazione degli scenari energetici di produzione di idrogeno
		D1.3.4.3 [M24]	Rapporto Tecnico "Validazione della metodologia e della suite informatica, risultati preliminari per alcune filiere". I modelli informatici e la metodologia definita sono validati con l'utilizzo dei primi dati raccolti secondo quanto definito in D1.3.4.1: Valutazione della sostenibilità e indicazioni di eco-design per le linee di attività corrispondenti a filiere per cui saranno disponibili dati preliminari
		D1.3.4.4 [M24]	Rapporto Tecnico "Scenari energetici preliminari". Elaborazione di scenari energetici nazionali con variabili livelli di penetrazione dell'idrogeno in diversi settori
		D1.3.4.5 [M36]	Rapporto Tecnico "Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di produzione di idrogeno". Inventari e modelli della maggior parte delle tecnologie sviluppate completati e analizzati per quanto riguarda gli aspetti sociali, ambientali ed economici. Indicazioni finali di eco-design
		D1.3.4.6 [M36]	Rapporto Tecnico "Aggiornamento scenari energetici". Aggiornamento degli scenari energetici nazionali di penetrazione dell'idrogeno in diversi settori dell'economia
		D1.3.4.7 [M42]	Rapporto Tecnico "Valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di produzione di idrogeno, sintesi dei risultati in conclusioni e raccomandazioni". Inventari e modelli della maggior parte delle

		D1.3.4.8 [M42]	tecnologie sviluppate completati e analizzati per quanto riguarda gli aspetti sociali, ambientali ed economici con valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di produzione dell'idrogeno Rapporto Tecnico "Aggiornamento finale scenari energetici". Aggiornamento finale degli scenari energetici nazionali di penetrazione dell'idrogeno in diversi settori dell'economia e sintesi dei risultati
WP1.3 – LA1.3.5 Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie di produzione idrogeno. Organizzazione di Summer School tematiche TRL n.a.	ENEA	D1.3.5.1 [M12] D1.3.5.2 [M24] D1.3.5.3 [M36] D1.3.5.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 1° anno" Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 2° anno" Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 3° anno" Rapporto Tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sui temi del trasporto e accumulo di idrogeno"
WP1.3 – LA1.3.6 Sviluppo di programmi di formazione per portare ad una filiera integrata di competenze e per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della produzione di idrogeno verde TRL n.a.	CNR	D1.3.6.1 [M9] D1.3.6.2 [M12] D1.3.6.3 [M24] D1.3.6.4 [M24] D1.3.6.5 [M36] D1.3.6.6 [M36] D1.3.6.7 [M42] D1.3.6.8 [M42]	Relazione sui contratti stipulati con i formandi Relazione sulle nozioni di base fornite su produzione di idrogeno verde ai formandi Realizzazione di almeno un corso di formazione per diplomati in materie tecnico scientifiche ed economiche Relazione sulle attività progettuali dei formandi in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche per la produzione di idrogeno verde a partire da processi elettrochimici, catalitici, biologici, fotocatalitici, etc. Realizzazione di almeno un corso di formazione per laureati e studenti di dottorati in materie tecnico scientifiche ed economiche Relazione sulle attività progettuali dei formandi con valutazione intermedia delle competenze acquisite Relazione sulla formazione finale delle figure professionali nei settori della progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative per la produzione di idrogeno verde inclusi i dottorati industriali e gli assegnisti. Realizzazione di almeno un corso di formazione per personale del settore privato

Obiettivo 2 - Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels

L'Obiettivo 2 è costituito da 5 WPs e 37 LA.

I WPs sono articolati come di seguito descritto:

- WP2.1 (che conta 12 LA) riguarda la filiera tecnologica del PtG/L (*Power to gas, Power to Liquid*) e la transizione dall'uso di combustibili/carburanti fossili verso l'impiego di combustibili sostenibili (green). In particolare, verranno condotte attività di ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G ed e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica.
Principali argomenti trattati: metanolo, e-cherosene ed e-jetfuels; metano e syngas; elettroriduzione della CO₂ e combustibili organici come carrier di idrogeno, alcoli e dimetiletere; metano da CO₂ e H₂; processi biologici (uso CO₂ da biogas); biocatalizzatori; riduzione fotocatalitica e fotoelettrochimica di CO₂ a carrier di idrogeno.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.
- WP2.2 (che conta 8 LA) si occupa di sviluppare tecnologie, componenti, soluzioni e sistemi rivolti alla corretta gestione dei vari elementi di cui è costituita una rete di distribuzione (tubi, valvole, derivazioni, etc.), compresi i sistemi di accumulo e le Hydrogen Refuelling Station (HRS) che rappresentano componenti sostanziali di una rete di distribuzione.
Principali argomenti trattati: sviluppo e adattamento della sensoristica; rivestimenti per gasdotti a base di grafene, polimeri e ceramici/metallici per il trasporto sicuro di idrogeno; separazione idrogeno gas naturale nel mix di rete; combustione di miscele idrogeno-gas e di altri carrier di idrogeno (ad esempio, ammoniaca); blending di idrogeno nelle reti esistenti di gas; studio sulla sicurezza relativa al rilascio, dispersione e combustione accidentale di idrogeno dai gasdotti.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.
- WP2.3 (che conta 8 LA) riguarda lo studio e lo sviluppo di diversi materiali e soluzioni possibili e sostenibili per l'accumulo dell'idrogeno, tra cui: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica.
Principali argomenti trattati: stoccaggio sotto forma di ammoniaca (anche tramite processi fotocatalitici, fotoelettrochimici ed elettrochimici); accumulo di idrogeno allo stato solido tramite fisisorbimento o chemisorbimento (grafene, MOF, PCC, idruri metallici, carboni attivi ecc.); accumulo di idrogeno compresso.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 4.
- WP2.4 (che conta 2 LA) affronta il tema della ricerca, sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno al fine di migliorarne efficienza e ridurre l'occupazione del suolo.
Principali argomenti trattati: studio tecnico-economico; alimentazione da fonti rinnovabili on- e off-grid o da feedstock alternativi (bio- ed e-fuel).
TRL iniziale: 3, TRL finale: 5.
- WP2.5 (che conta 7 LA) si pone l'obiettivo principale di proporre possibili soluzioni per il superamento di alcune barriere non tecnologiche, mettendo a disposizione infrastrutture e

laboratori di ricerca per la conduzione di attività sperimentali di tipo pre-normativo, per la definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e per supportare la formazione di figure professionali.

Principali argomenti trattati: modellazione per blending idrogeno-gas naturale; metodologie e protocolli per sensori; qualifica di e-fuels; protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi; validazione sperimentale in laboratorio; analisi di sostenibilità; formazione e Summer School.

TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.

**WP2.1 - Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi
derivati dall'idrogeno di natura organica**

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

Considerato il crescente utilizzo intensivo di fonti “non programmabili”, le tecnologie di accumulo chimico dell’energia elettrica da fonte rinnovabile risultano sempre più essenziali per i futuri sistemi energetici. In quest’ambito la filiera tecnologica del PtG/L (*Power to gas, Power to Liquid*) e la transizione dall’uso di combustibili/carburanti fossili verso l’impiego di combustibili sostenibili (green) ricoprono un ruolo di primo piano.

Il PtG prevede la conversione di energia elettrica in combustibili gassosi (metano di sintesi o idrogeno); l’idrogeno prodotto da elettrolisi dell’acqua può essere stoccato tal quale, utilizzato in utenze di diverso tipo, riconvertito in elettricità nei periodi di deficit. Diversamente, l’idrogeno prodotto può essere combinato con anidride carbonica (e/o monossido di carbonio) in un processo detto “metanazione” che consente di generare gas naturale sintetico (SNG).

Tra i combustibili green, gli e-fuels sono i combustibili liquidi o gassosi prodotti da CO₂ (di scarto) e da idrogeno di origine elettrolitica. La loro applicazione risulta di interesse per i settori dove l’elettrificazione diretta è di difficile implementazione. Il loro utilizzo può essere sia come sostituto del combustibile fossile, che miscelato con esso. Tra i vantaggi vi è l’alta densità energetica e la presenza di un mercato e di una rete infrastrutturale già disponibile essendo del tutto equivalenti ai corrispondenti fossili. Ulteriore punto di forza è la capacità di agire come energy storage, ovvero stoccaggio energetico a lungo termine consentendo il passaggio dal vettore elettrico al vettore e-fuels, e di conseguenza favorire la penetrazione delle rinnovabili anche non programmabili.

Attualmente i costi degli e-fuels sono ancora elevati, con valori fino a 5 €/l_{deq}, e la disponibilità di energia rinnovabile sia in quantità sia su lungo periodo (arco temporale esteso) rappresenta una criticità da approfondire.

Inoltre, la mancanza di impianti di produzione su scala significativa non permette di raggiungere costi competitivi con gli attuali equivalenti fossili. Tuttavia, la difficoltà di alternative in alcuni settori, comunque da decarbonizzare, impone di sviluppare tali processi ed individuare per ogni settore di utilizzo la soluzione più promettente.

Tra i comparti di utilizzo finale, è da citare l’aviazione che potrà beneficiare dell’implementazione su più larga scala degli e-fuels attraverso la produzione del jet-fuels e dei SAF, in considerazione degli obiettivi che l’iniziativa Refuel Aviation prevede per il settore e della revisione della normativa ETS.

Il contesto nazionale potrebbe vedere, inoltre, un importante ambito di applicazione nell’implementazione dei processi di produzione di e-metano negli impianti di upgrading del biogas a biometano, convertendo la CO₂ attualmente ventata nell’off-gas in ulteriore metano, con una potenziale produzione al 2030 di circa 5,3 miliardi di Sm³/anno. In tale contesto si potrebbe utilizzare un parco impiantistico già esistente e di futuro adeguamento alla nuova normativa ed incentivazione del biometano, attraverso l’implementazione di sezioni di upgrading.

WP2.1 - LA2.1.1

Attività sperimentale di sintesi catalitica selettiva di e-cherosene e sviluppo di modelli per la produzione di e-jetfuel nel contesto nazionale

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Claudia Bassano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 250.978,90

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 850.978,90

Descrizione attività:

Tra i combustibili green, gli e-fuels sono i combustibili liquidi o gassosi da idrogeno di origine elettrolitica. Tra i processi di sintesi di e-fuels proposti, in un'ottica di chiusura del ciclo del carbonio, particolarmente attrattiva è la possibilità di utilizzare idrogeno green per convertire la CO₂ in combustibili idrocarburici con natura analoga agli omologhi di origine fossile, ma con impronta carbonica nulla. L'applicazione degli e-fuels risulta di grande interesse specialmente per quei settori dove l'elettrificazione diretta è di difficile implementazione, come il settore dell'aviazione. Le tecnologie alla base dei processi di produzione degli e-fuels per applicazioni aeronautiche presentano un basso TRL, ed è ancora necessario agire sui gap tecnologici intrinseci di una nuova tecnologia, quali ad esempio: i) lo studio su nuovi catalizzatori al fine di migliorare le rese dei singoli processi (minori OPEX), ii) la riduzione del numero di apparecchiature (minori CAPEX), iii) l'ottimizzazione degli schemi impiantistici per configurazioni reattoristiche avanzate e nuovi schemi di processo, iv) l'integrazione dei processi e le attività di indagine sul comportamento in condizioni dinamiche nelle fasi di start-up, stato stazionario e spegnimento.

La presente LA analizzerà lo stato dell'arte delle tecnologie di produzione degli e-fuels per applicazioni aeronautiche e la loro implementazione nel contesto nazionale. Verranno individuate le configurazioni impiantistiche più promettenti e sarà svolta un'analisi tecnico ambientale indicando i vantaggi e le barriere dell'implementazione di tali e-fuels. Sulla base della definizione delle configurazioni più idonee, si svilupperà un'analisi economica finalizzata alla determinazione del costo specifico di produzione paragonato ai costi dei combustibili fossili e parametrizzato in funzione del costo dell'energia elettrica e della CO₂ nel mercato ETS.

Relativamente all'analisi del processo di produzione di e-fuels destinati all'aviazione (e-jetfuel o e-cherosene) va indicato che questo – secondo quanto riportato dalla letteratura di settore – avviene attraverso la sintesi di Fischer-Tropsch (reazione che porta alla produzione di un grezzo composto da più frazioni idrocarburiche), seguita da uno stadio di raffinazione della miscela prodotta (separazione fisica tra i diversi tagli idrocarburici e processi catalitici di upgrading). Al fine di focalizzare la resa verso i prodotti liquidi di interesse, in questa linea di attività sarà sviluppato un processo catalitico innovativo a singolo stadio in grado di processare miscele CO₂/H₂ ottenendo miscele di idrocarburi, liquide a temperatura ambiente e pressione atmosferica, direttamente utilizzabili come jet-fuel.

L'attività sperimentale prevista verrà svolta in un impianto di laboratorio prototipale, della taglia di 10 grammi di catalizzatore.

I dati sperimentali raccolti nel suddetto impianto verranno impiegati per lo sviluppo di un modello cinetico che sarà, poi, implementato in un simulatore di processo commerciale, per l'analisi tecnico-economica ed ambientale. In questo modo si valuteranno differenti configurazioni impiantistiche e

reattoristiche allo scopo di ottimizzare il processo produttivo sia in termini di layout di impianto sia per le condizioni operative. Verranno, altresì, analizzati aspetti legati all'integrazione energetica di processo.

In tale ambito, in considerazione delle competenze ed esperienze consolidate nel settore, ci si intende avvalere della collaborazione del Politecnico di Milano, Dipartimento di Energia, che verterà sulla preparazione, la caratterizzazione e il test di attività catalitica alla scala di laboratorio di catalizzatori multifunzionali in grado di promuovere contemporaneamente, in un singolo reattore catalitico, la reazione di Fischer-Tropsch (conversione di miscele di CO_2/H_2 in idrocarburi ad elevato peso molecolare) e quella di hydrocracking (rottura delle catene idrocarburiche più lunghe con formazione di idrocarburi nel range dei jet-fuels).

Risultati attesi:

Gli studi realizzati in questa linea di attività consentiranno di sviluppare una nuova tecnologia per la produzione di e-fuels per applicazioni nel settore aeronautico a partire da idrogeno rinnovabile e CO_2 , nonché di giungere alla progettazione di un impianto pilota e all'analisi tecnico-economica-ambientale di tutta la filiera.

Le milestone attese sono descritte di seguito:

- M2.1.1.1 [M6] Analisi dello stato dell'arte di catalizzatori e vie di sintesi per la produzione di idrocarburi idonei ad applicazioni aeronautiche a partire da miscele CO_2/H_2
- M2.1.1.2 [M9] Definizione di un layout e predisposizione dell'offerta di un reattore per la conversione di distillati medi da miscele CO_2/H_2
- M2.1.1.3 [M12] Realizzazione e collaudo del prototipo del reattore per la produzione di jetfuels da miscele H_2/CO_2 su scala di laboratorio
- M2.1.1.4 [M18] Preparazione/reperimento, caratterizzazione e studio di reattività di catalizzatori al ferro per la conversione di miscele CO_2/H_2 in idrocarburi e a base di zeoliti per il cracking idrogenante dei prodotti pesanti
- M2.1.1.5 [M24] Test di laboratorio a singolo reattore, in presenza di un catalizzatore Fischer-Tropsch e di un catalizzatore di hydrocracking, al variare del rapporto tra i due catalizzatori e della configurazione del letto catalitico (miscela meccanica dei due catalizzatori, oppure letti in serie)
- M2.1.1.6 [M30] Preparazione, caratterizzazione e testing di catalizzatori innovativi multifunzionali aventi sia funzionalità di crescita di catena sia di hydrocracking in un unico pellet
- M2.1.1.7 [M30] Analisi e sviluppo di un modello del processo di produzione di idrocarburi a catena lunga attraverso la sintesi di Fischer Tropsch mediante l'utilizzo di software di simulazione impiantistica a supporto dell'attività di testing
- M2.1.1.8 [M36] Sviluppo di un modello cinetico per la sintesi di jet-fuel da miscele di CO_2/H_2
- M2.1.1.9 [M36] Analisi dell'implementazione del modello cinetico nel modello del processo sviluppato precedentemente e della conversione dei reagenti e della selettività dei prodotti in funzione delle condizioni operative, validazione del modello con i risultati dei test sperimentali
- M2.1.1.10 [M42] Design di un reattore catalitico appropriato per la conversione di miscele CO_2/H_2 in distillati medi
- M2.1.1.11 [M42] Analisi economica finalizzata e determinazione del costo specifico di produzione paragonato ai costi dei combustibili fossili e parametrizzato in funzione del costo dell'energia elettrica e della CO_2 nel mercato ETS

Output:

D2.1.1.1 [M12]	Rapporto tecnico "Design di un impianto prototipale per la produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ su scala di laboratorio"
D2.1.1.2 [M12]	Prototipo e collaudo del reattore per la produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ su scala di laboratorio
D2.1.1.3 [M24]	Rapporto tecnico "Produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ in singolo stadio catalitico utilizzando un catalizzatore Fischer-Tropsch e un catalizzatore di hydrocracking"
D2.1.1.4 [M36]	Rapporto tecnico "Produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ in singolo stadio catalitico utilizzando catalizzatori bifunzionali"
D2.1.1.5 [M42]	Rapporto tecnico "Design preliminare di un reattore catalitico alla scala pilota per la produzione one-pot di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ "

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.1 – LA2.1.2

Processi innovativi di produzione di DME mediante la conversione catalitica della CO₂ e idrogeno elettrolitico

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Rosanna Viscardi

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 154.419,87

Costo totale LA (escluse spese generali): € 654.419,87

Descrizione attività:

La presente LA è incentrata sullo sviluppo di processi innovativi di produzione di DME mediante la conversione catalitica della CO₂ e idrogeno elettrolitico. La possibilità di usare il DME come alternativa al GPL o al diesel rappresenta una importante opportunità sia per il sistema industriale che per l'utenza finale. La necessità di ridurre drasticamente in tempi medio-brevi le emissioni di gas clima alteranti, in particolare di biossido di carbonio, impone l'adozione di strategie di ampio respiro che investano tutti i processi nei quali è prevista una combustione. Uno dei settori che contribuisce alle emissioni di CO₂ è quello dei trasporti.

La transizione verso l'utilizzo di combustibili a minore impatto ambientale è un processo probabilmente necessario, prima di arrivare a soluzioni ad emissioni zero, come i veicoli elettrici o ad idrogeno. Fra le possibili soluzioni alternative ai combustibili di origine fossile, vi è il dimetil-etere (DME) ottenibile da CO₂ e idrogeno. La sintesi diretta del DME da idrogeno e CO₂ rappresenta una sfida di frontiera che richiede la ricerca di tecnologie e soluzioni adeguate. La suddetta LA è focalizzata sull'integrazione di una serie di tecnologie per la produzione di dimetiletere mediante idrogenazione dell'anidride carbonica. Puntando sull'utilizzazione di varie fonti della CO₂, ci si propone di sfruttare le potenzialità intrinseche di sistemi chimici ed elettrochimici - ancora allo stadio di sperimentazione su scala da laboratorio - al fine di sviluppare nuovi combustibili alternativi che risultino sostenibile da un punto di vista industriale ed economico e con un livello di maturità tecnologica più elevato (TRL 5). In particolare, si esplorerà l'efficienza di due sistemi separati, potenzialmente integrati, basati rispettivamente sul completamento di un impianto pilota che opera ad alte pressioni per la sintesi del DME e l'idrogeno prodotto mediante un elettrolizzatore alcalino.

Si studierà, inoltre, la flessibilità operativa del sistema che verrà dimostrata e verificata in un ambiente rilevante in presenza di una fonte di emissione di CO₂. Il focus del progetto è incentrato sulla innovazione di processo, in termini di efficienza energetica e riduzione dei costi, puntando sull'ottimizzazione dei catalizzatori convenzionali e, quindi, sullo sviluppo di materiali più promettenti e innovativi.

In considerazione delle competenze ed esperienze consolidate nel settore, ci si intende avvalere della collaborazione dell'Università di Parma, per lo sviluppo di sistemi catalitici innovativi, scale-up di processi di sintesi e nuove metodologie di approccio sintetiche (sintesi meccanochimica).

Risultati attesi

M2.1.2.1 [M18]	Allestimento dell'impianto pilota per la sintesi dell'e-DME e relativa sperimentazione
M2.1.2.2 [M36]	Sperimentazione di sistemi catalitici innovativi per la sintesi diretta dell'e-DME
M2.1.2.3 [M36]	Studio dei meccanismi cinetici e di disattivazione dei catalizzatori innovativi per la sintesi diretta dell'e-DME
M2.1.2.4 [M42]	Scale-up del processo per la sintesi diretta dell'e-DME

Output

D2.1.2.1 [M18]	Disponibilità pilota per la sintesi dell'e-DME e relativa sperimentazione
D2.1.2.2 [M36]	Rapporto Tecnico "Campagna sperimentale con sistemi catalitici innovativi per la sintesi diretta dell'e-DME"
D2.1.2.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Meccanismi cinetici e di disattivazione dei catalizzatori innovativi per la sintesi diretta dell'e-DME"
D2.1.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Scale-up del processo per la sintesi diretta dell'e-DME"

TRL (inizio-fine): 3-5

WP2.1 - LA2.1.3

Sviluppo di reattori a membrana per la sintesi di metanolo e altri e-fuel

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Nadia Cerone

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 350.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 350.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 260.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.210.000,00

Descrizione attività:

La sintesi di metanolo da CO₂ biogenica e idrogeno ottenuto da energia rinnovabile è uno degli asset dell'approccio P2L. Uno degli svantaggi della reazione per la sintesi del metanolo è la bassa conversione per passaggio a causa dei limiti posti dall'equilibrio termodinamico. Infatti, il processo industriale si basa sul riciclo dei reagenti non convertiti finché non viene raggiunta una conversione economicamente conveniente. L'aumento di conversione per passaggio è uno degli elementi chiave per ridurre i costi di produzione. L'uso di reattori a membrana può migliorare la resa per passaggio, poiché, rimuovendo i prodotti di reazione, metanolo e/o acqua, è possibile spostare l'equilibrio nella

direzione voluta aumentando la resa al prodotto desiderato, oltre la soglia termodinamica prevista in un sistema chiuso.

Questo approccio è stato ampiamente impiegato nelle reazioni di deidrogenazione, utilizzando membrane Pd, che sono permselective all'idrogeno. Inizialmente sono state utilizzate membrane a base organica (Nafion) che hanno fornito buone prestazioni, ma si sono dimostrate non stabili nell'ambiente di reazione. Recentemente è stata dimostrata l'efficienza delle membrane di zeoliti semipermeabili in reattori catalitici per la sintesi del metanolo. L'obiettivo della LA è volto all'introduzione ed utilizzo nei reattori di conversione di tale tipologia di membrane innovative.

Saranno, dunque, selezionate e sintetizzate le membrane zeolitiche più promettenti (MOR, CHA) che sono stabili nelle condizioni di reazioni e selettive alla permeazione di acqua e/o di metanolo. Per ottenere MeOH di elevata purezza con un processo semplice, è necessario disporre di una membrana che sottragga solo molecole di H₂O. I materiali sviluppati dovranno, inoltre, essere supportati su inerti porosi, tipicamente tubi di allumina.

Sarà poi realizzato un prototipo su skid in grado di trattare 0,1-0,2 Nm³/h di mix gassoso H₂/CO/CO₂/N₂ il cui cuore sarà costituito da un tubo in allumina ricoperto da zeolite sintetizzata o deposta sulla sua superficie.

Per quanto riguarda la sintesi del metanolo, si utilizzerà un catalizzatore commerciale del tipo Cu/ZnO/Al₂O₃, confinato da un lato del cilindro.

Il reattore a membrana di zeolite realizzato per la sintesi di metanolo potrà essere utilizzato per altre reazioni, come Fischer-Tropsch o la produzione di DME, nelle quali uno dei prodotti è costituito da acqua e che quindi, in linea teorica, dovrebbero beneficiare della permeazione selettiva di questo prodotto.

In considerazione delle competenze ed esperienze consolidate nel settore, ci si intende avvalere della collaborazione dell'Università della Calabria, per supporto alle attività relative alla sintesi delle membrane zeolitiche.

Risultati attesi:

Le zeoliti, essendo materiali inorganici, possono resistere a temperature più elevate rispetto alle membrane polimeriche. Nonostante l'interesse per le possibili applicazioni delle membrane zeolitiche in tale ambito, non sono attualmente disponibili studi sistematici sulla permeabilità e selettività delle membrane in condizioni rilevanti per la produzione di metanolo. Lo studio di nuove membrane di tipo zeolitico richiede importanti studi e sviluppi agendo sulla composizione e sulle tecniche di deposizione su supporti inerti.

Dallo studio condotto si attendono, dunque, i seguenti risultati:

M2.1.3.1 [M12]	Progettazione reattore e sistemi di controllo
M2.1.3.2 [M24]	Acquisizione sistema completo e montaggio su skid
M2.1.3.3 [M30]	Sintesi di membrane inorganiche/zeolitiche e loro caratterizzazione
M2.1.3.4 [M30]	Sintesi di MeOH
M2.1.3.5 [M42]	Prova di sintesi di altri possibili e-fuel

Output:

D2.1.3.1 [M36]	Rapporto Tecnico "Sintesi di membrane zeolitiche semipermeabili"
D2.1.3.2 [M36]	Prototipo di reattore a membrana per la sintesi di metanolo ed e-fuel
D2.1.3.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Sintesi di metanolo e altri possibili e-fuel a partire da syngas"

TRL (inizio-fine): 4-5

WP2.1 - LA2.1.4

Sviluppo di processi di co-elettrolisi ad alta temperatura di CO₂ e vapor d'acqua per la produzione di diretta di metano e syngas mediante l'uso di celle ad ossidi solidi operanti ad alta temperatura

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Massimo Viviani

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 67.519,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 119.114,27

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 132.995,73

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 96.371,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 416.000,00

Descrizione attività:

Sulla base dell'esperienza pregressa, in questa LA si propone di sviluppare materiali e componenti innovativi da integrare in una cella a larga area proof-of-concept per un dispositivo SOEC operante a temperature intermedie per la co-elettrolisi di CO₂ e H₂O e la produzione di syngas arricchito con metano. Le celle SOEC avranno geometria planare ad elettrolita ed elettrodo supportante.

Nella prima annualità verrà effettuata un'attenta ricerca bibliografica al fine di individuare quali siano le fasi elettrodiche ed elettrolitiche più promettenti e stabili per l'applicazione in celle SOEC per la co-elettrolisi. Ulteriore obiettivo sarà anche quello di sintetizzare in laboratorio almeno una delle fasi individuate nella precedente ricerca bibliografica in quantità idonee alla produzione di semicelle e celle di dimensione ridotta (button cell).

Nella seconda annualità, saranno in primo luogo messe a punto le procedure di preparazione di elettrodi e elettroliti innovativi selezionati durante la prima annualità. Ciò richiederà anche uno studio chimico-fisico ed elettrochimico che dovrà individuare i materiali più promettenti.

Successivamente (terza annualità), potranno essere sviluppate le metodiche di preparazione di celle planari di piccola dimensione. In questa fase sarà determinante realizzare inchiostri e paste dei materiali, determinare la quantità opportuna di pore former e valutare le procedure di deposizione e di trattamento termico per raggiungere l'obiettivo di un successivo scale-up relativo alla fabbricazione di celle a larga area, con una ottimale adesione tra gli elementi (interlayers), morfologia ottimale e assenza di distorsioni. Tra le altre tecniche di realizzazione degli strati supportanti, particolare attenzione sarà rivolta al colaggio su nastro seguito da sinterizzazione reattiva.

Nell'ultima annualità, si procederà con la realizzazione e dimostrazione di una cella a larga area quale proof-of-concept di un dispositivo per la co-elettrolisi di CO₂ e H₂O e produzione di syngas arricchito con metano. Nella fattispecie dovranno essere valutati oltre che le prestazioni elettriche anche la qualità del gas e la resa faradica. Infine, la cella a larga area dovrà essere valutata sperimentalmente in operando e a fine vita con lo scopo di determinare le caratteristiche di funzionamento e degrado.

Primo anno: analisi comparativa dei risultati ottenuti con lo stato dell'arte internazionale, selezione di un set di materiali per la verifica sperimentale del concetto di funzionamento (TRL 2-3) [M3 analisi stato dell'arte; M12 selezione dei materiali da sviluppare].

Secondo anno: Preparazione e caratterizzazione chimico fisica ed elettrochimica di i) formulazioni catodiche a base di perovskiti exsolute e di leghe di Ni per la conversione diretta di H₂O e CO₂ in metano; ii) formulazioni di perovskiti (gallati) o fluoriti (cerie) con conducibilità anionica migliore dell'YSZ; iii) catodi a base di ferriti o ferrocobaltiti migliori con sovrapotenziali migliori del LSM e

LSFC. Saranno preparate quantità adeguate alla realizzazione di almeno 3 celle a larga area. Sviluppo di colate ad-hoc per la produzione di supporti anodici mediante tape casting considerando la tecnica di “sinterizzazione reattiva” che permette la contestuale formazione della fase di interesse durante il processo di consolidamento del manufatto anodico. Risultati della seconda annualità saranno anche prototipi di supporti catodici per le celle standard (TRL 2-3) [M16 sviluppo anodi; M20 sviluppo elettroliti; M24 sviluppo catodi].

Terzo anno: Realizzazione e testing di celle singole di piccola area attiva (button cell). In queste attività rientrano la preparazione di inchiostri e l’ottimizzazione delle procedure di deposizione e di trattamento termico per ottimizzare l’adesione dello strato protettivo e l’elettrodo. (TRL 3-4) [M28 sviluppo slurry; M32 ottimizzazione deposizione e trattamento termico; M36 testing button cell]

Quarto anno: Messa a punto dell’assemblaggio, del sealing elettrico e gas, il testing elettrochimico e l’analisi chimico-fisica del device a fine vita (TRL 4) [M39 ottimizzazione sealing; M 41 assemblaggio cella a larga area; M24 testing elettrochimico cella a larga area].

Risultati attesi:

M2.1.4.1 [M3]	Stechiometrie anodiche con sovrapotenziali migliori di LSM
M2.1.4.2 [M6]	Stechiometrie elettrolitiche per funzionamento a temperature intermedie e conducibilità migliore di YSZ
M2.1.4.3 [M12]	Stechiometrie catodiche con reversibilità migliore del Ni
M2.1.4.4 [M18]	Nuove strategie sintetiche per l’ottenimento di polveri anodiche, elettrolitiche e catodiche con purezza stechiometrica e strutturale
M2.1.4.5 [M21]	Celle innovative per il funzionamento a temperature intermedie
M2.1.4.6 [M24]	Scale-up sintesi di polveri per almeno tre celle a larga area (100gr)
M2.1.4.7 [M36]	Realizzazione di button cell
M2.1.4.8 [M42]	Realizzazione cella a larga area (5 cm X 5 cm)

Output:

D2.1.4.1 [M12]	Report “Review comparativa stato dell’arte internazionale”; Report “Materiali in via di sviluppo e loro caratterizzazione”
D2.1.4.2 [M12]	Report “Metodologie e protocolli per la sintesi di laboratorio e la caratterizzazione delle fasi selezionate”
D2.1.4.3 [M24]	Batch di almeno 100 gr di materiali selezionati come i) catodo per la produzione diretta di metano, ii) elettrolita per il funzionamento a temperature intermedie, iii) anodi con sovrapotenziale adeguato agli scopi del progetto
D2.1.4.4 [M36]	Protocollo di produzione di celle SOEC a larga area (25 cm ²) aventi una resistenza ohmica complessiva inferiore a 0,15 Ωcm ² a 750 °C
D2.1.4.5 [M42]	Dimostrazione di un degrado inferiore al 10% / 1000 h misurato tramite curve I-V e perdite di gas inferiore al 10% misurata tramite GC o analisi di pressione

TRL (inizio-fine): 2-4

WP 2.1 - LA2.1.5

Sviluppo di celle polimeriche anioniche di co-elettrolisi operanti a bassa temperatura per la produzione diretta di combustibili organici rinnovabili come carrier di idrogeno

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Sabrina Campagna Zignani

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 38.200,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 48.500,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 47.500,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 25.800,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 160.000,00

Descrizione attività:

L'elettroriduzione della CO₂ in fase gassosa evita le limitazioni dovute al trasporto di massa osservato nei sistemi liquidi. Nelle celle ad elettrolita polimerico, una membrana a scambio anionico sostituisce l'elettrolita liquido minimizzando i fenomeni di corrosione dovuti all'utilizzo di soluzioni alcaline. Inoltre, sono utilizzati metalli non nobili come elettrocatalizzatori a base di rame (CuSn e CuZn) per la reazione di riduzione della CO₂. Il progetto di ricerca intende sviluppare catalizzatori non nobili di nuova generazione, membrane anioniche stabili ed elettrodi innovativi da validare in celle elettrochimiche su scala da laboratorio (5cm²). È di fondamentale importanza acquisire una profonda comprensione dei meccanismi di reazione, dell'evoluzione del catalizzatore in condizioni operative elettrochimiche e dell'influenza della composizione elettrolitica sul processo di conversione globale mediante l'applicazione di tecnologie avanzate in-operando.

Verrà effettuata una indagine approfondita dei meccanismi di reazione e l'analisi di impedenza complessa. Verranno poi valutati fattori quali l'interazione dell'elettrocatalizzatore con la fase ionomerica la quale ha una profonda ripercussione sull'ottimizzazione della percolazione ionica-elettronica.

La presente LA si articolerà in 4 attività annuali, come di seguito descritte.

Sviluppo di catodi (M1-12). Sviluppo di catodi innovativi a base di leghe di Cu. L'inserimento di un eteroatomo (i.e., Zn, o Sn) in lega al rame ha la capacità di alterare l'energia di adsorbimento/desorbimento superficiale sull'atomo di Cu adiacente e può anche fornire siti di adsorbimento/desorbimento per alcuni intermedi per facilitare il processo catalitico. Queste leghe possono fornire prestazioni e stabilità superiori per la riduzione della CO₂ a combustibili carboniosi ad alta densità energetica.

Sviluppo di anodi alternativi agli spinelli a base di nichel e cobalto e alle perovskiti a base di lantanidi. Pertanto, si intende proporre catalizzatori nanometrici (5-10 nm) con superfici attive > 100 m²/g e costituiti da soluzioni solide di ossidi di Ni e Fe o Ni e Mn con struttura a spinello (ad esempio NiFe₂O₄, NiMn₂O₄, eventualmente drogati con Cu sul sito B) e LDH, ad es. Ni_{1-x}Fe_xOOH. Anche in questo caso, queste nanoparticelle dovranno poi essere disperse su supporti conduttivi o depositati direttamente sulla membrana.

Sviluppo di membrane (M13-36). Saranno valutate membrane a scambio anionico, sia a base di perfluorosolfonici che di poliaromatici quaternarizzati, per garantire alta capacità di scambio ionico (IEC), alta conducibilità anionica e ridotto swelling. Sarà selezionato il polimero più promettente per l'applicazione finale e saranno ottimizzate le membrane corrispondenti mediante lo studio dei parametri quali solubilità, tipo di solvente, concentrazione e temperatura. Le membrane sviluppate saranno caratterizzate in termini di IEC, water uptake, variazioni dimensionali, termogravimetria, analisi dinamo-meccaniche, conducibilità ionica.

Preparativa di elettrodi e MEA [M24-36]. Sarà effettuato uno studio di solubilità in solventi organici e idroalcolici per lo sviluppo di ionomeri a partire dal polimero selezionato nel WP3. Saranno sviluppate strutture elettrodiche e assemblati membrana-elettrodo (MEA) sia in configurazione CCM che GDE. L'ottimizzazione sarà attuata attraverso la valutazione del catalizzatore utilizzato, la quantità di ionomero ottimale e i solventi più idonei per la preparazione dell'inchiostro catalitico.

Test in cella singola [M36-42]. Accoppiando gli elettrodi sviluppati a membrane commerciali o sviluppate nell'ambito del progetto saranno realizzati MEA su scala di laboratorio (5 cm²), che saranno caratterizzati elettrochimicamente per valutare sia le prestazioni che la durata.

Risultati attesi:

M2.1.5.1 [M6]	Sviluppo di membrane per i test su scala di laboratorio in cella singola co-elettrolisi in un'ampia gamma di temperature. Caratterizzazione chimico-fisica completa ed elettrochimica preliminare
M2.1.5.2 [M12]	Sviluppo e fabbricazione di catalizzatori ad alta efficienza per i test su scala di laboratorio in cella singola co-elettrolisi in un'ampia gamma di temperature. Caratterizzazione chimico-fisica completa ed elettrochimica preliminare
M2.1.5.3 [M15]	Validazione preliminare dei componenti funzionali in test di co-elettrolisi
M2.1.5.4 [M21]	Valutazione delle prestazioni e selettività dei singoli componenti e della stabilità del MEA in cella singola
M2.1.5.5 [M24]	Raggiungimento di una densità di corrente per i MEA > 300 m Acm ⁻² a 1,8 V in condizioni operative ottimizzate
M2.1.5.6 [M36]	Selezione e ottimizzazione dei materiali più promettenti, sia membrane che catalizzatori, per la realizzazione di MEA da validare in cella singola
M2.1.5.7 [M39]	Validazione dei processi in cella singola in termini di selettività >80% verso combustibili liquidi (C1-C4)
M2.1.5.8 [M42]	Dimostrazione dell'efficienza complessiva dell'elettrolisi a CO ₂ di circa il 70%
M2.1.5.9 [M42]	Raggiungimento dell'85% di conversione faradica verso combustibili liquidi ad alta efficienza in tensione (> 80%)

Output:

D2.1.5.1 [M12]	Sintesi e caratterizzazione chimica fisica dei materiali
D2.1.5.2 [M24]	Caratterizzazioni elettrochimiche preliminari in cella singola per la selezione dei materiali
D2.1.5.3 [M36]	Valutazione della conversione elettrochimica della CO ₂
D2.1.5.4 [M42]	Convalida delle prestazioni e prodotti di reazioni

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.1 - LA2.1.6

Processi catalitici per la conversione di idrogeno in carrier liquidi di natura organica come alcoli e dimetiletere

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Giuseppe Bonura

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 115.425,55

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 155.111,81

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 153.868,53

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 87.594,11

Costo totale LA (escluse spese generali): € 512.000,00

Descrizione attività:

Un vettore di idrogeno ideale non dovrebbe essere solo in grado di immagazzinare un alto contenuto di idrogeno, ma anche soddisfare altri requisiti in materia di stabilità, velocità di reazione,

costo, sicurezza e compatibilità con la tecnologia e le strutture esistenti. Rispetto ad altri vettori circolari di idrogeno, il metanolo, l'acido formico ed il dimetiletere possono avere il maggiore impatto sulla tecnologia di stoccaggio, soprattutto se coniugati alle filiere di sequestro e utilizzo della CO₂, contribuendo efficacemente ad una mitigazione delle problematiche ambientali. Le fasi di stoccaggio e rilascio di idrogeno possono avvenire in due processi chimici accoppiati, costituiti rispettivamente dalla sintesi esotermica del vettore liquido organico, seguito da "steam reforming" endotermico e/o deidrogenazione.

Lo studio condotto nell'ambito della presente LA sarà articolato secondo le attività di seguito descritte.

In dettaglio, saranno studiate le seguenti reazioni: i) Idrogenazione della CO₂ ad acido formico (HCOOH); ii) Idrogenazione di CO₂ a metanolo (MeOH); iii) Deidratazione di MeOH a dimetiletere (DME); iv) Realizzazione di un processo a cascata di idrogenazione/deidratazione, da CO₂ e H₂ a DME. M1-M12 (TRL da 2 a 3).

(A.1.1) Design e sintesi di leganti di tipo pincer e catalizzatori omogenei di metalli non-nobili; test catalitici preliminari e benchmarking vs. Ru; (A.1.2) Design e testing di catalizzatori eterogenei per idrogenazione di CO₂ a MeOH e deidratazione di MeOH a DME: effetto dell'ossido/ossido misto; caratterizzazione dei catalizzatori; (A.1.3) Sviluppo di nuovi nanocompositi catalitici a base di ossidi metallici (Cu, Mn, Ga, Zn, Zr, etc.) mediante processo di robocasting basato su stampa 3D; (A.1.4) Analisi delle prestazioni di un reattore a membrana in continuo per la conversione di MeOH a DME, con membrane commerciali catalitiche (γ -Al₂O₃, ZSM-5, SOD); studio della fluidodinamica del sistema, i.e. riduzione dei fenomeni di disattivazione da acqua.

M13-M24 (TRL da 2 a 3-4).

(A.2.1) Test di catalizzatori omogenei nella idrogenazione di CO₂ a HCOOH: screening dei parametri di reazione e tipo di additivi; (A.2.2) Design, di catalizzatori eterogenei a base di Cu per idrogenazione di CO₂ a MeOH: i) effetto del metodo di preparazione; ii) deposizione su membrana; (A.2.3) Caratterizzazione analitica, morfologica, strutturale e superficiale dei sistemi strutturati; (A.2.4) Sviluppo e analisi di un reattore a membrana in continuo per l'idrogenazione di CO₂ a MeOH, con le membrane catalitiche sviluppate in A.2.2.

M25-M36: (TRL da 2 a 4).

(A.3.1) Test di catalizzatori omogenei nella idrogenazione di CO₂ a MeOH: ottimizzazione parametri di reazione e performance di sistemi 3D; (A.3.2) Design, caratterizzazione e test preliminari di catalizzatori eterogenei per idrogenazione di CO₂ a MeOH e deidratazione di MeOH a DME: i) effetto del carico di rame; ii) effetto di ossidi misti (In, Mn, Zn, ...); iii) deposizione su membrana; (A.3.3) Studi in situ/operando tramite camera ambientale Praying Mantis, operante ad alta temperatura e pressione e collegata ad un spettrometro infrarosso in modalità DRIFT per studiare la natura della specie transienti e identificare i siti attivi e gli intermedi di reazione più stabili (A.3.4) Analisi delle prestazioni di un reattore catalitico con membrane commerciali di LTA integrate con pellet catalitici. M37-M42 (TRL da 3 a 4).

(A.4.1) Test dei catalizzatori omogenei nella deidrogenazione di HCOOH e MeOH in batch e continuo: ottimizzazione per massima produttività di idrogeno; (A.4.2) Design e caratterizzazione di catalizzatori multifunzionali eterogenei per conversione diretta di idrogeno e CO₂ a DME; studio della reazione di deidrogenazione del MeOH; (A.4.3) Sperimentazione dei sistemi strutturati, individuazione di correlazioni struttura-reattività; (A.4.4) Valutazione delle prestazioni di un sistema integrato a membrana a doppio stadio con test di lunga durata; Prove di stabilità catalitica e analisi chimico-fisica dei sistemi catalitici post-reazione.

Risultati attesi:

M.2.1.6.1 [M3] Aggiornamento su bibliografia e stato dell'arte

- M.2.1.6.2 [M3] Assemblaggio apparato sperimentale per misure di reazione
- M.2.1.6.3 [M6] Sintesi di un catalizzatore ibrido di riferimento a base di CuO-ZnO-Al₂O₃ mediante coprecipitazione in fase slurry su un supporto acido di γ -Al₂O₃
- M.2.1.6.4 [M9] Sintesi di nuovi catalizzatori omogenei basati su opportune combinazioni metallo-leganti, privilegiando metalli non rari (Fe, Mn) e leganti funzionali di tipo pincer PNP
- M.2.1.6.5 [M9] Definizione di nuove formulazioni catalitiche con ossidi misti alternativi in grado di attivare la CO₂ a bassa temperatura (Cu, Mn, Ga, Zn, Zr, etc.) e combinazione con matrici solidi di natura zeolitica
- M.2.1.6.6 [M9] Benchmarking di un reattore a membrana catalitica per la produzione di DME da MeOH
- M.2.1.6.7 [M12] Test preliminari di idrogenazione di CO₂ in fase omogenea e benchmarking
- M.2.1.6.8 [M12] Individuazione del migliore supporto per la realizzazione di catalizzatori eterogenei per le reazioni di idrogenazione di CO₂ a MeOH e di deidratazione di MeOH a DME
- M.2.1.6.9 [M12] Sintesi dei sistemi catalitici strutturati mediante robocasting
- M.2.1.6.10 [M15] Caratterizzazione analitica, morfologica, strutturale e superficiale dei sistemi strutturati
- M.2.1.6.11 [M18] Screening preliminare dei sistemi preparati per la idrogenazione catalitica della CO₂ in un reattore convenzionale e individuazione delle principali problematiche operative
- M.2.1.6.12 [M18] Individuazione del miglior metodo di preparazione, in termini di dispersione e morfologia della fase metallica, per i catalizzatori eterogenei a base di Cu per le reazioni di idrogenazione di CO₂ a MeOH. Preparazione di membrane catalitiche
- M.2.1.6.13 [M18] Ottimizzazione di processo per la reazione di idrogenazione di CO₂ a HCOOH in sistemi omogenei, in condizioni blande di reazione (T<100 °C, P<90 bar), minima quantità di catalizzatore e additivi
- M.2.1.6.14 [M24] Testing di catalizzatori ibridi strutturati preparati mediante robocasting
- M.2.1.6.15 [M27] Individuazione delle migliori condizioni operative di un reattore a membrana catalitica per la conversione di CO₂ e H₂ a MeOH
- M.2.1.6.16 [M30] Analisi spettroscopica in situ/operando (variabili operative) e definizione di un meccanismo di reazione in catalisi eterogenea
- M.2.1.6.17 [M33] Ottimizzazione della procedura di robocasting ai fini della riproducibilità e stabilità chimica, termica e meccanica
- M.2.1.6.18 [M36] Ottimizzazione di processo per la reazione di idrogenazione di CO₂ a MeOH in sistemi omogenei, in condizioni moderate di reazione (T<150 °C, P<120 bar), minima quantità di catalizzatore e additivi
- M.2.1.6.19 [M36] Ottimizzazione del carico di Cu nei catalizzatori eterogenei per le reazioni di idrogenazione di CO₂ a MeOH, individuazione della migliore formulazione catalitica per le reazioni di idrogenazione di CO₂ a MeOH, deidratazione di MeOH a DME
- M.2.1.6.20 [M36] Testing di un reattore con catalizzatore impaccato e membrana selettiva al vapore acqueo per la produzione di DME da MeOH.
- M.2.1.6.21 [M39] Sperimentazione dei sistemi strutturati e ottimizzazione delle condizioni di processo per massimizzare la resa complessiva a MeOH e DME.
- M.2.1.6.22 [M42] Prove di stabilità catalitica e analisi chimico-fisica dei sistemi catalitici post-reazione.

- M.2.1.6.23 [M42] Messa a punto di catalizzatori eterogenei bifunzionali per la conversione diretta di H₂ e CO₂ in DME in un processo one-pot.
- M.2.1.6.24 [M42] Realizzazione di processi efficienti di deidrogenazione di MeOH e HCOOH in sistemi omogenei, in condizioni blande di reazione, minima quantità di catalizzatore e additivi.
- M.2.1.6.25 [M42] Individuazione di correlazioni struttura-reattività per potenziale scale-up applicativo
- M.2.1.6.26 [M42] Validazione di un dispositivo per la conversione diretta a DME.

Output:

- D.2.1.6.1 [M3] Rapporto tecnico su aggiornamento bibliografia e stato dell'arte e set up sperimentale per testing reattori a membrana (obiettivi M.2.1.6.1 e M.2.1.6.2)
- D.2.1.6.2 [M6] Rapporto tecnico su sintesi di un catalizzatore ibrido di riferimento (obiettivo M.2.1.6.3)
- D.2.1.6.3 [M9] Rapporto tecnico su sintesi di nuovi catalizzatori (obiettivi M.2.1.6.4, M.2.1.6.5)
- D.2.1.6.4 [M12] Rapporto tecnico su sviluppo e testing di catalizzatori omogenei, eterogenei e di un reattore a membrana come benchmark (obiettivi M.2.1.6.6, M.2.1.6.7, M.2.1.6.8 e M.2.1.6.9)
- D.2.1.6.5 [M15] Rapporto tecnico su caratterizzazione analitica, morfologica, strutturale e superficiale dei sistemi strutturati (obiettivo M.2.1.6.10)
- D.2.1.6.6 [M18] Rapporto tecnico su caratterizzazione e testing di catalizzatori eterogenei (obiettivi M.2.1.6.11, M.2.1.6.12)
- D.2.1.6.7 [M21] Rapporto tecnico su caratterizzazione e testing di catalizzatori omogenei (obiettivo M.2.1.6.13)
- D.2.1.6.8 [M24] Rapporto tecnico su catalizzatori ibridi strutturati preparati mediante robocasting: (obiettivo M.2.1.6.14)
- D.2.1.6.9 [M27] Rapporto tecnico su testing di reattore a membrana per la produzione di MeOH (obiettivo M.2.1.6.15)
- D.2.1.6.10 [M30] Rapporto tecnico su analisi spettroscopica in situ/operando su catalizzatori eterogenei (obiettivo M.2.1.6.16)
- D.2.1.6.11 [M33] Rapporto tecnico su ottimizzazione della procedura di robocasting e definizione di un protocollo di sintesi (obiettivo M.2.1.6.17)
- D.2.1.6.12 [M36] Rapporto tecnico su performance catalitica durante la produzione di MeOH/DME, (obiettivi M.2.1.6.18, M.2.1.6.19 e M.2.1.6.20)
- D.2.1.6.13 [M39] Rapporto tecnico su sperimentazione dei sistemi strutturati (obiettivi M.2.1.6.21, M.2.1.6.22)
- D.2.1.6.14 [M42] Rapporto tecnico su testing di catalizzatori eterogenei bifunzionali e di efficienti processi di deidrogenazione di MeOH e HCOOH in sistemi omogenei (obiettivi M.2.1.6.23, M.2.1.6.24 e M.2.1.6.25)
- D.2.1.6.15 [M42] Rapporto tecnico su validazione di un dispositivo per la conversione diretta a DME (obiettivi M.2.1.6.26)

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.1 - LA2.1.7

Produzione di metano con catalizzatori a doppia funzione tramite processi integrati di conversione di idrogeno e cattura di CO₂

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Stefano Cimino

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 69.160,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 79.410,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 75.302,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 96.128,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 320.000,00

Descrizione attività:

La sfida da affrontare consiste nel convertire in modo sostenibile le emissioni di CO₂ dei processi industriali in combustibili sintetici e sostanze chimiche, integrando processi basati sull'energia rinnovabile con nuovi sistemi catalitici altamente ottimizzati ed efficienti dal punto di vista energetico. Quest'approccio ha il potenziale, in teoria, di ridurre di oltre il 30 % gli attuali ~665 Mt di emissioni di CO₂ all'anno provenienti dalle industrie ad alta intensità energetica in Europa. Tuttavia, è necessario dimostrare la fattibilità industriale ed economica della produzione di combustibili sintetici. La Carbon Capture and Utilization (CCU) è particolarmente promettente perché consente un consumo netto di CO₂ e allo stesso tempo il riciclo del suo contenuto. In particolare, convertire la CO₂ catturata utilizzando idrogeno ottenuto da energia rinnovabile rappresenta un modo per raggiungere gli obiettivi ambientali fissati per il 2050, rendendo le produzioni industriali ed energetiche più rispettose dell'ambiente ed anche una soluzione promettente per immagazzinare efficacemente l'energia elettrica in eccesso in sostanze chimiche (chemical storage), contribuendo a superare il problema della variabilità intrinseca della produzione da fonti rinnovabili.

Tra le varie possibilità di utilizzo esistenti nell'ambito della tecnologia Power to Gas (PtG), la metanazione della CO₂ ha raccolto particolare interesse di ricerca negli ultimi anni. In questa applicazione, l'energia rinnovabile in eccesso – che può alterare la stabilità della rete elettrica e attualmente non può essere immagazzinata in modo efficace – viene utilizzata per produrre idrogeno attraverso l'elettrolisi dell'acqua. L'idrogeno viene, quindi, miscelato con la CO₂ catturata e convertito in CH₄ e H₂O secondo la reazione di Sabatier in un reattore catalitico. Il gas naturale sintetico che si ottiene per questa via costituisce un vettore energetico con molti vantaggi rispetto all'idrogeno perché può essere facilmente movimentato e stoccato attraverso la rete di distribuzione del gas naturale esistente.

Nella maggior parte delle applicazioni P2G, la CO₂ proviene da tecnologie di cattura convenzionali, che spesso si basano sull'uso di un assorbente acquoso a base di ammina, anche se gli adsorbenti solidi rappresentano un'alternativa promettente. In ogni caso, il processo termico normalmente richiesto per rigenerare il sorbente e rilasciare la CO₂ catturata è ad alta intensità energetica e, di fatto, limita l'applicazione a causa degli ingenti costi.

Una strategia innovativa per immagazzinare energia rinnovabile mitigando contemporaneamente le emissioni di CO₂ da fonti stazionarie (es. inceneritori, cementifici, centrali elettriche) consiste nel combinare la cattura della CO₂ per adsorbimento e la sua successiva conversione in metano, attraverso lo sviluppo di "Dual Function Materials" (sorbenti-catalizzatori) e processi integrati che possano passare ciclicamente dalla modalità di cattura a quella di idrogenazione.

L'integrazione dei due processi si configura nello sviluppo di un processo di "chemical-looping" assistito da catalizzatore: le due fasi del processo (adsorbimento e metanazione di CO₂) richiedono una separazione temporale o spaziale e sono mediate dal solido DFM, che è un vettore di CO₂. Come per tutti i processi di looping chimico emergenti, la chiave del successo è il Dual Functional Material che deve soddisfare una serie di caratteristiche stringenti, tra cui: elevata attività catalitica e selettività a basse temperature, elevata stabilità meccanica e lunga durata in condizioni di funzionamento ciclico, facile riducibilità, elevata capacità di adsorbimento selettivo di CO₂ e facile desorbimento/rigenerazione.

Risultati attesi:

- | | |
|----------------|--|
| M2.1.7.1 [M12] | Progettazione e preparazione di sistemi catalitici DFM altamente innovativi per l'intensificazione della produzione di metano sintetico con cattura di CO ₂ da emissioni di fumi industriali con l'obiettivo di un significativo incremento dell'efficienza complessiva rispetto allo stato dell'arte: sintesi e caratterizzazione di DFM di 1 ^a , 2 ^a e 3 ^a generazione in forma di polveri/pellets/sfere) |
| M2.1.7.2 [M24] | Sviluppo di 1 ^a generazione (con materiali di riferimento e 1 ^a generazione DFM per test preliminari), 2 ^a e 3 ^a generazione di materiali attivi strutturati con proprietà di trasporto migliorate basate su schiume a celle aperte altamente conduttive. Identificazione di una metodologia di deposizione adatta alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato utilizzato includendo informazioni sul comportamento reologico e sulla stabilità delle sospensioni in funzione della composizione |
| M2.1.7.3 [M36] | Progettazione e messa a punto di impianti di prova su scala di laboratorio e relativi protocolli di esercizio per campagne sperimentali di caratterizzazione delle singole fasi del processo utilizzando gas di scarico simulati, funzionamento ad alimentazione ciclica, reattori impaccati e strutturati; ottimizzazione formulazioni DFM |
| M2.1.7.4 [M36] | Validazione (Proof of concept) del processo integrato in microreattore a letto fisso con DFM impaccati e/o strutturati: studio parametrico e di durabilità (es. resistenza avvelenamento) in condizioni rappresentative per specifiche applicazioni |
| M2.1.7.5 [M42] | Sviluppo di processi catalitici innovativi, basati su energia rinnovabile, a ciclo chimico basati su DFM, per produrre metano sintetico che dimostrino stabilità e durabilità, riduzione dell'uso di materie prime critiche ed emissioni di gas serra; integrazione ed intensificazione del processo attraverso configurazioni reattoristiche innovative |

Output:

- | | |
|----------------|---|
| D2.1.7.1 [M12] | DFM a base di Ru con diverse fasi assorbenti alcaline/alcalino terrose (1 ^a): sintesi e caratterizzazione |
| D2.1.7.2 [M12] | Messa a punto di microreattori a letto fisso e protocolli per il test dell'ICCU in condizioni di alimentazione alternata |
| D2.1.7.3 [M12] | 1 ^a generazione di DFM su substrati strutturati, studi reologici, caratterizzazione, messa a punto di micro-reattori a letto fisso |
| D2.1.7.4 [M24] | Studio sperimentale sugli aspetti meccanicistici dei singoli processi con DFM selezionati |
| D2.1.7.5 [M24] | Studio sperimentale sull'avvelenamento e la rigenerazione di DFM selezionati |

- D2.1.7.6 [M24] Studio sperimentale su DFM strutturati di 1^a generazione per valutazione funzionale di proprietà di adsorbimento e catalisi
- D2.1.7.7 [M36] DFM di 2^a generazione: sintesi e caratterizzazione. Studio tipologia di supporto (zeoliti, idotalciti, allumine); formulazioni avanzate fase adsorbente
- D2.1.7.8 [M36] Protocolli per lo studio della durabilità e risultati di funzionamento ciclico in reattori impaccati con composizioni variabili dei fumi simulati
- D2.1.7.9 [M36] Sintesi, studi reologici e caratterizzazione per DFM strutturati di 2^o generazione
- D2.1.7.10 [M36] Test su scala di laboratorio per la valutazione funzionale di DFM strutturati di 2^a generazione
- D2.1.7.11 [M42] DFM di 3^a generazione (ottimizzazione della formulazione e scale-up della preparazione)
- D2.1.7.12 [M42] DFM strutturati di 3^a generazione: scale-up delle metodologie di washcoating; validazione funzionale prestazioni processo integrato attraverso test comparativi con letti impaccati particellari
- D2.1.7.13 [M42] Studio fondamentale sull'integrazione e l'intensificazione dei processi con configurazioni reattoristiche alternative (es. reattori a letto fluido interconnessi)

TRL (inizio-fine): 2-3

WP2.1 – LA 2.1.8

Sviluppo di processi biologici "Power to Gas" per l'utilizzo dell'idrogeno verde per la conversione della CO₂ contenuta nel biogas in CH₄

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Antonella Signorini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 378.741,35

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 344.251,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 309.301,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 160.211,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.192.504,35

Descrizione attività:

Le tecnologie Power to Gas sono considerate uno strumento cardine per l'integrazione delle infrastrutture delle reti elettriche con la rete del gas naturale (GN): l'idrogeno prodotto da energia elettrica rinnovabile può essere utilizzato per convertire la CO₂ in CH₄ tramite processi catalitici e/o biologici. In tale contesto, la metanazione biologica del biogas come fonte di CO₂ può essere conseguita tramite due differenti approcci: la biometanazione *in situ*, con l'iniezione diretta di idrogeno nel digestore anaerobico per la riduzione della CO₂ prodotta nel processo di digestione anaerobica (DA), e la biometanazione *ex situ*, realizzata in un reattore separato contenente colture arricchite di metanogeni idrogenotrofi in grado di convertire la CO₂ contenuta nel biogas prodotto in CH₄, utilizzando l'idrogeno esterno come agente riducente. Entrambi i processi si inseriscono nelle "*Innovative technologies for hydrogen storage, transport and transformation into derivatives and e-fuels*". In particolare, il processo di bio-metanazione *in situ* consentirebbe di sviluppare una tecnologia in grado di facilitarne l'integrazione negli impianti di biogas già attivi sul territorio

nazionale e una riduzione dei costi e della complessità impiantistica dei tradizionali sistemi di upgrading.

Tuttavia, attualmente la tecnologia di biometanazione in situ presenta diverse sfide tecnologiche da dover risolvere, prima di un suo possibile trasferimento su scala pre-commerciale. In particolare, quelli relativi all'incremento della velocità di trasferimento gas-liquido dell'idrogeno a causa della bassa solubilità dell' H_2 e quelli relativi allo sbilanciamento del metabolismo della DA dovuto alla massimizzazione del processo di biometanazione in situ.

In questo contesto, le attività di questa linea di ricerca, svilupperanno due differenti processi per ottimizzare il processo di upgrading del biogas: i) integrazione del digestore anaerobico con un Sistema Bioelettrochimico (BES): introduzione di un elettrodo polarizzato nel digestore per stimolare l'upgrading del biogas attraverso la riduzione in situ della CO_2 a CH_4 tramite la produzione al catodo di elettroni e/o idrogeno. La tecnologia è potenzialmente applicabile agli impianti esistenti; ii) sviluppo di un "sistema biologico ibrido", in situ + ex situ che consentirebbe, da una parte di massimizzare l'efficienza del processo in situ senza alterare i parametri critici della fase DA (pH, concentrazione della CO_2 , accumulo di metaboliti solubili) e dall'altra di fornire alla fase ex situ una miscela più stabile e in un volume di lavoro del reattore ex situ ridotto.

Lo studio delle comunità microbiche coinvolte nelle diverse fasi sperimentali di upgrading sarà valutato contestualmente con le metodologie molecolari high-throughput (metagenomica, metatrascrittomica e metaproteomica) e Fluorescence In Situ Hybridization.

In particolare, le attività di ricerca saranno organizzate come indicato nel seguito:

- Selezione e caratterizzazione delle comunità microbiche di differenti inoculi provenienti da impianti industriali di biogas (inoculi DA)
- Ricognizione e selezione di ceppi puri di metanigeni idrogenotrofi da collezioni microbiche commerciali
- Stato dell'arte delle configurazioni di reattori e delle condizioni operative ottimali utilizzate sia nel processo di elettrometanazione sia in quello *ex-situ*: selezione, progettazione, realizzazione e/o modifica di reattori già disponibili in ENEA
- Test di Specific Hydrogenotrophic Methanogenic Activity (SHMA test) su differenti inoculi utilizzando miscele di $H_2:CO_2$
- Test di elettrometanazione in situ su scala di laboratorio per valutare l'efficienza dei BES
- Long run sperimentali di biometanazione ex situ finalizzati a definire le rese di produzione massima di biometano in relazione a diversi parametri operativi e soluzioni impiantistiche
- Processo di biometanazione in situ su un reattore CSTR finalizzata alla produzione stabile di un biogas arricchito in metano
- Processo di elettrometanazione in situ finalizzata alla produzione stabile di un biogas arricchito in metano
- Progettazione e implementazione di un processo di biometanazione ibrido

Ci si intende avvalere della collaborazione di una Università con competenze specialistiche per supporto alle attività di selezione di ceppi puri di metanigeni idrogenotrofi da collezioni microbiche commerciali.

Risultati attesi:

M2.1.8.1 [M12]	Selezione della configurazione di reattore per l'integrazione del digestore anaerobico con un Sistema Bioelettrochimico (BES)
M2.1.8.2 [M12]	Selezione delle configurazioni di reattore e delle condizioni operative per il processo di biometanazione <i>ex situ</i>
M2.1.8.3 [M24]	Selezione di un inoculo per il processo di biometanazione ibrido
M2.1.8.4 [M30]	Ottimizzazione del processo di metanogenesi biologica <i>ex situ</i>

M2.1.8.5 [M36]	Set up sperimentale per il processo di biometanazione <i>in situ</i> integrato con BES
M2.1.8.6 [M36]	Produzione stabile ed in continuo di una miscela gassosa arricchita in metano in un processo di biometanazione <i>in situ</i>
M2.1.8.7 [M42]	Produzione di una miscela altamente arricchita in metano tramite un processo ibrido, <i>in situ</i> + <i>ex situ</i>

Output:

D2.1.8.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Caratterizzazione della comunità microbica di differenti inoculi provenienti da impianti industriali di biogas”
D2.1.8.2 [M12]	Prototipo per la configurazione BES
D2.1.8.3 [M12]	Rapporto Tecnico “Configurazioni di reattori e delle condizioni operative ottimali utilizzate sia nel processo di elettrometanazione sia in quello ex-situ”
D2.1.8.4 [M24]	Rapporto Tecnico “Test SHMA degli inoculi alimentati da miscele di H ₂ :CO ₂ ”
D2.1.8.5 [M24]	Rapporto Tecnico “Test di biometanazione <i>in situ</i> con l’utilizzo di BES”
D2.1.8.6 [M30]	Rapporto Tecnico “Processo di biometanazione ex situ”
D2.1.8.7 [M36]	Rapporto Tecnico “Processo in continuo di biometanazione <i>in situ</i> su reattore CSTR”
D2.1.8.8 [M36]	Rapporto Tecnico “Processo di elettrometanazione <i>in situ</i> ”
D2.1.8.9 [M42]	Rapporto Tecnico “Processo ibrido, <i>in situ</i> + <i>ex situ</i> ”

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.1 – LA 2.1.9

Realizzazione di una piattaforma per lo sviluppo di biocatalizzatori per la produzione di carriers per l'idrogeno e/o la trasformazione dell'idrogeno in derivati ed e-fuels

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Francesco Panara

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 309.165,14

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 210.484,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 235.517,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 44.521,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 799.687,14

Descrizione attività:

I biocatalizzatori sono enzimi o microorganismi che, utilizzati in specifiche reazioni biochimiche, agiscono complessivamente come catalizzatori estremamente efficienti, abbassando l'energia di attivazione e di conseguenza aumentando la velocità di una reazione chimica.

I biocatalizzatori hanno un notevole potenziale sia per la conversione dell'idrogeno in carrier che per il suo utilizzo nella produzione di e-fuels o molecole semplici (p.e. alcani, alcoli, acidi organici, ecc.) utilizzabili come building blocks per la costruzione di molecole più complesse mediante processi che possono essere effettuati a costi ridotti e senza produzione netta di CO₂. Lo sviluppo di catalizzatori biologici presenta, rispetto alla catalisi chimica, importanti vantaggi, tra cui maggiore selettività, sostenibilità, riduzione dei costi operativi e bassa tossicità, che si traducono in processi di produzione più puliti, sicuri e a minore impatto ambientale.

Le moderne tecniche di biologia molecolare, ingegneria genetica e biologia sintetica permettono di generare enzimi o complessi enzimatici in microrganismi ricombinanti da cui possono essere estratti, ma anche utilizzati come lisati cellulari o *in vivo*.

In questo contesto, nell'ambito del progetto, sarà sviluppata una piattaforma per la ricognizione, la caratterizzazione, il miglioramento e l'implementazione di biocatalizzatori utili nei processi di conversione dell'idrogeno in carrier, e-fuel e bioprodotto di interesse industriale.

In particolare, le azioni che si intende intraprendere sono:

- Ricognizione di attività enzimatiche di interesse attraverso approcci combinati di: a) analisi di banche dati; b) analisi di metagenomica su substrati specifici (es. in cui proliferano organismi estremofili); c) analisi genomica di organismi target (es. microalghe, batteri azotofissatori, metanogeni, acidogeni ecc., d) ricognizione di biocatalizzatori commerciali e individuazione e ottimizzazione di parametri di processo per il loro utilizzo
- Sviluppo di una piattaforma per il miglioramento di attività enzimatiche attraverso l'analisi di varianti naturali o varianti ottenute per mutagenesi e selezione (directed evolution) mediante sistemi ad alta processività (di tipo FADS, Fluorescence Activated Droplet Sorting)
- Applicazione di sistemi per l'espressione e produzione eterologa di biocatalizzatori specifici e valutazione di substrati reporter per la determinazione dell'attività catalitica in condizioni specifiche (es. temperatura, pH)
- Produzione su scala laboratorio e caratterizzazione mediante tecniche di chimica analitica di biocatalizzatori ottenuti nell'ambito delle attività di miglioramento e selezione sopra descritte.

Risultati attesi:

M2.1.9.1 [M18]	Acquisizione e setup della piattaforma per FADS e di sistemi di selezione
M2.1.9.2 [M24]	Individuazione nuove varianti con caratteristiche potenzialmente migliorative di enzimi coinvolti nel metabolismo dell'idrogeno e di biocatalizzatori target sulla base delle attività di ricognizione. Definizione dei parametri selettivi da utilizzare per l'evoluzione diretta
M2.1.9.3 [M30]	Generazione di varianti enzimatiche mediante mutagenesi finalizzata a selezione mediante piattaforma FADS
M2.1.9.4 [M36]	Disegno di biocatalizzatori migliorati mediante piattaforma ad alta processività ed espressione in sistema eterologo
M2.1.9.5 [M42]	Caratterizzazione di biocatalizzatori target selezionati

Output:

D2.1.9.1 [M24]	Rapporto Tecnico "Stato di avanzamento delle attività di sviluppo di biocatalizzatori"
D2.1.9.2 [M36]	Rapporto Tecnico "Ricognizione di biocatalizzatori"
D2.1.9.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Realizzazione e implementazione di una piattaforma per il miglioramento e l'espressione di biocatalizzatori enzimatici"
D2.1.9.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Caratterizzazione di biocatalizzatori target"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP 2.1 LA 2.1.10

***Sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno in alcune filiere d'interesse (es. idrico, biomasse):
metanazione biologica, idrogeno da FER, recupero CO₂ da upgrading del biogas e riutilizzo
dell'ossigeno***

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Andrea Rossetti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 340.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 370.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 383.372,25

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.193.372,25

Descrizione attività:

L'attività svolta nell'ambito della LA2.1.10 è focalizzata su tre principali ambiti:

- Integrazione di flussi di H_2/O_2 prodotto da rinnovabili negli impianti di depurazioni acque
- Sperimentazione di reattori di metanazione biologica basati su reattori a rimescolamento (CSTR)
- Sperimentazione di reattori di metanazione biologica per la produzione di metano da biomassa combinate con solare e/o eolico.

Integrazione di flussi di H_2/O_2 prodotto da rinnovabili negli impianti di depurazioni acque

Le possibilità di utilizzo di idrogeno verde nell'ambito degli impianti di depurazione sono molteplici e consistono, in primo luogo, nell'upgrade del biogas a biometano per via biologica, grazie alla riduzione dell'anidride carbonica contenuta nel biogas a metano in presenza di idrogeno verde, operata da microrganismi presenti in ogni processo di digestione anaerobica convenzionale.

Si evidenzia, inoltre, l'interessante opportunità di valorizzare l'ossigeno co-prodotto dall'elettrolizzatore nell'ottica di una massimizzazione delle risorse utilizzate: si ha la possibilità di installare un sistema di ozonizzazione per incrementare la produzione di metano dal sistema di digestione anaerobica; il pretrattamento con ozono, infatti, fa aumentare la degradabilità anaerobica dei fanghi biologici, rendendo più accessibile e rapidamente biodegradabile la sostanza organica presente. Inoltre, l'ossigeno può anche essere insufflato nelle vasche di aerazione, con conseguenti risparmi energetici derivanti dai mancati consumi di compressione e ventilazione dell'aria. Molti degli impianti di depurazione del sistema idrico integrato dotati di digestione anaerobica potrebbero quindi offrire un ambito di applicazione particolarmente conveniente per la produzione e l'utilizzo di idrogeno in sistemi Power-to-Gas, traendo vantaggio da:

- la disponibilità di spazi per l'installazione di ulteriore potenza RES, principalmente fotovoltaico;
- la disponibilità di CO_2 (se l'impianto è già dotato di upgrading) per il processo di metanazione e le sinergie con l'impiantistica già presente per l'immissione in rete di biometano;
- le sinergie derivanti dal recupero e utilizzo in loco dell'ossigeno co-prodotto dall'elettrolizzatore.

Si prevede di sperimentare alcune di queste soluzioni in alcuni impianti esistenti sul territorio italiano grazie alla collaborazione con operatori del settore.

Sperimentazione di reattori di metanazione biologica basati su reattori a rimescolamento (CSTR)

RSE ha sviluppato nell'ambito della Ricerca di Sistema una facility per testare reattori di metanazione biologica ed ha installato due reattori del tipo a gocciolamento (trickle-bed) che intende sviluppare e ottimizzare. Nell'ambito di questa LA è prevista la realizzazione di un terzo reattore di tipo a rimescolamento (CSTR). Il reattore CSTR completerà la facility RSE garantendo un confronto con la tecnologia trickle-bed sia livello fluidodinamico sia a livello biologico. Studiare e sperimentare tecnologia permetterà inoltre di fare sperimentazione di lunga durata, indagando gli aspetti di gestione della biologia del reattore e acquisire una serie di competenze necessarie per lo scale up della tecnologia a gocciolamento

I reattori a rimescolamento (CSTR), sebbene siano ad uno stadio di sviluppo più avanzato, presentano notevoli margini di miglioramento. Ne sono stati installati e messi in esercizio solamente

alcuni impianti pilota e rispetto ai trickle-bed presentano consumi elettrici più elevati, maggiori costi di gestione e volumi dei reattori superiori a parità di idrogeno prodotto.

Sperimentazione di reattori di metanazione biologica per la produzione di metano da biomassa combinate con solare e/o eolico.

La metanazione “biologica” di CO potrebbe costituire un interessante soluzione per l’integrazione in loco con sistemi di conversione termochimica dei fanghi digeriti, grazie alla contemporanea conversione a metano, per via biologica e in un unico reattore, del biogas miscelato da syngas contenente CO, CO₂ e idrogeno prodotto da biomassa legnosa. L’integrazione dei due processi potrebbe avere interessanti vantaggi, garantendo uno sfruttamento più efficiente della biomassa legnosa e maggiormente distribuibile sul territorio grazie all’infrastruttura di distribuzione del gas naturale.

Nella facility di metanazione biologica di RSE sono installati diversi reattori di metanazione biologica che saranno messi in esercizio nel corso dei primi 24 mesi. Uno di questi verrà dedicato ad una sperimentazione con syngas contenente CO.

Risultati attesi:

- M.2.1.10.1 [M18] Analisi dei reattori di metanazione biologica del tipo rimescolato. Problematiche di esercizio e punti di sviluppo
- M.2.1.10.2 [M30] Progetto di un reattore CSTR per la metanazione biologica da installare nella facility RSE. Progetto di un reattore di metanazione biologica alimentato con syngas contenente CO. Progetto di una facility sperimentale per l’integrazione delle tecnologie dell’idrogeno nei sistemi di trattamento acque
- M.2.1.10.3 [M42] Realizzazione e avvio di un reattore CSTR per la metanazione biologica da installare nella facility RSE. Sperimentazione di soluzioni innovative negli impianti di trattamento acque basate su tecnologie dell’idrogeno. Sperimentazione di un reattore di metanazione biologica alimentato con syngas contenente CO

Output

- D.2.1.10.1 [M30] Report tecnico “Progetto di una facility sperimentale per l’integrazione delle tecnologie dell’idrogeno nei sistemi di trattamento acque”
- D.2.1.10.2 [M30] Report tecnico “Metanazione biologica: potenziamento della facility di Laboratorio di RSE”
- D.2.1.10.3 [M42] Report tecnico “Metanazione Biologica: sperimentazione di reattori CSTR”
- D.2.1.10.4 [M42] Report tecnico “Metanazione Biologica: sperimentazione di reattori trickle bed alimentati con CO”
- D.2.1.10.5 [M42] Report tecnico “Sperimentazione di soluzioni innovative negli impianti di trattamento acque basate su tecnologie dell’idrogeno”

TRL (inizio-fine): 2-5

WP2.1 – LA2.1.11

Sviluppo di materiali ed elettrodi per processi di elettrometanogenesi e prevenzione della corrosione microbiologica

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Pierangela Cristiani

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 60.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 40.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 25.489,75

Costo totale (escluse spese generali): € 225.489,75

Descrizione attività:

La metanazione biologica è un processo ben conosciuto attuato da microrganismi del dominio Archaea che convertono CO₂ e idrogeno a metano. Tali microrganismi sono tra le forme più antiche di vita (precedenti anche ai batteri) e sono i responsabili della produzione di metano negli impianti di biogas. L'utilizzo degli stessi consorzi microbici idrogenotrofi responsabili della produzione di metano nei digestori anaerobici in sistemi bioelettrochimici ha permesso di mettere a punto un processo di metanazione innovativo che metabolizza la CO₂ su biocatalodi, in una logica di power-to-gas, chiamato elettrometanogenesi (BEP2G).

È da evidenziare che il processo BEP2G può essere realizzato utilizzando anidride carbonica e bicarbonato come uniche fonti di carbonio. Nei digestori anaerobici accoppiati con l'elettrometanogenesi, il contenuto di CH₄ del biogas prodotto può arrivare all'80-95%, con una netta riduzione dei costi di up-grading fino ai livelli ammessi per l'immissione in rete.

Oltre che per l'up-grading del biogas, un sistema BEP2G può essere utilizzato per il recupero di altri scarichi naturali o industriali di CO₂ con la limitazione dovuta all'eventuale presenza di ossigeno, che deve essere rimosso per evitare l'avvelenamento dei microrganismi anaerobici responsabili del processo.

Le ricerche sull'elettrometanogenesi si stanno svolgendo ancora principalmente nei laboratori di ricerca universitari, con la finalità di studiare le condizioni più convenienti per scalare la tecnologia in un impianto precompetitivo. È da rilevare che l'efficienza coulombica (faradica) di conversione della potenza impiegata a metano nell'elettrometanogenesi può essere molto vicina al 100%. La densità di produzione di metano ottenuta nei test di laboratorio, tuttavia, è ancora molto limitata e pari a poche unità molari di metano al giorno (normalizzate ad una superficie catodica di 1 m² e in bioreattori del volume di uno o pochi litri). Un problema rilevante è dato dalle basse densità di corrente sostenute dai sistemi microbici, dell'ordine di poche unità di A/m². Questa limitazione rende necessarie superfici elettrodiche molto elevate e, di conseguenza, la scelta di materiali economici, biocompatibili e facilmente approvvigionabili. Pertanto, la messa a punto di materiali per gli elettrodi e di geometrie innovative di bioreattori, assieme alla ricerca delle migliori condizioni ambientali per il processo e delle specie batteriche più performanti sono i principali obiettivi della ricerca proposta.

Sulla base dell'esperienza maturata in precedenti programmi di ricerca in collaborazione con diversi istituti universitari, e nell'ottica di un impiego della tecnologia in una logica di economia circolare, saranno sperimentati catodi con materiali multicompositi a base di carbone biogenico grafitizzato e idrossiapatite e anodi di titanio anodizzato al plasma.

Saranno realizzati bioreattori elettrochimici in grado di operare ad una pressione variabile (0-50 bar), in condizioni mesofile (25-50°C) o termofile (60-90°C), con elettrodi differenzialmente polarizzati. Sarà realizzato un apposito apparato sperimentale da laboratorio idoneo al controllo della pressione, temperatura e dosaggio dei gas. Saranno utilizzati ceppi misti di microrganismi, opportunamente arricchiti, o co-culture di singole specie.

Essendo una ricerca molto innovativa, ancora poco applicativa e dalla spiccata natura multidisciplinare, le attività saranno svolte in collaborazione con diverse università e centri di ricerca, avvalendosi anche di tesi triennali, magistrali e di dottorati di ricerca.

Risultati attesi:

L'obiettivo principale dell'attività è di individuare i più promettenti ambiti di applicazione delle tecnologie di elettrometanogenesi e di mettere a punto un prototipo dimostrativo di bioreattore elettrochimico di idoneo per gli ambiti individuati. I risultati attesi sono di seguito sintetizzati:

- Sviluppo e validazione di materiali multicompositi innovativi da utilizzare come elettrodi con le seguenti caratteristiche: i) alta superficie; ii) inerzia; iii) basso costo; v) affinità con i microorganismi; v) buona conduttività elettrica; vi) azione catalitica sinergica a quella dei microorganismi nella reazione di riduzione della CO₂ a metano.
- Allestimento di un apparato sperimentale idoneo ad effettuare prove con bioreattori elettrochimici in pressione e in condizioni ipertermofile (90°C), con il monitoraggio dei gas dosati e prodotti.
- Prove sperimentali di processi di elettrometanogenesi in laboratorio, in condizioni mesofile e termofile (25-80°C), con pressioni variabili (1 -50 bar), con singoli ceppi (metanobacter), con ceppi misti arricchiti in archea o con co-culture di batteri e archea al fine di selezionare le condizioni più produttive e promettenti in termini di conversione di energia elettrica (idrogeno) a metano (superiore all'80%).
- Screening di potenziali ambiti di applicazione e criticità della tecnologia di elettrometanogenesi a scarichi di CO₂ industriali e naturali.
- Realizzazione di un prototipo da laboratorio scalabile e modulare di cella elettrochimica di elettrometanogenesi da applicare ad uno o più degli ambiti industriali o naturali individuati come più promettenti.
- Trasferimento e diffusione del know-how conseguito, con particolare riferimento all'ambito Nazionale.

Di seguito, si riportano le milestone previste:

- | | |
|------------------|---|
| M.2.1.11.1 [M12] | Realizzazione di un apparato sperimentale idoneo a svolgere le prove di elettrometanogenesi a diverse temperature e pressioni |
| M.2.1.11.2 [M18] | individuazione degli ambiti (naturali o industriali) di applicazione dell'elettrometanogenesi |
| M.2.1.11.3 [M24] | Realizzazione di un prototipo dimostrativo di sistema di elettrometanogenesi idoneo per l'ambito applicativo selezionato |

Output:

- | | |
|------------------|---|
| D.2.1.11.1 [M12] | Report tecnico sui materiali multicompositi per elettrodi di celle di elettrometanogenesi |
| D.2.1.11.2 [M24] | Report tecnico descrivente i prototipi di cella di elettrometanogenesi realizzati e gli ambiti di applicazione |
| D.2.1.11.3 [M36] | Report tecnico riportante i risultati delle prove sperimentali di processi di elettrometanogenesi e dei rendimenti ottenuti |
| D.2.1.11.4 [M42] | Report riportante una road map per lo sviluppo delle tecnologie di elettrometanogenesi nei settori industriali/ambientali individuati |

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.1 - LA2.1.12

Carrier liquidi di idrogeno ottenuti dalla conversione fotochimica e fotoelettrochimica di CO₂ e acqua

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Andrea Barbieri

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 182.937,18

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 289.576,29

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 283.160,29

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 140.326,24

Costo totale LA (escluse spese generali): € 896.000,00

Descrizione attività:

L'attività proposta è incentrata sullo sviluppo di tre diversi dispositivi per la conversione fotoassistita di CO₂ e H₂O in carrier liquidi di idrogeno: Reattori operabili in continuo basati su enzimi (A1) e a membrana fotocatalitica (A2); Celle fotoelettrochimiche, PEC (A3).

[M1-12] Progettazione e sintesi dei materiali fotoattivi: fotosensibilizzatori, enzimi, membrane ed ossidi semiconduttori. In A1 (TRL 2): crescita di microorganismi che producono formiato deidrogenasi (FDH), l'isolamento dell'enzima e l'applicazione in reazioni di riduzione di CO₂; progettazione e sintesi di una serie di fotosensibilizzatori organici caratterizzati da assorbimento nel visibile, da utilizzare nella fotorigenerazione del NADH, sia in soluzione che dopo ancoraggio ad un semiconduttore. In A2 (TRL 2): preparazione di membrane fotocatalitiche con catalizzatori commerciali e testing di reattori fotocatalitici come benchmark. In A3 (TRL2): progettazione e sintesi in laboratorio di una serie di foto-sensibilizzatori organici di struttura D- π -A e contenenti diversi cromofori eterociclici coniugati, caratterizzati da assorbimento intenso nel visibile, da utilizzare all'anodo di celle PEC; la sintesi di semiconduttori a base di ossidi metallici con proprietà piezo/ferro-elettriche ed otticamente attivi; sviluppo di semiconduttori anodici a base di TiO₂ e Fe₂O₃, opportunamente drogati e nanostrutturati, con assorbimento sia nell'UV (TiO₂) che nel visibile (Fe₂O₃).

[M13-24] Assemblaggio dei materiali fotoattivi preparati nel primo anno per ottenere materiali funzionali. I fotosensibilizzatori organici saranno utilizzati: in A1 (TRL 2) insieme con le FDH già preparate per la riduzione di CO₂ in diversi sistemi di reazione, valutandone l'efficienza nella riduzione del cofattore NAD a NADH; e in A2 (TRL 2) immobilizzati in matrice polimerica per la preparazione di membrane fotoattive. In A3 (TRL2): preparazione di fotoelettrodi dotati di layer nanostrutturati, sistemi core-shell e strutture a film sottile, sia mono che bifunzionalizzati e depositati su substrati rigidi e flessibili; sintesi di catalizzatori efficienti per ossidazione di H₂O, modificati per l'ancoraggio alla superficie del semiconduttore o il legame con i coloranti per permetterne la rigenerazione; sviluppo di materiali catodici per sostituire o ridurre la quantità di Pt, quali materiali a base di Pt-Ru o CuO; studio dei meccanismi di trasferimento di energia e/o carica nei sistemi fotosensibilizzatore / catalizzatore e la dinamica del trasferimento di carica tra fotosensibilizzatore e fotoelettrodo mediante spettroscopia risolta nel tempo.

[M25-36] Integrazione dei migliori materiali in reattori enzimatici e a membrana, valutando le caratteristiche di produttività e selettività di reazione mediante analisi dei parametri di processo, identificando le condizioni ottimali di reazione per massimizzare la resa di formiato (A1-2, TRL 2-3). In A3 (TRL 3) scale-up della sintesi dei coloranti più performanti e studio delle reazioni fotoindotte ed assistite da potenziale piezoferroelettrico e da cocatalizzatori in semicella (comparto catodico) con analisi dei prodotti; sviluppo di membrane elettrolitiche polimeriche a scambio protonico modificate con laser-cut patterning; realizzazione di un flow field per il trasporto di O₂ e H₂O ai comparti anodico e catodico.

[M37-M42] Sviluppo e validazione di prototipi su scala di laboratorio (TRL 4) per la riduzione fotoassistita della CO₂ a carrier liquidi di idrogeno: Reattore enzimatico (A1) e reattore fotocatalitico a membrana operati in continuo (A2); realizzazione di un reattore fotocatalitico a comparti separati

da membrana e con uno strato opportunamente modificato per realizzare il flow field al compartimento anodico per il trasporto di O_2 e H_2O (A3). I prototipi verranno testati in condizioni operative di irraggiamento solare simulato e outdoor, monitorando in continuo le prestazioni del dispositivo, i prodotti di reazione ed il degrado dei materiali.

Risultati attesi:

- M2.1.12.1 [M6] Progettazione delle nuove strutture di fotosensibilizzatori organici
- M2.1.12.2 [M9] Preparazione di almeno una membrana fotocatalitica con catalizzatori commerciali
- M2.1.12.3 [M12] Isolamento di FDH dotata di attività CO_2 -reduttasica
- M2.1.12.4 [M12] Sintesi dei nuovi fotosensibilizzatori organici (quantità di ca. 50-100 mg)
- M2.1.12.5 [M12] Sintesi e caratterizzazione di materiali semiconduttori a base di ossidi e di materiali semiconduttori con proprietà piezo-fototroniche
- M2.1.12.6 [M15] Caratterizzazione completa dei sensibilizzatori preparati nel primo anno
- M2.1.12.7 [M15] Selezione di una coppia enzima/fotocatalizzatore
- M2.1.12.8 [M18] Preparazione di una membrana fotocatalitica con fotocatalizzatori avanzati
- M2.1.12.9 [M21] Preparazione e caratterizzazione di fotoelettrodi piezofototronici e di fotoanodi bifunzionalizzati sia in forma di film sottili che nanostrutturati su substrati rigidi e flessibili
- M2.1.12.10 [M24] Realizzazione di una PEC con differenza tra densità di corrente misurata con irraggiamento solare (AM 1.5) e quella misurata al buio $I_{ph} \geq 0,5 \text{ mA cm}^2$
- M2.1.12.11 [M30] Realizzazione di semi celle PEC con fotoelettrodi piezofototronici e/o fotoanodi bifunzionalizzati
- M2.1.12.12 [M30] Realizzazione di membrane elettrolitiche polimeriche a scambio protonico con superficie modificata
- M2.1.12.13 [M33] Realizzazione di una PEC con flow field per il compartimento anodico e catodico
- M2.1.12.14 [M36] Realizzazione di una PEC con differenza tra densità di corrente misurata con irraggiamento solare (AM 1.5) e quella misurata al buio $I_{ph} \geq 1 \text{ mA cm}^2$
- M2.1.12.15 [M36] Valutazione delle prestazioni di un reattore fotocatalitico operato in continuo. Identificazione delle finestre operative dei parametri di processo
- M2.1.12.16 [M42] Realizzazione di un reattore a riduzione enzimatica della CO_2 operante in continuo tramite fotorigenerazione di NADH
- M2.1.12.17 [M42] Sviluppo e validazione di un dispositivo a membrana fotocatalitica operato in continuo
- M2.1.12.18 [M42] Realizzazione di una PEC in differenti condizioni operative a base dei materiali sviluppati e con differenza tra densità di corrente misurata con irraggiamento solare (AM 1.5) e quella misurata al buio $I_{ph} \geq 5 \text{ mA cm}^2$

Output:

- D2.1.12.1 [M6] Report sulla progettazione dei fotosensibilizzatori
- D2.1.12.2 [M6] Isolamento di enzima sufficiente per le prove catalitiche
- D2.1.12.3 [M12] Protocollo di sintesi e report sulle proprietà di polveri con proprietà piezo-fototroniche e la procedura sintetica dettagliata seguita per la loro preparazione
- D2.1.12.4 [M12] Protocollo di sintesi e caratterizzazione di fotosensibilizzatori
- D2.1.12.5 [M12] Report sullo sviluppo di semiconduttori anodici per la conversione di CO_2 e H_2O in carrier liquidi di idrogeno
- D2.1.12.6 [M12] Sviluppo di un reattore fotocatalitico a membrana (benchmark)

D2.1.12.7 [M15]	Report sulla sintesi di nuovi fotosensibilizzatori organici di struttura differente
D2.1.12.8 [M18]	Report sulla caratterizzazione fotofisica dei fotosensibilizzatori
D2.1.12.9 [M18]	Dettaglio sulle condizioni ottimizzate della reazione fotocatalizzata per la rigenerazione del cofattore NADH
D2.1.12.10 [M18]	Preparazione e caratterizzazione di fotocatalizzatori e loro integrazione in membrane
D2.1.12.11 [M21]	Protocollo di produzione e report sulle proprietà di foto-elettrodi piezo-fototronici nanostrutturati e/o in forma di film-sottile su diversi substrati
D2.1.12.12 [M21]	Report completo sulla caratterizzazione spettroscopica ed elettrochimica dei nuovi coloranti sintetizzati
D2.1.12.13 [M24]	Report sui processi di trasferimento di energia/carica tra fotosensibilizzatore e catalizzatore in fase omogenea
D2.1.12.14 [M24]	Report sullo sviluppo di materiali catodici
D2.1.12.15 [M30]	Procedura di scale-up della sintesi del miglior fotosensibilizzatore
D2.1.12.16 [M30]	Dettaglio condizioni ottimizzate della reazione fotocatalizzata per riduzione enzimatica mediata da FDH di riduzione CO ₂
D2.1.12.17 [M33]	Report completo sulle condizioni ottimali per utilizzo combinato della catalisi enzimatica e della foto-rigenerazione del cofattore NADH
D2.1.12.18 [M33]	Analisi delle prestazioni di fotocatalizzatori e membrane fotocatalitiche in reattori operati in continuo
D2.1.12.19 [M33]	Report delle proprietà di semi-celle catodiche con foto-elettrodi piezo-fototronici per la reazione di conversione di anidride carbonica
D2.1.12.20 [M36]	Report sulla dinamica dei processi di trasferimento di carica tra fotosensibilizzatore e fotoelettrodo
D2.1.12.21 [M36]	Report sullo sviluppo di membrane elettrolitiche polimeriche e componenti per PEC
D2.1.12.22 [M42]	Report sui dimostratori di sistemi enzimatici ottimizzati su scala di laboratorio, scelti tra le possibili configurazioni in base a efficienza e stabilità nella produzione di formiato
D2.1.12.23 [M42]	Report sulle proprietà di celle PEC contenenti foto-elettrodi piezo-fototronici, fotosensibilizzatori e co-catalizzatori
D2.1.12.24 [M42]	Report sulle proprietà di un sistema bifunzionale a base di elettrodi fotosensibilizzatori e fotocatalitici
D2.1.12.25 [M42]	Report sullo sviluppo di un prototipo PEC per la conversione di anidride carbonica ed acqua in carrier liquidi di idrogeno
D2.1.12.26 [M42]	Sviluppo e analisi di stabilità delle prestazioni di un reattore fotocatalitico a membrana per la produzione di idrogeno
D2.1.12.27 [M42]	Report sulla fotostabilità dei materiali e delle celle fotoelettrochimiche in condizioni operative

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.2 - Ricerca e sviluppo di soluzioni per il trasporto, distribuzione e usi finali dell'idrogeno nelle reti del gas naturale

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

L'idrogeno, come già ampiamente detto, presenta un notevole potenziale per "affiancare" i combustibili fossili nel prossimo futuro, in vista del raggiungimento degli obiettivi di autosufficienza energetica e riduzione delle emissioni di CO₂. Tuttavia, l'idrogeno è un gas inodore, incolore ed esplosivo in concentrazioni in aria dal 4% al 75% vol., con un limite più critico rispetto ad altri gas (per es. gas naturale 5÷15 % vol., benzina 1÷7,6 % vol). Inoltre, esso richiede un'energia di ignizione di un ordine di grandezza inferiore rispetto al gas naturale (0,02 mJ di energia contro lo 0,3 mJ del metano), quindi risulta facilmente infiammabile.

Ne consegue la necessità di monitorare e gestire adeguatamente lo stoccaggio, il trasporto e la distribuzione dell'idrogeno nelle reti del gas naturale sia puro che in miscela metano/idrogeno, valutando gli aspetti di sicurezza oltre che quelli energetici e dinamici, così come la risposta dei materiali alla sua presenza.

Le attività di ricerca di questo WP si occuperanno di sviluppare tecnologie, componenti, soluzioni e sistemi rivolti alla corretta gestione dei vari elementi di cui è costituita una rete di distribuzione (tubi, valvole, derivazioni, etc.) compresi i sistemi di accumulo e le Hydrogen Refuelling Station (HRS) che rappresentano componenti sostanziali di una rete di distribuzione.

WP2.2 - LA 2.2.1

Messa a punto, sviluppo e realizzazione di sensori chimici per il controllo ed il monitoraggio distribuito della rete

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Tiziana Polichetti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 207.050,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 347.401,66

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 307.982,27

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 962.433,93

Descrizione attività:

Attualmente un gran numero di sensori di idrogeno è commercialmente disponibile o in via di sviluppo, come i sensori elettrochimici, i pellistori, i sensori resistivi basati su ossidi metallici (sensori MOX), i sensori ottici, i sensori meccanici, ecc.

Ognuno dei sensori presenta un principio di funzionamento specifico e ogni tecnologia associata ha propri vantaggi e propri limiti; tuttavia, nessuno di essi ad oggi risponde a tutte le specifiche indicate dal DOE (Department of Energy). Un esempio su tutti è rappresentato dai sensori MOX: essi presentano elevate sensibilità all'idrogeno ma necessitano di temperature di esercizio tra i 200 °C ai 500 °C, il che, oltre a comportare un elevato consumo energetico, produce condizioni favorevoli a possibili inneschi ed esplosioni.

Il DOE ha fornito delle specifiche che i sensori di idrogeno devono possedere per rilevare in maniera sicura l'idrogeno (Tabella 1).

Parametri	Valori
Intervallo di misura	0.1 % a 10%
Temperatura di esercizio	-30°C a 80°C
Tempo di risposta	<1 s
Accuratezza	5% sull'intera scala
Condizioni ambientali	Aria ambiente, Umidità dal 10% al 98%
Tempo di vita	10 anni
Interferenti	idrocarburi

Tabella 1: Specifiche tecniche fornite dal Dipartimento di Energia.

[Fonte <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/pdfs/safety.pdf>, accesso 5 aprile 2022]

La ricerca ha il compito di realizzare dispositivi innovativi con caratteristiche quanto più prossime a quelle individuate dal DOE. Inoltre, affinché possano essere impiegati su larga scala devono presentare dimensioni ridotte, un basso costo e soprattutto un basso consumo, oltre a dover essere facilmente integrabili e di semplice utilizzo. Una possibile opzione è rappresentata dai sensori wireless a rete basata sull'identificazione a radiofrequenza (RFID) passiva. Un tale sistema può essere azionato utilizzando solo due componenti, il tag del sensore (cioè il trasferimento del segnale) e il lettore di interrogazione (cioè il ricevitore del segnale), senza necessità di apparecchiature aggiuntive né di cablaggio esteso, con costi di installazione molto contenuti.

Con la rivoluzione dell'Internet of Things (IoT), la trasmissione di dati da una rete sensoriale wireless necessita di singoli sensori a basso consumo energetico basati su principi di funzionamento tali da non gravare sulla rete di interconnessione dei segnali condivisi. I laboratori ENEA, di fabbricazione e caratterizzazione sensori, indirizzeranno la ricerca verso sensori operativi a temperatura ambiente, eventualmente basati su sistemi wireless RFID, in grado di fornire una continua lettura dei dati prestazionali stabiliti dal DOE. Il singolo dispositivo sarà progettato in maniera tale da conservare la scalabilità del processo di fabbricazione optando per tecnologie ecocompatibili. Il costo stesso del dispositivo sensore dovrà essere contenuto per poter essere pensato all'interno di una grande rete di sensori; si può ad esempio pensare a dispositivi economici realizzati su un supporto adesivo flessibile (quale ad esempio un film polimerico o un substrato di carta) che ne consente la facile collocazione nei punti critici delle reti di distribuzione.

Il raggiungimento di tali obiettivi vedrà l'applicazione sinergica di varie competenze dalla preparazione e caratterizzazione dei materiali sensibili alla progettazione e realizzazione dei dispositivi, dalla caratterizzazione teorica delle prestazioni del dispositivo con metodi di machine learning alla caratterizzazione dello stesso in camera di test e successiva analisi dei dati sperimentali. In particolare, l'attività prevede la sintesi di materiali sensibili dispensabili su strutture chemiresistive, anche nell'ottica di una successiva integrazione in strutture RFID realizzate su substrato polimerico o su carta, tenendo anche presente la scalabilità dei processi. Tali materiali saranno successivamente caratterizzati elettricamente, strutturalmente e morfologicamente. I film sensibili saranno caratterizzati in camera di test in atmosfera controllata (concentrazioni note di idrogeno e potenziali interferenti come gli idrocarburi).

Sarà, inoltre, studiato il fenomeno dell'infragilimento del materiale sensibile per l'impatto sul tempo di vita utile dei dispositivi.

Risultati attesi:

Le attività suddette saranno monitorate attraverso milestones a cadenza periodica come riportato di seguito:

M2.2.1.1 [M6]	Messa a punto dei processi di sintesi dei materiali sensibili e della tecnica di deposizione su diversi substrati
M2.2.1.2 [M12]	Messa a punto della tecnica di fabbricazione dei dispositivi e loro caratterizzazione in presenza di concentrazioni note di idrogeno in aria (a temperatura ambiente).
M2.2.1.3 [M24]	Valutazione delle performance dei dispositivi in termini di selettività all'idrogeno ed ottimizzazione dei processi di sintesi e di deposizione dei film sensibili in termini di selettività
M2.2.1.4 [M30]	Valutazione dell'infragilimento dei materiali a seguito dell'esposizione all'idrogeno e ottimizzazione dei processi di sintesi e di deposizione dei film sensibili per migliorarne le prestazioni in termini di invecchiamento
M2.2.1.5 [M36]	Studio di fattibilità della scalabilità dei processi sintetici dei materiali e della potenziale integrazione dei sensori in strutture RFID

Output

D2.2.1.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Fabbricazione e caratterizzazione di materiali sensibili all'idrogeno nel range di concentrazione di interesse"
D2.2.1.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Ottimizzazione dei processi di sintesi in termini di selettività all'idrogeno"
D2.2.1.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Ottimizzazione dei materiali in termini di invecchiamento e sulla scalabilità della tecnica di sintesi selezionata"

TRL (inizio-fine): 3-5

WP2.2 - LA2.2.2

Rivestimenti di condutture per il trasporto H₂

Sviluppo e realizzazione di coating anticorrosivi a base di grafene per reti di trasporto dell'idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Maria Lucia Miglietta

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 137.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 286.474,25

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 268.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 268.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 959.474,25

La strategia della Commissione Europea per l'idrogeno "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe", definisce le priorità per lo sviluppo del settore e indica due principali opzioni per collegare la domanda e l'offerta di trasporto di idrogeno: (i) la costruzione di nuovi gasdotti, opportunamente progettati per trasportare idrogeno; (ii) la riconversione e il riutilizzo dei gasdotti esistenti, attualmente utilizzati per il trasporto di gas naturale.

Come conseguenza, molti stakeholders stanno pianificando l'opzione di trasportare idrogeno attraverso condotte esistenti, anche attraverso la miscelazione dell'idrogeno con gas naturale. Per rendere praticabile tale soluzione, non vanno dimenticate problematiche tecniche, in particolare

quelle relative alla diffusione dell'idrogeno nell'acciaio, che attraverso un fenomeno noto come hydrogen embrittlement (HE), provoca il progressivo decadimento delle proprietà meccaniche delle tubazioni.

Per ovviare a tale problematica, recenti attività di ricerca stanno puntando allo sviluppo di coating in grado di assicurare elevata barriera alla permeazione dell'idrogeno (soluzioni HPB, hydrogen permeation barrier), basate sulla realizzazione di membrane a base di metalli, di ossidi, di nitruri e carburi, di polimeri e di nanostrutture 2D, quali grafene o Mxeni. Tutte le soluzioni finora riportate in letteratura, tuttavia, presentano punti di debolezza in termini di prestazioni e/o di trasferibilità su scala reale.

L'attività di ricerca proposta mira allo sviluppo di coating nanostrutturati a base di grafene e derivati del grafene, che fungano da barriera all'idrogeno, in grado di assicurare elevate performance anti-corrosive/anti-infragilimento per substrati in acciaio, e dei relativi processi di applicazione di tali coating. Alcuni di questi sistemi e processi saranno utilizzati per il repurposing di tubazioni attualmente utilizzate per il trasporto di gas naturale, consentendone il loro impiego anche per il trasporto di miscele ad alto contenuto di idrogeno o di idrogeno puro.

Per il raggiungimento di tali obiettivi si mirerà in una prima fase all'ottimizzazione della formulazione dei coating e dei relativi processi applicativi su substrati modello, per valutarne ed ottimizzare poi le performance. In una successiva fase, l'attività di ricerca sarà mirata allo studio dello scale-up dei processi, sia per il trattamento in situ di settori di tubazioni esistenti che per il trattamento ex situ di specifici componenti degli impianti di trasporto e stoccaggio (giunti, raccordi, serbatoi).

L'attività prevede una prima progettazione e realizzazione di coating nanostrutturati a base di grafene e derivati. In particolare, saranno studiati rivestimenti basati sia su nanoflakes di grafene derivanti dall'esfoliazione della grafite in solventi organici che su nanoflakes di grafene ossidato selettivamente sui bordi (Edge Oxidized Graphene, EOG). Saranno, inoltre, progettati e realizzati materiali a base di grafene funzionalizzato con nanostrutture metalliche e ossidi metallici. Gli stessi materiali saranno eventualmente utilizzati anche nella realizzazione di coating ibridi a base di grafene e materiali polimerici. Per l'ottimizzazione della morfologia, della struttura e delle performance dei coating, verranno testate diverse metodologie di applicazione. Le caratterizzazioni chimico-fisiche dei materiali per il coating saranno effettuate attraverso microscopia elettronica a scansione e trasmissione (SEM, TEM) abbinate a spettrometria a raggi X in dispersione di energia (EDS), spettroscopia fotoelettronica a raggi X (XPS), spettroscopia vibrazionale (spettroscopia e microscopia FTIR e Raman), analisi dell'area superficiale e della porosità con metodo BET con lo studio dei fenomeni di fisisorbimento e chemisorbimento.

L'obiettivo generale della LA si pone il raggiungimento della validazione in scala di laboratorio di almeno una tipologia di coating (grafene, EOG o grafene funzionalizzato), caratterizzato da barriera all'idrogeno e proprietà anti-corrosive/anti-infragilimento.

In una seconda fase saranno selezionati i materiali per il coating con le migliori prestazioni, in termini di capacità di protezione dalla corrosione da idrogeno congiuntamente alla tecnica di deposizione, per i quali saranno studiate le tecniche per lo scale-up del processo di fabbricazione del materiale e sua relativa deposizione in situ ed ex situ. Sarà, infine, presentato uno studio di fattibilità del processo di scale-up della tecnologia di coating proposta.

Risultati attesi:

Le attività suddette saranno monitorate attraverso milestones:

M2.2.2.1 [M6] Messa a punto della sintesi dei materiali carboniosi di base

M2.2.2.2 [M12] Caratterizzazione chimico-fisica dei materiali carboniosi di base

M2.2.2.3 [M12]	Acquisizione strumentazione per analisi morfologico-strutturale (TEM) (analizzatore BET) e analisi dei fenomeni di fisisorbimento e chemisorbimento (analizzatore BET)
M2.2.2.4 [M15]	Messa a punto della sintesi dei materiali compositi di grafene con nanostrutture metalliche
M2.2.2.5 [M15]	Caratterizzazione chimico-fisica dei materiali compositi e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno
M2.2.2.6 [M18]	Valutazione delle performance dei materiali compositi
M2.2.2.7 [M21]	Messa a punto della sintesi dei materiali compositi di grafene e matrici polimeriche
M2.2.2.8 [M24]	Ottimizzazione dei processi sintetici
M2.2.2.9 [M30]	Caratterizzazione chimico-fisica dei compositi polimerici con grafene e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno
M2.2.2.10 [M30]	Studio di fattibilità dello scale-up dei processi sintetici dei materiali carboniosi di base
M2.2.2.11 [M33]	Studio di fattibilità dello scale-up dei processi sintetici dei materiali compositi
M2.2.2.12 [M36]	Selezione dei metodi di deposizione dei materiali sviluppati sui substrati finali
M2.2.2.13 [M42]	Realizzazione provini di coating deposti su substrati finali
M2.2.2.14 [M42]	Valutazione TRL

Output:

D2.2.2.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Progettazione e realizzazione di materiali e coating a base di grafene"
D2.2.2.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Validazione funzionale in termini di barriera all'idrogeno ed efficacia anti-corrosiva/anti-infragilimento su substrati in acciaio dei coating a base di grafene"
D2.2.2.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Scale-up della tecnologia di coating"

TRL (inizio-fine): 3-4

WP2.2 - LA2.2.3

Sistemi innovativi a membrana per la separazione di idrogeno dal gas naturale nel mix di rete e da miscele di idrometano

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Simona Barison

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 84.815,30

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 137.555,20

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 141.663,50

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 51.966,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 416.000,00

Descrizione attività:

Lo sviluppo di sistemi innovativi a membrana, efficienti e sostenibili, deve necessariamente passare per una ricerca su ampia scala, che comprenda sia lo studio di nuovi materiali, sia lo sviluppo di dispositivi e processi intelligenti per la separazione dell'idrogeno per ottimizzare i sistemi, il design, l'efficienza di permeazione e la stabilità. Nell'ambito dello sviluppo di materiali innovativi per

membrane metalliche l'attività vedrà lo sviluppo di membrane innovative a minore contenuto di palladio, mentre in ambito membrane polimeriche saranno sviluppate membrane dense, a base di polimeri perfluorosolfonici, pure e/o composite con fillers inorganici, aventi buona conducibilità protonica, water management e resistenza meccanica nelle condizioni di stress necessarie per la purificazione di idrogeno.

Le attività si articoleranno come segue:

I anno (TRL2-TRL3). Per lo studio di materiali alternativi al palladio, sarà realizzato uno screening semi-empirico con il supporto di un database di strutture cristalline per l'individuazione di possibili sistemi da studiare e sarà effettuato lo sviluppo di substrati porosi su cui depositare film selettivi metallici.

Per quanto riguarda membrane protoniche dense, saranno preparate e caratterizzate membrane con spessore e distribuzione dei filler omogenei mediante tecnica di evaporazione del solvente. Saranno sviluppate strutture elettrodiche del tipo GDE (Gas Diffusion Electrode) con elevata tolleranza ad agenti contaminanti quali CO e composti dello zolfo, utilizzando come catalizzatori il platino e le sue leghe.

Per quanto concerne lo sviluppo di sistemi, sarà realizzata la separazione e purificazione di idrogeno da miscele con metano in correnti contenenti anche vapore d'acqua.

II anno (TRL2-TRL3). Saranno sviluppate membrane a base di film sottili metallici privi o a basso contenuto di palladio, principalmente a base di leghe di metalli del gruppo V e loro soluzioni solide. Ausilio di analisi di Life Cycle Assessment per lo sviluppo di materiali e processi sostenibili.

Sarà ottimizzata la preparativa membrana in relazione al filler selezionato e l'inchiostro catalitico sarà ottimizzato in funzione della tipologia e delle quantità ottimali di pore-former e di ionomero.

Nello studio di sistemi sarà realizzata la separazione e purificazione di idrogeno da miscele con metano ed idrocarburi leggeri ed in presenza di tracce di contaminanti (H₂S, altri acidi, basi).

III anno (TRL2-TRL3). Verrà realizzato il testing di nuove membrane a base di film sottili di leghe a basso o nullo contenuto di palladio per la separazione e purificazione di idrogeno da miscele con metano in correnti contenenti anche vapore d'acqua.

Basandosi sulla tecnica di deposizione spray, sarà valutata la realizzazione di strutture elettrodiche polimeriche anche in configurazione CCM (Catalyst Coated Membrane), oltre che di GDE.

Per lo studio di nuovi processi saranno valutate le migliori configurazioni di processo di separazione multistadio a membrana per l'ottenimento di correnti di idrogeno ad elevata purezza e la massimizzazione del recupero.

IV anno (TRL3-TRL4). Sarà realizzato il testing di stabilità di membrane metalliche anche in presenza di contaminanti. Verrà anche effettuato lo studio dell'attività catalitica sui processi di dissociazione/ricombinazione dell'idrogeno da parte di alcuni ossidi di metalli di transizione.

I MEA saranno caratterizzati elettrochimicamente per valutare l'efficienza di purificazione, la purezza del gas ottenuto e la stabilità. Tali caratterizzazioni saranno condotte in diverse condizioni operative di temperatura e pressione dei gas, per correlare la quantità di gas purificato con la corrente necessaria alla sua purificazione.

Per lo sviluppo di sistemi innovativi l'attività sperimentale sarà affiancata da un'attività di simulazione mirata all'individuazione delle configurazioni, condizioni operative, dimensionamento dei moduli che permettono di ottenere i target di purezza e recupero richiesti.

Risultati attesi:

I anno. Individuazione di possibili sistemi a basso o nullo contenuto di palladio. Sviluppo di substrati porosi su cui depositare film selettivi metallici.

Membrane protoniche composite con Water uptake nel range 20-35%; IEC >0,95 - 1 meq/g; variazione dimensionale (area) <25%.

Nel primo anno sarà inoltre adeguato ai target della separazione H_2/CH_4 un impianto di separazione gasosa a membrana già disponibile. Quindi, saranno identificate condizioni operative che possano garantire una buona separazione H_2/CH_4 .

II anno. Sviluppo di membrane a base di film sottili metallici privi o a basso contenuto di palladio su substrati porosi. Caratterizzazione di tali membrane. Dati di impatto ambientale di materiali e processi da analisi Life Cycle Assessment.

Membrane protoniche ottimizzate con Storage Modulus <250MPa e conducibilità protonica $\geq 0,14$ S/cm. Inoltre, verranno studiate le prestazioni di possibili membrane in presenza di alcani leggeri, vapore d'acqua e contaminanti.

III anno. Testing funzionale di nuove membrane a base di film sottili di leghe a basso o nullo contenuto di palladio per la separazione e purificazione di idrogeno da miscele con metano in correnti contenenti anche vapore d'acqua.

Sviluppo di MEA con i materiali realizzati negli anni precedenti e test elettrochimici di durata; H_2 -Crossover <2mA/cm² dopo 100 ore di funzionamento in EHP

Identificazione di alcune configurazioni multi-stadio (moduli in serie-parallelo) di un sistema di separazione/purificazione a membrana che possano dare recuperi e concentrazioni di idrogeno di interesse applicativo.

IV anno. Testing di stabilità di membrane a base di nuovi materiali anche in presenza di contaminanti. Sviluppo di strati protettivi e catalitici alternativi a quelli classici a base di palladio.

Validazione dei MEA sviluppati mediante test elettrochimici e analisi della purezza del gas in uscita. Individuazione, per mezzo di analisi modellistiche, dimensioni di moduli a membrana adeguati e condizioni operative per una separazione di livello applicativo.

Le attività suddette saranno articolate nelle seguenti milestones:

- | | |
|-----------------|---|
| M2.2.3.1 [M6] | Sviluppo di membrane polimeriche composite |
| M2.2.3.2 [M12] | Sviluppo di elettrodi per membrane polimeriche |
| M2.2.3.3 [M12] | Separazione/purificazione a membrana polimerica/metallica per correnti di H_2/CH_4 |
| M2.2.3.4 [M12] | Screening semi-empirico di leghe alternative al palladio e indagine di elementi non critici per membrane |
| M2.2.3.5 [M24] | Caratterizzazioni elettrochimiche sui MEA |
| M2.2.3.6 [M24] | Separazione/purificazione a membrana polimerica/metallica per correnti di H_2 /alcani leggeri |
| M2.2.3.7 [M24] | Deposizione di leghe alternative al palladio su substrati porosi e caratterizzazione di membrane ottenute |
| M2.2.3.8 [M24] | Analisi di impatto ambientale del processo di deposizione e dei materiali selezionati |
| M2.2.3.9 [M24] | Valutazione della separazione e purificazione di idrogeno da miscele con metano ed idrocarburi leggeri ed in presenza di tracce di contaminanti (H_2S , altri acidi, basi) |
| M2.2.3.10 [M30] | Sviluppo di membrane di seconda generazione |
| M2.2.3.11 [M36] | Sviluppo di MEA con materiali ottimizzati e test di durata |
| M2.2.3.12 [M36] | Sistemi a membrana polimerica/metallica per la separazione/purificazione di correnti di H_2/CH_4 /alcani leggeri ad elevati recupero e purezza |
| M2.2.3.13 [M36] | Testing di permeabilità e selettività di nuove membrane metalliche in miscele contenenti idrogeno, metano e vapor d'acqua |
| M2.2.3.14 [M42] | MEA con elevata efficienza di purificazione del gas |
| M2.2.3.15 [M42] | Configurazioni multistadio di sistemi a membrane per massimizzare recupero e/o purezza. |

M2.2.3.16 [M42] Validazione di stabilità di nuove membrane metalliche in flussi contenenti contaminanti e di efficacia di strati catalitici alternativi

Output:

- D2.2.3.1 [M12] Report sullo sviluppo di membrane ed elettrodi per la purificazione elettrochimica di idrogeno a cambio protonico
- D2.2.3.2 [M12] Report su separazione/purificazione a membrana polimerica/metallica per correnti di H₂/CH₄
- D2.2.3.3 [M12] Report con esito di screening semi-empirico di leghe alternative al palladio e indagine di elementi non critici per membrane
- D2.2.3.4 [M24] Report sullo sviluppo di MEA e test elettrochimici per purificazione elettrochimica di idrogeno a scambio protonico
- D2.2.3.5 [M24] Report su separazione/purificazione a membrana polimerica/metallica per correnti di idrogeno/alcani leggeri
- D2.2.3.6 [M24] Report con parametri di deposizione di leghe alternative al palladio su substrati porosi e caratterizzazione di membrane ottenute
- D2.2.3.7 [M36] Report su analisi di impatto del processo di deposizione e dei materiali selezionati
- D2.2.3.8 [M36] Report sullo sviluppo di componenti di seconda generazione ottimizzati per la purificazione elettrochimica di idrogeno a scambio protonico
- D2.2.3.9 [M36] Report su sistemi a membrana polimerica/metallica per la separazione/purificazione di correnti di H₂/CH₄/alcani leggeri ad elevati recupero e purezza
- D2.2.3.10 [M36] Report con dati di permeabilità e selettività di nuove membrane in miscele contenenti idrogeno, metano e vapor d'acqua
- D2.2.3.11 [M36] Report su test elettrochimici di durata e analisi della purezza dei gas dei MEA selezionati
- D2.2.3.12 [M42] Report su configurazioni multistadio di sistemi a membrane per massimizzare recupero e/o purezza
- D2.2.3.13 [M42] Report con dati di stabilità di nuove membrane in flussi contenenti contaminanti e di efficacia di strati catalitici alternativi

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.2 - LA2.2.4

Rivestimenti di condutture per il trasporto H₂: Sviluppo di coating ossidici, metallici e ibridi e processi per la loro deposizione

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Gennaro Gentile

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): €54.843,41

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 72.785,95

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 64.370,64

Costo totale LA (escluse spese generali): € 192.000,00

Descrizione attività:

Le ricerche proposte in questa linea di attività mirano allo sviluppo di nuovi coating a matrice polimerica e ceramici/metallici con proprietà di Hydrogen Permeation Barrier (HPB), caratterizzati da elevate performance e sostenibilità ambientale, realizzati attraverso processi facilmente scalabili. Per raggiungere questi obiettivi l'attività sarà suddivisa nei seguenti task.

Anno 1 (TRL2)

Analisi dello stato dell'arte sui sistemi a matrice polimerica e ceramici/metallici con proprietà di HPB.

Selezione dei materiali che saranno sviluppati e messa a punto del set-up sperimentale. Identificazione dei parametri funzionali utili a valutare/confrontare le performance dei coating ottenuti. Individuazione e analisi prestazionale dei materiali di riferimento.

Progettazione e realizzazione di nuovi coating nanostrutturati con proprietà HPB a base di grafene e derivati, anche attraverso la sintesi di ibridi tra grafene e altre nanostrutture 2D, inglobati in matrici polimeriche quali resine epossidiche o poliuree/poliuretani.

Sviluppo di metodologie di applicazione dei coating a matrice polimerica, incluse tecnologie spray, anche assistite da ultrasonicazione (Ultrasonic-Spray Assisted Deposition).

Sviluppo di rivestimenti con proprietà di HPB: i) ceramici/metallici via Physical Vapor Deposition Magnetron Sputtering (PVD MS); ii) a matrice ossidica via MOCVD su substrati di prova.

Impostazione dell'analisi di inventario LCA dei processi su scala di laboratorio utilizzati per la deposizione dei rivestimenti.

Anno 2 (TRL3)

Valutazione preliminare delle correlazioni struttura-proprietà e delle proprietà funzionali dei coating ottenuti.

Ottimizzazione della morfologia e della struttura dei coating polimerici, attraverso il controllo fine della distribuzione dei nanofiller nella matrice polimerica (realizzazione di sistemi a distribuzione omogenea dei nanofiller, a distribuzione selettiva dei nanofiller in zone predeterminate lungo la sezione del coating, o realizzazione di morfologie segregate).

Studio di possibili architetture con funzionalità HPB costituite da coating polimerici e compositi e ceramici/metallici. Deposizione di tali rivestimenti su substrati di prova e acciaio, attraverso processi spray e PVD MS.

Valutazione dell'effetto attivante/modificante della superficie di substrati di acciaio di un trattamento con Torcia al Plasma Atmosferico (APT) operante in aria o azoto. Successiva deposizione di film ossidici via MOCVD, verifica dell'adesione film-substrato e della funzionalità HPB.

Valutazione delle correlazioni struttura-proprietà dei depositi ottenuti mediante indagini SEM/EDS, TEM, SAXD/WAXD, XPS, scratch test, nanoindentazione, prove di stabilità in atmosfera di idrogeno, permeabilità ai gas ed in particolare all'idrogeno.

Per la caratterizzazione chimica dei coating saranno utilizzate tecniche di spettroscopia vibrazionale (spettroscopia e microscopia FTIR e Raman) e di risonanza magnetica nucleare (NMR stato solido).

Valutazione della sostenibilità ambientale dei processi coinvolti nella sintesi degli strati barriera attraverso l'analisi LCA.

Anno 3 (TRL4)

Ottimizzazione del processo di deposizione delle diverse architetture individuate via trattamenti spray, multilayer, PVD MS e/o MOCVD (anche con approccio multi-tecnica) e realizzazione di prototipi di coating su acciaio.

Prove di invecchiamento accelerato di substrati trattati con i coating sviluppati, abbinate a caratterizzazione mediante EIS, test di adesione e nanoindentazione e analisi SEM/EDS per valutare le proprietà anti-corrosive/anti-infragilimento dei nuovi sistemi.

Valutazione della scalabilità dei processi per applicazioni in-situ ed ex-situ dei coating.

Valutazione della sostenibilità ambientale degli strati barriera con architettura ottimizzata in funzione delle loro prestazioni attraverso analisi LCA.

Risultati attesi:

- M2.2.4.1 [M6] Stato dell'arte sui rivestimenti barriera polimerici e compositi e metallici/ceramici e sulle tecniche di deposizione attualmente impiegate
- M2.2.4.2 [M9] Progettazione dei coating e messa a punto dei set-up strumentali per la loro deposizione e caratterizzazione. Realizzazione dei protocolli di prova, validati su materiali strutturali già utilizzati nel settore, da impiegare come riferimento per la valutazione delle prestazioni dei rivestimenti sviluppati
- M2.2.4.3 [M9] Sviluppo di metodiche di applicazione su substrati in acciaio di coating polimerici nanostrutturati, a base di grafene ed altri filler 2D, mediante tecnologie spray, anche assistite da ultrasonicazione, e multilayer
- M2.2.4.4 [M12] Sviluppo di procedure di deposizione di rivestimenti metallici/ceramici depositati via PVD MS e di layer a matrice ossidica via MOCVD su substrati di prova
- M2.2.4.5 [M12] Impostazione raccolta dati d'inventario e pianificazione dello studio LCA applicato ai processi di rivestimenti
- M2.2.4.6 [M18] Caratterizzazione preliminare dei coating e valutazione delle loro proprietà funzionali
- M2.2.4.7 [M21] Ottimizzazione della morfologia e della struttura dei coating polimerici nanostrutturati attraverso il controllo fine della distribuzione dei nanofiller nella matrice polimerica
- M2.2.4.8 [M21] Sviluppo di procedure di deposizione via PVD MS per la deposizione di rivestimenti metallici/ceramici su substrati di Si e acciaio e di processi dual-step combinato (APT e successivo MOCVD) per la crescita di film di ossidi metallici su substrati di acciaio
- M2.2.4.9 [M24] Caratterizzazione morfologico-strutturale e chimica dei coating e Valutazione preliminare della riduzione della permeabilità all'idrogeno e delle proprietà anti-infragilimento indotte dai coating sui substrati trattati rispetto a corrispondenti materiali di riferimento non rivestiti
- M2.2.4.10 [M24] Studio LCA dei processi di deposizione degli strati barriera
- M2.2.4.11 [M27] Ottimizzazione delle procedure di deposizione di coating polimerici e metallici /ceramici su acciaio PVD MS e MOCVD
- M2.2.4.12 [M30] Produzione di prototipi di coating ottimizzati su acciaio
- M2.2.4.13 [M36] Estesa caratterizzazione multi-tecnica (morfologico-strutturale, chimica e meccanica) dei coating e dei sistemi substrato/coating ottimizzati e validazione dei sistemi attraverso la valutazione delle proprietà di barriera all'idrogeno e delle proprietà anti-corrosione/anti-infragilimento e prove di resistenza a invecchiamento accelerato
- M2.2.4.14 [M42] Valutazione della scalabilità dei processi per applicazioni in-situ ed ex-situ dei coating
- M2.2.4.15 [M42] Studio LCA per la determinazione dell'eco-profilo dei rivestimenti ottimizzati in funzione delle prestazioni misurate

Output:

- D2.2.4.1 [M6] Report sullo stato dell'arte relativo ai sistemi barriera a base di rivestimenti polimerici, compositi e metallici/ceramici e sulle tecniche di deposizione attualmente impiegate
- D2.2.4.2 [M9] Report sullo sviluppo di protocolli di caratterizzazione con riferimento a materiali strutturali già impiegati nel settore e messa a punto dei set-up sperimentali per la preparazione e la caratterizzazione dei coating e dei substrati
- D2.2.4.3 [M9] Report sulla progettazione e applicazione di coating polimerici con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati in acciaio
- D2.2.4.4 [M12] Report sulla progettazione e applicazione di rivestimenti ottenuti mediante tecniche MS con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati di prova
- D2.2.4.5 [M12] Report sulla progettazione e applicazione di rivestimenti ottenuti mediante tecniche MOCVD con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati di prova
- D 2.2.4.6 [M12] Impostazione e raccolta dati dell'analisi d'inventario LCA dei processi coinvolti nella deposizione degli strati barriera
- D2.2.4.7 [M21] Report sull'ottimizzazione della morfologia e della struttura dei coating polimerici nanostrutturati per il controllo fine della distribuzione dei nanofiller nella matrice polimerica
- D2.2.4.8 [M21] Report sulla progettazione e applicazione di coating metallici/ceramici ottenuti mediante tecniche MS con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati di prova e acciaio
- D2.2.4.9 [M21] Report sull'applicazione dell'approccio dual-step attivazione plasma – deposizione MOCVD per la produzione di rivestimenti di ossidi metallici su acciaio con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati in acciaio
- D2.2.4.10 [M24] Report sulla caratterizzazione morfologico-strutturale e chimica dei coating applicati su substrati in acciaio
- D2.2.4.11 [M24] Eco-profilo degli strati barriera con comparazione degli impatti relativi alle differenti composizioni elementari individuate mediante analisi LCA
- D2.2.4.12 [M27] Protocolli di deposizione dei coating polimerici con struttura e morfologia ottimizzata su substrati in acciaio
- D2.2.4.13 [M36] Prototipi di coating polimerici con struttura e morfologia ottimizzata estesamente caratterizzati e validati per le proprietà barriera all'idrogeno e le proprietà anti-corrosive/anti-infragilimento
- D2.2.4.14 [M36] Protocolli di deposizione PVD MS e MOCVD per la produzione di rivestimenti ottimizzati metallici/ceramici
- D2.2.4.15 [M36] Prototipi di rivestimenti ottimizzati metallici/ceramici ottenuti mediante tecniche PVD MS e MOCVD estesamente caratterizzati e validati per le proprietà barriera all'idrogeno e le proprietà anti-corrosive/anti-infragilimento
- D2.2.4.16 [M42] Report sull'analisi della scalabilità dei processi per applicazioni in-situ ed ex-situ dei coating
- D2.2.4.17 [M42] Eco-profilo degli strati barriera ottimizzati mediante analisi LCA, in relazione alle tecniche di sintesi impiegate, alle differenti composizioni elementari individuate e alle prestazioni ottenute

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.2 - LA2.2.5

Modellistica, simulazione e diagnostica sperimentale della combustione di miscele idrogenate e/o altri H_2 -carrier (NH_3)

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Eugenio Giacomazzi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 329.589,72

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 420.373,69

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 489.203,14

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 360.983,58

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.600.150,13

Descrizione attività:

L'idrogeno, elemento essenziale per la decarbonizzazione, puro o miscelato con gas naturale (distribuito sfruttando l'attuale rete di distribuzione del gas naturale), ma anche sotto forma di ammoniaca (ritenuto un promettente H_2 -carrier) e syngas, trova spazio laddove la combustione è la fonte principale di calore: dalla generazione di potenza con turbogas (con il principale ruolo di servizio di back-up e di stabilizzazione della rete elettrica a supporto delle rinnovabili non programmabili) all'industria *hard-to-abate* (cemento, ceramica, vetro, etc.). Anche il settore aeronautico a lungo raggio punta alla decarbonizzazione con combustione di miscele idrogenate, idrogeno puro o syngas. Tuttavia, per rispettare le normative sulle emissioni di NO_x e CO, l'idrogeno richiede adeguate tecnologie/strategie di combustione.

Questo motiva la proposta di attività di ricerca volte alla definizione di varie tipologie di modelli: da quelli di sotto-griglia (*SubGrid Scale*, SGS) per simulazioni LES (*Large Eddy Simulation*), con cui identificare strategie di combustione, efficienti e sostenibili, ai modelli per la predizione dei precursori di instabilità termo-acustiche, da implementare in un sistema di controllo delle turbine a gas.

In una prima fase, le attività di simulazione e di sperimentazione porteranno allo sviluppo di modelli SGS in grado di cogliere gli effetti di elevate concentrazioni di idrogeno a scale non risolte. Dati provenienti da simulazioni dirette saranno utilizzati per lo studio della fisica delle piccole scale e opportunamente filtrati consentiranno la validazione dei modelli SGS sviluppati. Diagnostica laser al nanosecondo verrà utilizzata per acquisire dati velocimetrici (PIV, *particle image velocimetry*) e topologici (LIF, *Laser Induced Fluorescence*) del fronte di fiamma, utili alla misura dei principali osservabili descritti dai modelli di chiusura per le simulazioni numeriche. Sistemi diagnostici laser al femtosecondo consentiranno, inoltre, misure accurate a pressione sopra-atmosferica, essendo capaci di risolvere i tempi di rilassamento e degli urti molecolari dell'ordine del picosecondo. I modelli saranno implementati in codici di calcolo per definire nuove configurazioni di combustori. Saranno anche eseguite simulazioni di cinetica chimica per caratterizzare l'atmosfera di combustione delle diverse applicazioni e per la validazione di meccanismi semplificati. Verranno anche condotti studi teorici e sperimentali per meglio identificare il ruolo del trasferimento radiativo dell'energia nelle diverse applicazioni al variare del contenuto di idrogeno.

Una volta definite le specifiche di combustione per le diverse applicazioni (turbine a gas, microturbine, turbine a CO_2 supercritica con ossi-combustione, forni per la produzione del cemento, ceramica, vetro, etc.) in termini dei fondamentali parametri operativi (pressione, temperatura, composizione dell'atmosfera richiesta), saranno definite le migliori strategie per bruciare idrogeno

o miscele idrogenate in modo efficiente, sostenibile e sicuro: in particolare, l'attenzione sarà focalizzata sulla combustione volumetrica o distribuita, in un'atmosfera arricchita di prodotti di combustione (EGR, *Exhaust Gas Recirculation*, e MILD), caratterizzata da facilità di accensione della miscela, controllo della temperatura massima, limitati NO_x, riduzione delle instabilità termo-acustiche.

L'adozione di miscele idrogenate con composizione variabile nel tempo e di tecnologie di combustione premiscelate per un maggiore controllo degli NO_x, aumenta il rischio delle instabilità termo-acustiche, richiedendo un monitoraggio *real-time* della combustione. Un approccio già studiato in ENEA, basato sull'acquisizione dell'energia radiante della fiamma, sarà ripreso e accoppiato a misure sincrone di fluttuazione di pressione. Saranno svolte e comparate analisi statistiche, wavelet e caotiche, per definire strategie *real-time* per l'identificazione di fenomeni precursori di instabilità.

Risultati attesi:

M2.2.5.1 [M12]

L'atmosfera di combustione per le diverse applicazioni sarà identificata mediante simulazioni di cinetica chimica. Si useranno meccanismi cinetici dettagliati per studi laminari: in reattori perfettamente mescolati per valutare l'effetto del tempo di residenza sulla composizione e sulla temperatura finali dei prodotti; in reattori a contro-diffusione per valutare l'effetto della parziale premiscelazione. Studi di cinetica chimica saranno anche eseguiti per validare i meccanismi semplificati necessari per le più costose simulazioni fluidodinamiche

Simulazioni termo-fluidodinamiche, DNS (Direct Numerical Simulation), anche ad alta pressione, e studi sperimentali (atmosferici) guideranno lo sviluppo di modelli SGS per simulazioni LES che considerino gli effetti diffusivi di elevate concentrazioni di idrogeno alle piccole scale non risolte. Oltre gli aspetti fondamentali, le simulazioni indagheranno anche gli effetti dell'uso dell'EGR (fondamentalmente di elevate concentrazioni di CO₂ e H₂O) sulla produzione di NO_x, a pressione atmosferica e maggiore

Si avvierà l'acquisizione, installazione e configurazione di sistemi diagnostici laser al femtosecondo necessari per i successivi studi ad alta pressione. Verrà inoltre potenziata la catena di misura al nanosecondo con l'acquisizione di ulteriori sorgenti e dispositivi ottici

Studi teorici e sperimentali permetteranno di identificare il ruolo del trasferimento radiativo dell'energia nelle diverse applicazioni (turbine a gas convenzionali e a ossi-combustione con CO₂ supercritica, forni) caratterizzate dai propri parametri operativi

M2.2.5.2 [M24]

Saranno completati i modelli SGS definiti nella prima fase e implementati nel codice HeaRT di ENEA. Un reattore MILD con una configurazione geometrica molto semplice, già sperimentato presso il CNR di Napoli, sarà simulato per la validazione dei modelli nel regime di combustione volumetrica; successivamente sarà simulato a pressioni maggiori.

Saranno installati e testati i sistemi laser al femtosecondo per la sperimentazione con miscele di gas naturale e H₂, o con altri vettori energetici (NH₃), a pressioni maggiori di 1 bar in una *facility* ENEA opportunamente modificata

Dati di energia radiante e fluttuazione di pressione, già acquisiti e di nuova acquisizione, saranno monitorati e analizzati con metodi statistici (cross- ed

auto- correlazioni) per l'identificazione (anche in tempo reale) di fenomeni di instabilità termo-acustica e dei suoi precursori

M2.2.5.3 [M36] Saranno definite e simulate particolari geometrie di combustori e/o piastre di iniezione adatte alla combustione di idrogeno e miscele idrogenate, in vista di una loro potenziale implementazione su turbine, microturbine e forni reali. In particolare, si punterà all'applicazione delle strategie di micro-miscelamento e/o a vortice intrappolato (TVC, *Trapped Vortex Combustor*). Alcune geometrie semplificate verranno realizzate, opportunamente scalate, e testate sperimentalmente fino a 10 bar a supporto degli studi modellistici

La ricerca di indici di instabilità affidabili proseguirà con la comparazione di metodi basati su analisi wavelet e caotica, oltre che statistici standard. Queste analisi *off-line* indirizzeranno la scelta della strategia di monitoraggio più opportuna al fine del suo utilizzo finale in modalità *real-time*

M2.2.5.4 [M42] Ulteriori simulazioni LES e RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) definiranno meglio le geometrie di combustori e/o piastre di iniezione già identificate, per una loro potenziale implementazione su turbine, microturbine e forni reali. Le geometrie più promettenti verranno realizzate, opportunamente scalate, e testate sperimentalmente fino a 10 bar, sfruttando tecniche laser, sensori per acustica ed energia radiante, analizzatori di gas esausti

I precursori di instabilità termo-acustica individuati saranno implementati in un software realizzato in ambiente LabVIEW, con lo scopo di utilizzo in *real-time* per applicazioni industriali

Output:

D2.2.5.1 [M12] Rapporto Tecnico "Cinetica chimica: valutazione dell'effetto del tempo di residenza sulla composizione e sulla temperatura finali dei prodotti di combustione, e della parziale premiscelazione. Simulazioni termofluidodinamiche: morfologia della zona di reazione, produzione di NO_x in funzione della composizione, mescolamento e pressione (con e senza EGR)"

D2.2.5.2 [M12] Rapporto Tecnico "Sperimentazione atmosferica per modellistica SGS: interazione tra combustione e turbolenza, analisi delle instabilità intrinseche della fiamma (termoacustiche, idrodinamiche, termodiffusive), e delle capacità radiative della fiamma. Misure con microfoni, diodi o fotomoltiplicatori, tecniche spettroscopiche ed anemometriche"

D2.2.5.3 [M24] Rapporto Tecnico "Definizione finale ed implementazione di modelli SGS nel codice HeaRT"

D2.2.5.4 [M24] Rapporto Tecnico "Simulazione di un reattore in regime MILD: validazione atmosferica della modellistica nel regime di combustione volumetrico e valutazione dell'effetto dell'aumento della pressione"

D2.2.5.5 [M24] Rapporto Tecnico "Sistemi laser al femtosecondo: descrizione e test dei sistemi acquisiti"

D2.2.5.6 [M24] Rapporto Tecnico "Sperimentazione a pressioni sopra atmosferica: misure con termocoppie, microfoni, diodi, analizzatori di gas e misure spettroscopiche"

D2.2.5.7 [M24] Rapporto Tecnico "Instabilità termo-acustiche: analisi statistica di segnali di energia radiante e di pressione, già acquisiti e di nuova acquisizione anche a pressione sopra atmosferica"

- D2.2.5.8 [M36] Rapporto Tecnico “Simulazioni LES e RANS per la definizione di geometrie per la combustione volumetrica: nuove geometrie di combustori e/o piastre di iniezione basate sulla strategia del micro-mescolamento e/o del vortice intrappolato in una cavità per potenziali implementazioni su turbine, microturbine e forni”
- D2.2.5.9 [M36] Realizzazione di prototipi semplificati e sperimentazione a supporto della modellistica: alcune geometrie di combustori e/o piastre di iniezione semplificate verranno realizzate, opportunamente scalate, e testate sperimentalmente fino a 10 bar a supporto degli studi modellistici.
- D2.2.5.10 [M36] Rapporto Tecnico “Instabilità termo-acustiche: ricerca di indici di instabilità con metodi basati su analisi wavelet e caotica, oltre che statistici standard; comparazione degli approcci in modalità *off-line* con misure acquisite durante le nuove campagne sperimentali”
- D2.2.5.11 [M42] Rapporto Tecnico “Simulazioni LES e RANS per la definizione finale delle geometrie identificate”
- D2.2.5.12 [M42] Realizzazione e test di prototipi delle geometrie più promettenti
- D2.2.5.13 [M42] Rapporto Tecnico “Strategie ed algoritmi per l’identificazione di instabilità termo-acustiche: implementazione degli algoritmi in un software realizzato in ambiente LabVIEW; loro ottimizzazione per consentirne l’uso in *real-time* per applicazioni industriali”

TRL (inizio-fine):2-5

WP 2.2 – LA 2.2.6

Valutazione modellistica e sperimentale delle limitazioni all'immissione di idrogeno nelle reti del gas naturale

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Carlo Sandroni

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo totale LA - 1 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo totale LA - 2 anno (escluse spese generali): € 420.000,00

Costo totale LA - 3 anno (escluse spese generali): € 400.000,00

Costo totale LA - 4 anno (escluse spese generali): € 380.500,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.400.500,00

Descrizione attività:

Il percorso verso la decarbonizzazione energetica richiede una progressiva, ma sempre più veloce, sostituzione dei gas fossili (metano/gas naturale) con gas neutri riguardo al ciclo del carbonio. Biometano e idrogeno sono i principali candidati per questa sostituzione. Le rispettive tecnologie di produzione hanno caratteristiche e vincoli notevolmente diverse fra loro: il biometano è originato da processi biologici che, una volta innescati, richiedono siano mantenuti continui e costanti, originando così la necessità di un accumulo o di uno smaltimento continuo del biometano prodotto. L'idrogeno, al contrario, è prodotto principalmente dall'elettrolisi dell'acqua, alimentata dagli eccessi di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (solare, eolica) non programmabili. La sua produzione, contrariamente al biometano, non è costante e, se non consumato immediatamente, necessita di un accumulo. Vista l'ampia diffusione delle reti di trasporto e distribuzione del gas naturale, è possibile utilizzare queste infrastrutture esistenti sia come sistema

di accumulo, sia come sistema di trasporto dei due gas, biometano e idrogeno, in miscela con il gas naturale. Attualmente, le reti di distribuzione del gas sono gestite imponendo un flusso unidirezionale che dall'unico punto di immissione (stazione di Riduzione e Misura – REMI) dalla rete di trasmissione, fluisce verso gli utenti, senza ulteriori immissioni lungo il percorso. Il gas che fluisce è omogeneo (gas naturale) e la principale azione di controllo è mantenere la pressione della rete entro un intervallo prefissato. In linea con il percorso tracciato, sono sempre più numerosi i produttori di biometano che richiedono di poter immettere in rete la propria produzione, determinando, di fatto, una evoluzione della gestione attuale della rete verso punti di immissione plurimi, con flussi non più monodirezionali. Utilizzare la rete distribuzione del gas come sistema di accumulo dell'idrogeno prodotto richiede anche che sia possibile gestire e controllare il trasporto di miscele di gas idrogeno-metano con percentuali di idrogeno significative e variabili, assicurando agli utenti una fornitura nel rispetto dei vincoli qualitativi stabiliti.

Le attività di ricerca hanno l'obiettivo di individuare vincoli topologici ed operativi che possono risultare critici per la transizione di una rete di distribuzione del gas dalla attuale operatività, monodirezionale con un unico punto di immissione e un solo gas omogeneo (metano, gas naturale), ad una operatività inclusiva di più punti di immissione, flussi bidirezionali e trasporto di miscele di gas (biometano, idrogeno) con percentuali variabili. Sarà, inoltre, analizzata, con strumenti sia modellistici che sperimentali, la compatibilità dei principali componenti presenti o di futura installazione nelle infrastrutture delle reti gas (es. giunzioni, valvole, misuratori di flusso, analizzatori) per un funzionamento con miscele a concentrazioni crescenti di idrogeno nel gas naturale. Queste attività saranno infine accompagnate dallo studio e modellazione degli aspetti di sicurezza, con analisi delle conseguenze di rilasci di idrogeno. Tali analisi forniranno ulteriori informazioni sui vincoli operativi delle reti operanti con miscele di gas.

Risultati attesi:

- | | |
|----------------|---|
| M2.2.6.1 [M9] | Simulatore rete gas con immissioni multiple di biometano. Il simulatore consentirà la riproduzione dei transitori giornalieri di produzione di biometano e profili di consumo |
| M2.2.6.2 [M12] | Evidenza di eventuali criticità operative indotte dalla immissione multipla di biometano. L'analisi dei transitori simulati evidenzierà le perturbazioni indotte nella rete dalle immissioni di biometano nei vari punti ed eventuali criticità operative |
| M2.2.6.3 [M21] | Modelli fisico matematici per il trasporto di miscele di gas. Le librerie del software di simulazione dinamica disponibile in RSE saranno idonee alla modellazione del trasporto di miscele di gas con concentrazione variabile |
| M2.2.6.4 [M24] | Progettazione di un caso studio di rete con immissione multipla di idrogeno
Sarà definito un caso studio di riferimento ipotizzando l'immissione multipla di idrogeno in percentuale variabile in una rete reale |
| M2.2.6.5 [M30] | Realizzazione facility per il test di miscele di idrogeno e gas naturale
Sarà completata la predisposizione di una facility per il test di componenti per testarne la compatibilità con miscele di idrogeno e gas naturale. |
| M2.2.6.6 [M36] | Simulatore dinamico della rete di riferimento del caso studio
Disponibilità di uno strumento di analisi dinamica di reti gas con immissione di idrogeno in percentuale variabile |
| M2.2.6.7 [M42] | Analisi dinamica della rete del caso studio
Evidenza di eventuali criticità operative dell'immissione multipla in percentuale variabile di idrogeno in una rete gas con caratteristiche analoghe alla rete del caso studio |

M2.2.6.8 [M42] Esecuzione test di compatibilità miscele di idrogeno e gas naturale
Completamento dei test sui principali componenti delle reti gas per verificarne la compatibilità con l'esercizio con miscele a diverse concentrazioni di idrogeno e gas naturale

Output:

D.2.2.6.1 [M12] Report tecnico "Simulazione dinamica di immissione multipla di biometano una rete gas di media pressione"
D.2.2.6.2 [M24] Report tecnico "Modelli fisico-matematici per il trasporto di miscele di gas"
D.2.2.6.3 [M36] Report tecnico "Simulatore dinamico di una rete gas di media pressione con immissione variabile di idrogeno"
D.2.2.6.4 [M42] Report tecnico "Simulazione ed analisi dinamica dell'immissione variabile di idrogeno in una rete gas di media pressione e valutazione della compatibilità dei principali componenti"

TRL (inizio-fine): 3-5

WP 2.2 – LA 2.2.7

Sviluppo e validazione di strumenti numerici per le analisi di rilascio, dispersione e combustione accidentale dell'idrogeno e di miscele idrogeno - metano

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Giovanni Manzini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 60.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 110.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 120.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 121.556,06

Costo totale LA (escluse spese generali): € 411.556,06

Descrizione attività:

Le attività proposte riguardano lo studio delle soluzioni per il trasporto, la distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno attraverso le attuali reti adibite al vettoriamento del gas naturale. La sostituzione dell'idrocarburo con miscele di metano e idrogeno oppure, più difficilmente, con idrogeno puro, presenta diverse incognite dalle quali conseguono rischi di rilascio dei/del combustibili/e verso l'ambiente circostante i sistemi di contenimento (tubazioni, serbatoi, etc.). Gli effetti di tale sostituzione sui materiali, costituenti i suddetti sistemi, non sono infatti completamente noti, in particolar modo a lungo termine. La dispersione conseguente a eventuali fenomeni di rilascio conseguenti al degrado del materiale potrebbe preludere a combustioni accidentali, causando ingenti danni.

Gli obiettivi proposti risiedono nella messa a punto, a partire da codici numerici già esistenti, di soluzioni di calcolo più efficaci/ottimizzate, rispetto a quelle esistenti, per la simulazione di rilascio, dispersione e combustione del combustibile dal sistema di contenimento verso l'intorno del medesimo.

In termini di benefici attesi si intende contribuire allo sviluppo di soluzioni di calcolo efficaci, nei casi nei quali vi sia la presenza rilevante di idrogeno, non sono comuni. In particolare, quando risulta importante la rapidità di calcolo. Ciò al fine di prevedere le conseguenze di numerosi eventi, oppure di prevedere le conseguenze di un rilascio in corso, nel caso in cui tale scenario non sia stato precedentemente calcolato in modo esaustivo. Verrà seguito un approccio che prevede l'impiego di

un codice di calcolo in grado di fornire risultati dettagliati, con tempistiche di calcolo anche impegnative e domini spazio-temporali abbastanza contenuti e di un altro in grado di fornire risultati non dettagliati, ma in tempi rapidi e con domini spazio-temporali di dimensioni elevate. L'interfacciamento dei due processi di calcolo sarà parte dell'attività da svolgere.

I vantaggi derivanti dalla costruzione di un ampio database sono relativi alla conseguente attività progettuale e, in generale, a diverse parti delle attività inerenti alla sicurezza (non ultimi gli aspetti assicurativi).

I principali risultati attesi sono costituiti essenzialmente dai rapporti a descrizione del lavoro svolto e delle soluzioni di calcolo ottenute. Essendo queste ultime, non necessariamente, "pacchetti sw", ma modalità di input e di trattamento dati di output, oltre che di configurazione dell'utilizzo dei vari modelli necessari, non si ritiene che i prodotti possano essere di altro tipo.

Essenzialmente la prima annualità sarà dedicata alla identificazione degli scenari ed eventi maggior interesse, mentre quelle successive alla messa a punto e validazione delle soluzioni di calcolo, con particolare riferimento a tali casi.

Risultati attesi:

M2.2.7.1 [M6]	Soluzione di calcolo ECART (Fast running numerical tool): procedure e modalità di uso di tale codice elaborate al fine di ottimizzarne l'uso per la simulazione di eventi di rilascio, dispersione e combustione. Individuazione e studio casi tipici / esemplificativi
M2.2.7.2 [M12]	Soluzione di calcolo ECART: procedure e modalità di uso di tale codice elaborate al fine di ottimizzarne l'uso per la simulazione di eventi di rilascio, dispersione e combustione. Tipicizzazione e applicazione del tool ai casi individuati
M2.2.7.3 [M18]	Soluzione di calcolo ECART: procedure e modalità di uso di tale codice elaborate al fine di ottimizzarne l'uso per la simulazione di eventi di rilascio, dispersione e combustione. Messa a punto e validazione del tool nei casi individuati. La soluzione dovrà permettere la simulazione di elevati numeri casi in tempi rapidi e con scarsa definizione dei particolari
M2.2.7.4 [M24]	Soluzione di calcolo OpenFoam (CFD numerical tool): procedure e modalità di uso di tale codice elaborate al fine di ottimizzarne l'uso per la simulazione di eventi di rilascio, dispersione e combustione. Individuazione e studio casi tipici / esemplificativi
M2.2.7.5 [M30]	Soluzione di calcolo OpenFoam: procedure e modalità di uso di tale codice elaborate al fine di ottimizzarne l'uso per la simulazione di eventi di rilascio, dispersione e combustione. Tipicizzazione, applicazione, messa a punto e validazione del tool nei casi individuati. La soluzione dovrà permettere la simulazione di pochi casi in tempi rapidi e con elevata definizione dei particolari
M2.2.7.6 [M36]	Soluzione "Mista": procedure e modalità di uso delle due soluzioni precedenti opportunamente interfacciate (i.e. approccio "Multiscale"). Individuazione di casi esemplificativi e applicazione
M2.2.7.7 [M42]	Soluzione "Mista": procedure e modalità di uso delle due soluzioni precedenti opportunamente interfacciate (i.e. approccio "Multiscale"). Messa a punto e validazione del tool nei casi individuati

Output:

- D.2.2.7.1 [M6] Report tecnico “Casi tipici di rilascio e combustione accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”
- D.2.2.7.2 [M18] Report tecnico “Applicazione di codice numerico fast running a casi esemplificativi di rilascio accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”
- D.2.2.7.3 [M30] Report tecnico “Applicazione di codice numerico CFD a casi esemplificativi di rilascio accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”
- D.2.2.7.4 [M42] Report tecnico “Applicazione di codicistica numerica con approccio Multi-scale a casi esemplificativi di rilascio accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”

TRL (inizio-fine): 3-5

WP 2.2 – LA 2.2.8

Simulazione e analisi tecnico economica di sistemi basati sull'utilizzo di cavi superconduttori refrigerati con idrogeno liquido per il trasporto combinato di idrogeno ed energia elettrica

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Marco Bocchi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 65.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 140.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 160.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 171.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 536.000,00

Descrizione attività:

I materiali superconduttori (SC) ad alta temperatura critica (T_c) (ad esempio i materiali 2G coated conductors con $T_c=91$ K e l'MgB₂ con $T_c=39$ K), operando al di sotto di essa, sono in grado di trasportare energia con ridottissime perdite. I cavi realizzati con tali materiali sono più efficienti, hanno dimensioni ridotte e contengono quantità minime di rame rispetto a quelli tradizionali. Queste caratteristiche li rendono particolarmente adatti a tutte quelle applicazioni dove è richiesto il trasporto di grandi quantità di energia come le interconnessioni intorno a centri urbani importanti o i collegamenti di impianti rinnovabili, in particolare quelli in mare aperto a distanza di centinaia di chilometri dalla costa. I cavi SC sono ad oggi in fase dimostrativa e si stima che raggiungeranno la fase di produzione e commercializzazione su grande scala tra il 2035 e il 2050 (IEA HTS – High Temperature Superconductivity Application Readiness Map).

Nel processo di transizione energetica ormai in atto, due sono i driver principali che definiscono la sfida tecnologica di impiegare cavi SC raffreddati con idrogeno. Da un lato, il processo di decarbonizzazione del sistema elettrico prevede il ricorso sempre crescente a fonti rinnovabili per la produzione di energia, fra queste principalmente l'eolico e il fotovoltaico. Dall'altro vi è la spinta ad una produzione sempre crescente di idrogeno (possibilmente verde) non solo per i suoi impieghi diretti, ma anche come vettore energetico. L'utilizzo di cavi SC raffreddati con idrogeno potenzialmente rappresenta l'opportunità di unificare le infrastrutture di trasporto di energia elettrica e idrogeno e di migliorare impatti energetici ed ambientali. Lo scopo dell'attività di ricerca è quello di condurre un'analisi sullo stadio attuale di sviluppo tecnologico e sulle performance attese dei cavi SC raffreddati con idrogeno al fine di valutare i benefici e le criticità del loro impiego in

alcune situazioni rappresentative, nonché di identificare e cercare di ridurre i gap di conoscenza al fine di avere un miglior inquadramento di questa tecnologia e dei suoi impieghi.

L'attività sarà articolata in quattro fasi:

1. Analisi della letteratura scientifica, definizione delle ipotesi modellistiche da adottare e analisi delle metodologie di simulazione per i vari componenti del sistema cavo superconduttore. Scelta del tipo del modello fluidodinamico (1D o 2D o 3D) per l'idrogeno liquido, dei modelli elettromagnetici e termici dei superconduttori del cavo (parametri concentrati e/o distribuiti, modelli delle caratteristiche elettromagnetiche e termiche del SC). Sviluppi preliminari di modelli per l'analisi della refrigerazione con H_2liq in deflusso e dei fenomeni elettrici ed elettromagnetici nei superconduttori del cavo e nei materiali di supporto (M1-12)
2. Sviluppo di un modello di simulazione del comportamento del cavo tramite il completamento dello sviluppo e la connessione dei modelli fluidodinamici per la refrigerazione tramite idrogeno con quelli termici ed elettromagnetici dei superconduttori del cavo. Studio di stabilità del comportamento del cavo SC raffreddato con idrogeno nella rete elettrica in situazioni critiche quali eventi di guasto nella rete o del sistema di refrigerazione (M13-24)
3. Sviluppo di metodologie computazionali, basate sui modelli sviluppati al punto 2, finalizzate a determinare la configurazione ottimale di cavi SC raffreddati con idrogeno, ed il relativo costo, al variare delle condizioni operative scelte e a consentire l'esecuzione di studi parametrici atti a confrontare scelte progettuali e di configurazione e a valutarle in termini di impatto economico, funzionale e ambientale. Scelta dei casi di studio, impostazione degli studi parametrici e prime applicazioni delle metodologie (M25-36)
4. Completamento delle analisi sui casi studio individuati con l'esecuzione di studi parametrici atti a confrontare diverse scelte progettuali e a valutarle in termini di impatto economico, funzionale e ambientale (M37-42)

Risultati attesi:

- M.2.2.8.1 [M3] Analisi della letteratura scientifica sui cavi SC refrigerati con idrogeno liquido, definizione delle ipotesi modellistiche da adottare e analisi delle metodologie di simulazione per i vari componenti del sistema cavo superconduttore, criostato, fluido refrigerante, nastri e fili superconduttori, componenti del sistema di refrigerazione
- M.2.2.8.2 [M6] Identificazione dei modelli fluidodinamici (1D o 2D o 3D) per il comportamento in convezione forzata dell'idrogeno liquido nel criostato del cavo, dei modelli per le proprietà termodinamiche e termofisiche dell'idrogeno, dei modelli elettromagnetici e termici degli avvolgimenti superconduttivi del cavo, a parametri concentrati o distribuiti, e dei modelli delle caratteristiche elettromagnetiche e termiche dei SC
- M.2.2.8.3 [M12] Sviluppo del modello del comportamento fluidodinamico dell'idrogeno liquido in convezione forzata nel criostato del cavo SC, dei modelli del comportamento termico ed elettromagnetico dei superconduttori nella configurazione di assemblaggio ed avvolgimento all'interno del cavo
- M.2.2.8.4 [M18] Connessione dei modelli dei sottocomponenti e realizzazione del modello complessivo del cavo per la rappresentazione del suo comportamento nella rete elettrica. Utilizzo del modello per studi di stabilità del comportamento del cavo SC raffreddato a idrogeno nella rete elettrica in situazioni critiche quali eventi di guasto nella rete o del sistema di refrigerazione
- M.2.2.8.5 [M24] Studio e impostazione di metodologie computazionali, basate sui modelli sviluppati al punto 2, finalizzate a determinare la configurazione ottimale di

cavi SC raffreddati con idrogeno, ed il relativo costo, al variare delle condizioni operative scelte e a consentire l'esecuzione di studi parametrici atti a confrontare scelte progettuali e di configurazione e a valutarle in termini di impatto economico, funzionale e ambientale

M.2.2.8.6 [M30] Implementazione di algoritmi di ottimizzazione numerica nelle metodologie computazionali identificate e scelta di possibili casi di studio nella rete italiana per l'applicazione delle metodologie al dimensionamento ottimale di cavi superconduttori refrigerati con idrogeno liquido per tali installazioni

M.2.2.8.7 [M36] Applicazione delle metodologie computazionali di cui sopra ai casi di studio individuati con l'esecuzione di vari tipi di analisi di sensibilità dei vari parametri di dimensionamento del cavo SC sul funzionamento, sugli ingombri, sui costi e sull'impatto ambientale

M.2.2.8.8 [M42] Sulla base delle analisi di sensibilità eseguite, confronto delle diverse scelte progettuali e di configurazione eseguite nei casi delle installazioni in rete ipotizzate e loro valutazione in termini di parametri quantitativi di tipo economico, funzionale e ambientale

Output:

D.2.2.8.1 [M6] Report tecnico "Cavi SC raffreddati a idrogeno: scelta delle ipotesi e delle metodologie per la simulazione numerica del comportamento del sistema cavo e dei suoi componenti principali"

D.2.2.8.2 [M18] Report tecnico "Sviluppo di un modello di simulazione numerica del comportamento del sistema cavo superconduttore refrigerato con idrogeno e dei suoi componenti principali"

D.2.2.8.3 [M30] Report tecnico "Sviluppo di metodologie computazionali per la determinazione della configurazione ottimale di cavi SC raffreddati con idrogeno dal punto di vista tecnico economico e ambientale. Identificazioni di casi studio di installazioni in rete per la loro applicazione"

D.2.2.8.4 [M42] Report tecnico "Applicazione ai casi di studio di metodologie computazionali per la determinazione della configurazione ottimale di cavi SC raffreddati con idrogeno dal punto di vista tecnico economico e ambientale"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP2.3 - Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Obiettivi:

A causa della sua bassa densità volumetrica (1 kg di idrogeno gassoso occupa 11 m³), lo stoccaggio efficiente e conveniente dell'idrogeno rappresenta ancora una sfida. Negli ultimi anni, le soluzioni per l'immagazzinamento di idrogeno in solidi porosi (stoccaggio fisico) ed in idruri leggeri a base B/N con alto contenuto gravimetrico di idrogeno (stoccaggio chimico), sono state investigate come alternativa alla compressione in serbatoi ad alta pressione. Materiali porosi quali Metal Organic Frameworks (MOFs), Porous Coordination Cages (PCC) e sistemi a base grafenica (GRAPH) rappresentano classi di materiali adsorbenti in rapida crescita in considerazione della loro eccezionale versatilità strutturale e area superficiale modulabili in fase di sintesi, e conseguenti capacità di chemi- e fisi-adsorbimento. Così come d'interesse risulta essere l'utilizzo di carrier liquidi (es. ammoniaca) soprattutto per le applicazioni di accumulo e trasporto di grandi volumi su grandi distanze.

Le attività di ricerca di questo WP si occupano di studiare e sviluppare diversi materiali e soluzioni possibili e sostenibili per l'immagazzinamento dell'idrogeno.

WP2.3 – LA2.3.1

***Stoccaggio dell'idrogeno sotto forma di ammoniaca
con integrazione di vettori termici ed elettrici rinnovabili***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alberto Giaconia

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (incluse spese generali): € 200.090,00

Costo LA - 2 anno (incluse spese generali): € 200.089,00

Costo LA - 3 anno (incluse spese generali): € 200.089,00

Costo LA - 4 anno (incluse spese generali): € 125.732,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 726.000,00

Descrizione attività:

Sebbene la sintesi dell'ammoniaca sia un processo ben noto nell'industria chimica, si rende necessario riconfigurare il processo se si considera l'ammoniaca nel ruolo di "energy carrier" per veicolare il trasporto e lo stoccaggio dell'idrogeno verde. Rispetto ai processi tradizionali di sintesi dell'ammoniaca, generalmente alimentati con fonti fossili (gas naturale, carbone), occorrerà considerare un'alimentazione costituita da idrogeno prodotto mediante elettrolisi da fonti rinnovabili; ne deriva la necessità di accoppiare il processo di sintesi dell'ammoniaca con fonti spesso intermittenti e non programmabili. Sarà, inoltre, necessario integrare il processo di sintesi con efficienti generatori di azoto e studiare il processo di riconversione dell'ammoniaca a idrogeno in modo che possa essere alimentato sempre con fonti rinnovabili.

Tale linea di attività ha come obiettivo lo sviluppo teorico e intensificazione dei processi di sintesi dell'ammoniaca in modo da riconfigurarli per la loro migliore integrazione con i processi di produzione d'idrogeno verde. Verranno considerati processi di sintesi e riconversione

dell'ammoniaca implementabili su scala distribuita (dai 1.000-10.000 Nm³/h d'idrogeno) e centralizzata (> 100.000 Nm³/h d'idrogeno) in relazione ai seguenti ambiti applicativi: i) shipping (ad es. da Nord Africa); ii) distribuzione capillare dell'idrogeno; iii) stoccaggio stagionale dell'energia rinnovabile. Il processo sviluppato verrà ottimizzato per ottenere un costo minimo di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno, da confrontare con altri sistemi utilizzati per lo stoccaggio e la distribuzione dell'idrogeno verde e dei suoi derivati (ad es. altri efuels).

I processi sviluppati comprenderanno le fasi di separazione/alimentazione dell'azoto ed innovativi sistemi d'integrazione con opportuni vettori termici. Verranno in particolare considerati sistemi di recupero di calore dal processo di sintesi dell'ammoniaca (circa 400-550°C, in condizioni stazionarie 24 h/24 h) per essere stoccato e utilizzato per la generazione termo-elettrica ausiliaria come back-up degli elettrolizzatori in condizioni di carenza della fonte rinnovabile diretta: applicando idonei sistemi di accumulo sarà possibile programmare e ottimizzare il funzionamento dell'intero impianto di produzione d'idrogeno e sintesi dell'ammoniaca. Per tali sviluppi verranno applicate le conoscenze dell'ENEA sui sistemi innovativi di stoccaggio termico, considerando le relazioni dimensionali e funzionali tra la disponibilità delle fonti rinnovabili dirette, i volumi di stoccaggio dell'idrogeno e i regimi di funzionamento delle unità di sintesi dell'ammoniaca, inclusi i relativi transitori operativi.

Allo stesso modo verranno studiati dispositivi per la fornitura del calore di processo per la dissociazione dell'ammoniaca e la rigenerazione dell'idrogeno (ad es. in reattori a membrana) utilizzando fonti rinnovabili.

Verranno sviluppati, modellizzati ed analizzati innovativi schemi di processo utilizzando opportuni codici di simulazione (ad es. AspenPlus).

I modelli d'integrazione impiantistica con fonti rinnovabili verranno esaminati considerando almeno due casi studio d'interesse applicativo o strategico a livello Nazionale da sottoporre ad analisi tecnico-economica e di ciclo di vita (LCA):

- 1) produzione centralizzata d'idrogeno (> 100.000 Nm³/h d'idrogeno) presso sito remoto caratterizzato da elevata disponibilità di fonti rinnovabili e, pertanto, basso costo di produzione dell'idrogeno (ad es. Nord Africa), con successivo trasporto (shipping) dell'idrogeno sotto forma di ammoniaca presso hub in Italia dove (i) l'ammoniaca viene riconvertita in idrogeno in impianto centralizzato (> 100.000 Nm³/h di idrogeno) oppure trasportata via terra e l'idrogeno generato direttamente presso gli utilizzatori finali (< 10.000 Nm³/h d'idrogeno);
- 2) produzione decentralizzata e stoccaggio/distribuzione dell'ammoniaca (< 10.000 Nm³/h d'idrogeno) in Italia per ottenere uno stoccaggio stagionale dell'energia rinnovabile.

Ci si intende avvalere della collaborazione dell'Università di Pisa, Dipartimento Energia, per attività volte ad analisi e simulazione di processo, in considerazione delle consolidate e comprovate competenze sulla tematica specifica.

Risultati attesi

M2.3.1.1 [M12]	Definizione degli schemi di processo (flow sheet) e dei modelli di calcolo per impianti di sintesi dell'ammoniaca da idrogeno verde prodotto da elettrolisi alimentata da fonti rinnovabili
M2.3.1.2 [M24]	Completamento dell'analisi di flowsheet e degli schemi di processo ottimizzati applicati a casi studio d'interesse applicativo sulla produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno
M2.3.1.3 [M36]	Completamento dell'analisi del costo di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno e del costo specifico di produzione dell'ammoniaca

M2.3.1.4 [M42] Completamento dell'analisi di ciclo di vita (LCA) dell'intero sistema produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno

Output:

D2.3.1.1 [M12] Rapporto Tecnico "Schemi di processo e modelli di calcolo per impianti di sintesi dell'ammoniaca da idrogeno verde prodotto da elettrolisi alimentata da fonti rinnovabili"

D2.3.1.2 [M24] Rapporto Tecnico "Analisi e ottimizzazione degli schemi di processo applicati a casi studio d'interesse applicativo sulla produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno"

D2.3.1.3 [M36] Rapporto Tecnico "Analisi del costo di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno e del costo specifico di produzione dell'ammoniaca"

D2.3.1.4 [M42] Rapporto Tecnico "Analisi di ciclo di vita dell'intero sistema produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP2.3 - LA2.3.2

Accumulo di idrogeno sotto forma di ammoniaca tramite processi fotocatalitici e fotoelettrochimici

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Nicola Sangiorgi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 35.060,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 30.795,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 34.760,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 27.385,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 128.000,00

Descrizione attività:

L'attività sarà focalizzata sulla sintesi di materiali con struttura di perovskite con differenti composizioni chimiche per la successiva realizzazione di foto-elettrodi per l'accumulo di idrogeno sotto forma di ammoniaca. Saranno considerate sistemi di perovskiti totalmente inorganiche alogenate con formula CsPbX_3 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) in cui sarà variato l'alogeno. Oltre a questi saranno preparati anche sistemi di perovskiti ossigenati con formula BiFeO_3 e perovskiti doppie con formula $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. Saranno considerate differenti vie di sintesi di tipo chimico variandone le condizioni allo scopo di ottenere la fase desiderata, differenti forme e dimensioni. I materiali ottenuti saranno caratterizzati dal punto di vista strutturale tramite XRD, morfologico (FE-SEM), ottico (valutazione del band gap tramite spettroscopia UV-Vis). Saranno valutate anche le proprietà foto-catalitiche verso reazioni modello (degradazione inquinanti organici). [M1-12] (TRL2)

I materiali preparati sia sotto forma di polveri sia in sospensione saranno utilizzati per la realizzazione dei relativi film per la produzione di foto-elettrodi. Differenti tecniche di deposizione tra cui la serigrafia e lo spin coating saranno considerate per questo scopo anche in funzione delle differenti caratteristiche chimico-fisiche dei materiali di partenza. I film saranno realizzati su substrati trasparenti conduttivi e nel caso dei sistemi alogenati sarà valutata anche l'applicazione di un rivestimento protettivo in caso di instabilità in ambiente acquoso. Sarà valutata l'omogeneità e la morfologia tramite FE-SEM, le caratteristiche ottiche (band gap), elettrochimiche e foto-

elettrochimiche in cella a tre elettrodi con differenti tecniche analitiche. In particolare, sarà valutata la foto-corrente prodotta, le proprietà dei livelli energetici, le resistenze ai trasferimenti di carica e l'area elettrochimica attiva (ECSA). [M13-24] (TRL3)

Le proprietà foto-elettrocatalitiche dei film preparati in precedenza saranno modificate attraverso la formazione di etero-strutture. Per questo scopo saranno utilizzate nanoparticelle metalliche a base di rame o ferro o composti carboniosi (polimeri, grafene) opportunamente depositati allo scopo di creare la migliore giunzione elettrochimica tra i materiali. I foto-elettrodi così realizzati saranno testati per la reazione di produzione di ammoniaca in una cella singola a tre elettrodi in cui sarà valutata anche la sua produzione attraverso metodo colorimetrico e spettro-fotometrico opportunamente calibrato. Per ogni foto-elettrodo testato sarà determinata l'efficienza faradica (FE) in funzione del potenziale applicato e la sua stabilità nel tempo. Le relative proprietà legate alla reazione di produzione in ammoniaca tramite immagazzinamento di idrogeno saranno correlate alle differenti strutture dei materiali testati. [M25-36] (TRL3)

I sistemi maggiormente performanti saranno utilizzati per la produzione di prototipi di piccole dimensioni (area attiva 1 cm²) di celle foto-elettrocatalitiche (PEC) per la produzione di ammoniaca. In questo caso saranno utilizzate PEC a due compartimenti in cui potranno essere anche utilizzati differenti elettroliti anodici rispetto a quelli catodici. Saranno utilizzati anodi altamente efficienti per l'ossidazione dell'acqua e le reazioni saranno condotte per differenti tempi e potenziali applicati e la produzione di ammoniaca sarà valutata con metodo colorimetrico UV-Vis. In funzione dei risultati ottenuti sarà valutata anche la configurazione PEC in cui entrambi gli elettrodi siano foto-attivi attraverso la costruzione di foto-anodi standard per la reazione di ossidazione dell'acqua. Saranno definiti quindi efficienza faradica (FE) e "solar-to-fuel-conversion-efficiency" di ammoniaca (SFE) in funzione del potenziale applicato. [M37-42] (TRL4)

Risultati attesi:

Saranno studiati e caratterizzati materiali otticamente attivi con struttura a perovskite a diversa composizione chimica da utilizzare per la realizzazione di foto-elettrodi in celle foto-elettrocatalitiche per l'accumulo di idrogeno sotto forma di ammoniaca. I principali risultati attesi riguardano:

- | | |
|----------------|--|
| M2.3.2.1 [M9] | Sintesi di sistemi con struttura a perovskite alogenata CsPbX ₃ . |
| M2.3.2.2 [M9] | Sintesi di sistemi ossidici con struttura a perovskite e doppia perovskite |
| M2.3.2.3 [M12] | Determinazione delle proprietà strutturali, morfologiche, ottiche e fotocatalitiche di materiali con struttura a perovskite alogenata CsPbX ₃ con differenti alogeni |
| M2.3.2.4 [M12] | Determinazione delle proprietà strutturali, morfologiche, ottiche e fotocatalitiche di materiali ossidici con struttura a perovskite e doppia perovskite
Saranno ottimizzati e realizzati foto-elettrodi a base dei materiali sviluppati in precedenza. Successivamente saranno determinate le caratteristiche morfologiche, ottiche, elettrochimiche e foto-elettrochimiche focalizzando l'attività su queste ultime per reazioni foto-catalitiche di produzione di ammoniaca. I principali risultati riguarderanno: |
| M2.3.2.5 [M18] | Protocollo di produzione dei foto-elettrodi con differenti tecniche di deposizione |
| M2.3.2.6 [M21] | Determinazione delle proprietà morfologiche, ottiche, elettrochimiche e foto-elettrochimiche dei sistemi sviluppati in considerazione della reazione di immagazzinamento di idrogeno in ammoniaca |
| M2.3.2.7 [M24] | Correlazione tra le proprietà funzionali foto-elettrochimiche e quelle strutturali |

Saranno modificate le proprietà foto-elettrocatalitiche dei foto-elettrodi sviluppati in precedenza attraverso la creazione di etero-giunzione. L'attenzione sarà focalizzata sulle caratteristiche elettroniche (trasferimenti di carica) delle nuove interfacce create e su come queste influenzino la relativa produzione di ammoniaca. I principali risultati riguarderanno:

- M2.3.2.8 [M30] Protocollo di produzione dei foto-elettrodi a base di etero-giunzione
- M2.3.2.9 [M33] Determinazione delle proprietà delle interfacce elettroniche create, caratteristiche foto-elettrocatalitiche, calcolo FE verso la reazione di produzione di ammoniaca
- M2.3.2.10 [M36] Valutazione della stabilità dei foto-elettrodi preparati
- M2.3.2.11 [M36] Correlazione tra le proprietà funzionali di produzione di ammoniaca e quelle strutturali dei sistemi testati
- I foto-elettrodi sviluppati in precedenza saranno utilizzati per la realizzazione di un prototipo di cella foto-elettrochimica (PEC, area attiva 1 cm²) a due compartimenti. Saranno condotte reazioni di produzione di ammoniaca in differenti condizioni operative ed i principali risultati saranno:
- M2.3.2.12 [M39] Protocollo di produzione di PEC per produzione di ammoniaca
- M2.3.2.13 [M42] Determinazione FE, efficienza SFE e ammoniaca prodotta

Output:

- D2.3.2.1 [M12] Rapporto tecnico "Proprietà strutturali, morfologiche, ottiche e fotocatalitiche di materiali a struttura di perovskite totalmente inorganiche con differenti alogenuri"
- D2.3.2.2 [M12] Rapporto tecnico "Proprietà strutturali, morfologiche, ottiche e fotocatalitiche di materiali con struttura ossidica a perovskite e doppia perovskite"
- D2.3.2.3 [M24] Prototipo: Produzione di almeno 3 foto-elettrodi omogenei e foto-elettrochimicamente attivi
- D2.3.2.4 [M24] Rapporto tecnico "Proprietà microstrutturali, ottiche, elettrochimiche e foto-elettrochimiche dei film sviluppati con le diverse tecniche di deposizione"
- D2.3.2.5 [M36] Prototipo" Produzione di almeno 3 foto-elettrodi a base di etero-giunzione omogenei da utilizzare nella reazione di produzione di ammoniaca"
- D2.3.2.6 [M36] Rapporto tecnico "Proprietà microstrutturali, ottiche, elettrochimiche, foto-elettrochimiche e di stabilità dei foto-elettrodi a base di etero-giunzioni"
- D2.3.2.7 [M42] Prototipo: Produzione di almeno 1 cella PEC per la reazione di produzione di ammoniaca
- D2.3.2.8 [M42] Rapporto tecnico "Proprietà di celle PEC in termini di ammoniaca prodotta, efficienza faradica e SFE"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.3 - LA2.3.3

Processi catalitici per la conversione di idrogeno in carrier liquidi di natura non organica come l'ammoniaca e studio dei relativi processi di deidrogenazione

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Antonio Vita

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 174.541,20

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 187.082,84

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 167.675,80

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): €118.700,16

Costo totale LA (escluse spese generali): € 648.000,00

Descrizione attività:

L'attività verterà sullo sviluppo di processi di sintesi, deidrogenazione catalitica e non dell'ammoniaca attraverso lo sviluppo di modelli multi-scala, lo sviluppo di catalizzatori innovativi, attivi a basse temperature; lo scale up e la strutturazione 3D dei materiali; l'utilizzo di reattori a membrana per la produzione e simultanea separazione di una corrente altamente pura di idrogeno.

1° anno. Saranno investigati modelli atomistici di siti catalitici di decomposizione dell'ammoniaca e sarà condotta una ricerca dei cammini di reazione su questi sistemi, da cui verranno derivati i diagrammi di energia libera corrispondenti. Verranno sviluppati catalizzatori eterogenei a base di supporti elettron-ricchi e nanoparticelle (poli)metalliche per la deidrogenazione, a base di $Ce_{1-x}Ru_xO_2$ per la sintesi, con una caratterizzazione di base. Verranno individuati e/o realizzati i reattori e delle stazioni di prova per test catalitici di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca, e verranno individuati i protocolli di test dei materiali e le condizioni operative. TRL 2

2° anno. Verrà sviluppata una metodologia di high-throughput screening per la ricerca dei sistemi catalitici in lega più performanti (sistemi a base di Co e/o Ni e/o Fe), saranno determinate la taglia e la composizione ottimali delle nanoparticelle. Sarà effettuata una caratterizzazione cinetica sperimentale della deidrogenazione termica ed autotermica. Verranno sviluppati catalizzatori eterogenei a base di supporti elettron-ricchi più sofisticati. Sarà condotta la verifica delle proprietà catalitiche dei materiali nella sintesi e decomposizione di ammoniaca. Sarà realizzata una integrazione in reattore a membrana di catalizzatori disponibili sul mercato e una valutazione delle prestazioni di varie tipologie di membrane a base di Pd e sue leghe. TRL 2

3° anno. Sarà studiata a livello teorico-computazionale l'interazione tra le nanoparticelle catalitiche ottimali e i supporti innovativi, e saranno valutate le modifiche necessarie per sfruttare in modo ottimale le caratteristiche dell'interazione catalizzatore/supporto. Verrà sviluppato un modello cinetico ottimizzato della deidrogenazione termica ed autotermica dell'ammoniaca. Verranno sviluppati catalizzatori eterogenei selezionati per la decomposizione di ammoniaca a bassa temperatura. I catalizzatori che avranno dimostrato le migliori performance catalitiche verranno depositati mediante procedure di "coating" su supporti strutturati, schiume a celle aperte a base di Allumina e Carbuco di Silicio. Sarà realizzata una integrazione di alcuni dei catalizzatori più performanti sviluppati nell'ambito della linea di attività con la membrana selezionata durante il secondo anno. Saranno analizzate le prestazioni del reattore a membrana catalitico operato in continuo e confrontate con reattori tradizionali utilizzando lo stesso catalizzatore. TRL 3

4° anno. Sarà sviluppata una modellazione multi-scala del processo catalitico, e non. Sarà effettuata la verifica delle proprietà catalitiche di sistemi strutturati, l'integrazione dei catalizzatori più performanti in reattori a membrana. Sarà condotta una ottimizzazione del processo di deidrogenazione di NH_3 : Ottimizzazione dei catalizzatori selezionati per l'integrazione in reattori a membrana (scale up sintesi, formatura, attività, stabilità). Verrà effettuato lo scale-up dei catalizzatori strutturati più promettenti. Realizzazione e validazione di un reattore catalitico a membrana integrante il catalizzatore e la membrana più performanti e valutazione della stabilità delle prestazioni nel tempo. TRL 4

Risultati attesi:

M2.3.3.1 [M3]	Stato dell'arte aggiornato su formulazioni e processi di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca
M2.3.3.2 [M6]	Individuazione e/o realizzazione dei reattori e delle stazioni di prova per test catalitici di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca, individuazione dei protocolli di test dei materiali e delle condizioni operative
M2.3.3.3 [M9]	Sviluppo di materiali con proprietà catalitiche adatte per essere impiegati nei processi di sintesi e deidrogenazione dell'ammoniaca
M2.3.3.4 [M12]	Modelli atomistici di siti catalitici di decomposizione dell'ammoniaca, ricerca dei cammini di reazione, derivazione dei diagrammi di energia libera; caratterizzazione chimico-fisica, morfologica dei materiali con proprietà catalitiche sviluppati
M2.3.3.5 [M15]	Studio dell'effetto dei materiali di costruzioni dei reattori sulle cinetecche delle reazioni in fase eterogenea di decomposizione dell'ammoniaca
M2.3.3.6 [M18]	Test dei materiali con proprietà catalitiche e ottimizzazione dei parametri operativi per ottenere un'elevata resa di ammoniaca e un'elevata produttività di idrogeno dalla decomposizione di NH_3
M2.3.3.7 [M21]	Integrazione in reattore a membrana di altri catalizzatori disponibili sul mercato, valutazione delle prestazioni di varie tipologie di membrane a base di Pd e sue leghe per l'individuazione della membrana più appropriata per l'integrazione con i catalizzatori sviluppati nell'ambito della linea di attività
M2.3.3.8 [M24]	Caratterizzazione cinetica sperimentale della deidrogenazione termica ed autotermica
M2.3.3.9 [M27]	Metodologia di high-throughput screening per la ricerca dei sistemi catalitici in lega più performanti
M2.3.3.10 [M30]	Individuazione di una metodologia di washcoating adeguata alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato usato
M2.3.3.11 [M33]	Produzione di catalizzatori strutturati in forma di schiume a celle aperte, ottimizzati per il processo di sintesi di ammoniaca e deidrogenazione dell'ammoniaca in idrogeno; Sviluppo di catalizzatori eterogenei a base di supporti elettron-ricchi più sofisticati e verifica preliminare delle proprietà catalitiche di decomposizione di ammoniaca.
M2.3.3.12 [M36]	Studio a livello teorico-computazionale l'interazione tra le nanoparticelle catalitiche ottimali e i supporti innovativi, e ottimizzazione dell'interazione catalizzatore/supporto; sviluppo di catalizzatori eterogenei per la decomposizione di ammoniaca a bassa temperatura; Saranno analizzate le prestazioni del reattore a membrana catalitico operato in continuo e confrontate con reattori tradizionali utilizzando lo stesso catalizzatore. Modello cinetico ottimizzato della deidrogenazione termica ed autotermica dell'ammoniaca
M2.3.3.13 [M39]	Verifica delle proprietà catalitiche di sistemi strutturati, integrazione dei catalizzatori più performanti in reattori a membrana
M2.3.3.14 [M42]	Sviluppo di una modellazione multi-scala del processo catalitico e non di decomposizione di ammoniaca; scale-up dei catalizzatori strutturati più promettenti, realizzazione e validazione di un reattore catalitico a membrana integrante il catalizzatore e la membrana più performanti e valutazione della stabilità delle prestazioni nel tempo

Output:

- D2.3.3.1 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la definizione dello stato dell'arte aggiornato su formulazioni e processi di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca
- D2.3.3.2 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'individuazione e/o realizzazione dei reattori e delle stazioni di prova per test catalitici di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca, individuazione dei protocolli di test dei materiali e delle condizioni operative
- D2.3.3.3 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di materiali con proprietà catalitiche adatte per essere impiegati nei processi di sintesi e deidrogenazione dell'ammoniaca
- D2.3.3.4 [M12] Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di modelli atomistici di siti catalitici di decomposizione dell'ammoniaca, della ricerca dei cammini di reazione, derivazione dei diagrammi di energia libera; della caratterizzazione chimico-fisica, morfologica dei materiali con proprietà catalitiche sviluppati
- D2.3.3.5 [M18] Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo studio dell'effetto dei materiali di costruzioni dei reattori sulle cinetiche delle reazioni in fase eterogenea di decomposizione dell'ammoniaca
- D2.3.3.6 [M18] Rapporto Tecnico delle attività svolte per il test dei materiali con proprietà catalitiche e ottimizzazione dei parametri operativi per ottenere un'elevata resa di ammoniaca e un'elevata produttività di idrogeno dalla decomposizione di NH_3
- D2.3.3.7 [M24] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'integrazione in reattore a membrana di altri catalizzatori disponibili sul mercato, valutazione delle prestazioni di varie tipologie di membrane a base di Pd e sue leghe per l'individuazione della membrana più appropriata per l'integrazione con i catalizzatori sviluppati nell'ambito della linea di attività
- D2.3.3.8 [M24] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione cinetica sperimentale della deidrogenazione termica ed autotermica
- D2.3.3.9 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la definizione di una metodologia di high-throughput screening per la ricerca dei sistemi catalitici in lega più performanti
- D2.3.3.10 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'individuazione di una metodologia di washcoating adeguata alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato usato
- D2.3.3.11 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la produzione di catalizzatori strutturati in forma di schiume a celle aperte, ottimizzati per il processo di sintesi di ammoniaca e deidrogenazione dell'ammoniaca in H_2 ; Sviluppo di catalizzatori eterogenei a base di supporti elettron-ricchi più sofisticati e verifica delle proprietà catalitiche di decomposizione di ammoniaca
- D2.3.3.12 [M36] Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo studio a livello teorico-computazionale l'interazione tra le nanoparticelle catalitiche ottimali e i supporti innovativi, e ottimizzazione dell'interazione catalizzatore/supporto; sviluppo di catalizzatori eterogenei per la decomposizione di ammoniaca a bassa temperatura; Saranno analizzate le prestazioni del reattore a membrana catalitico operato in continuo e confrontate con reattori tradizionali utilizzando lo stesso catalizzatore. Modello cinetico ottimizzato della deidrogenazione termica ed autotermica dell'ammoniaca.

D2.3.3.13 [M42] Rapporto Tecnico delle attività svolte per la verifica delle proprietà catalitiche di sistemi strutturati, integrazione dei catalizzatori più performanti in reattori a membrana

D2.3.3.14 [M42] Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di una modellazione multi-scala del processo catalitico e non di decomposizione di ammoniaca; scale-up dei catalizzatori strutturati più promettenti, realizzazione e validazione di un reattore catalitico a membrana integrante il catalizzatore e la membrana più performanti e valutazione della stabilità delle prestazioni nel tempo

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.3 - LA2.3.4

Accumulo di Idrogeno sotto forma di ammoniaca tramite conversione elettrochimica di ossidi di azoto ed idrogeno. Sviluppo di processi accoppiati elettrochimici e catalitici

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Angela Gondolini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): €43.400,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 45.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 28.300,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 27.300,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 144.000,00

Descrizione attività:

Come evidenziato dalla letteratura tecnico scientifica di settore, attualmente esistono solo due esempi di SOEC per la sintesi di ammoniaca. A partire da tale considerazione, la LA2.3.4, nel corso della prima annualità, prevede un attento studio di materiali e configurazioni di celle studiati ed impiegati negli ultimi 15 anni per la realizzazione di celle a SOFC alimentate con ammoniaca (fuel). La ricerca bibliografica dovrà individuare le maggiori criticità connesse all'utilizzo di materiali già noti in modalità SOFC (o in modalità SOEC se nel frattempo riportati in letteratura), determinando quelli più promettenti. Contestualmente, verranno formulate ed ottimizzate sospensioni di materiali "standard" per la produzione dei principali elementi di cella anodo/catodo/elettrolita mediante colaggio su nastro e serigrafia [TRL 2].

Durante il secondo anno, la ricerca verrà focalizzata sullo studio dei materiali individuati nella precedente annualità da utilizzarsi in modalità SOEC per range di temperature comprese tra 500 e 700 °C. A sistemi elettrolitici con idonee caratteristiche in termini di densità relativa e purezza fasica verranno applicati i materiali elettrodici considerati. I film depositati verranno ampiamente caratterizzati dal punto di vista morfologico/strutturale e microstrutturale. La correlazione tra parametri di processo e morfologia degli strati depositati permetterà l'individuazione dei parametri necessari ad ottenere film di caratteristiche volute e, in particolare, di strutture macro-porose ingegnerizzate. Parallelamente, verranno prodotte celle e/o semicelle costituite da materiali standard e dimensioni fino a 5 x 5 cm da poter applicare nella suddetta applicazione [TRL 3-4].

La terza annualità prevederà l'ottimizzazione e l'implementazione dell'attività elettrocatalitica degli elettrodi. L'utilizzo di fasi sintetizzate ad-hoc e/o di sistemi catalitici metallo/ceramici da infiltrare nello strato elettrodico verrà considerato come strategia per implementare le performance della cella finale. Contestualmente, sistemi catalitici verranno sviluppati e sintetizzati per l'eventuale

applicazione di un pre-layer catalitico da applicare esternamente al comparto catodico di celle anche convenzionali per incrementare la resa di conversione ad ammoniaca. Tutti i sistemi catalitici qui considerati verranno sintetizzati mediante metodi convenzionali o sintesi innovative ed attentamente caratterizzati dal punto di vista strutturale, morfologico e microstrutturale. Idonee sospensioni colloidali verranno formulate ed ottimizzate in relazione al processo di applicazione considerato (i.e. infiltrazione, serigrafia, ecc.) [TRL 3-4].

L'attività prevista nell'ultima annualità concerne la produzione e caratterizzazione della cella SOEC completa. La migliore architettura di cella (elettrolita o elettrodo supportata) verrà selezionata in base agli output provenienti dalla caratterizzazione elettrochimica. L'attività dovrà prevedere un accurato studio dei processi e trattamenti termici necessari ad ottenere una cella planare, di adeguata robustezza meccanica e caratteristiche morfologiche/catalitiche adeguate all'applicazione finale. Le informazioni acquisite in fase di testing permetteranno di modificare il processo di produzione in un processo iterativo necessario all'ottimizzazione microstrutturale della cella. Infine, verranno valutate le quantità di NH_3 prodotta dalle celle sviluppate e le condizioni migliori per l'ottenimento della stessa [TRL 4].

Risultati attesi:

- | | |
|-----------------|---|
| M2.3.4.1 [M6] | Definizione dei materiali più promettenti attualmente stato dell'arte per la produzione di celle ad ossido solido lavoranti in modalità SOFC alimentate con ammoniaca e di celle operanti in modalità SOEC se presenti in letteratura |
| M2.3.4.2 [M6] | Rassegna delle architetture di cella attualmente stato dell'arte per la sintesi di ammoniaca o in alternativa di celle alimentate da NH_3 , definendone vantaggi e svantaggi |
| M2.3.4.3 [M18] | Produzione di sospensioni di materiali "standard", idonee al processo di colaggio su nastro e serigrafia, per la realizzazione dei principali elementi di cella anodo/catodo/elettrolita |
| M2.3.4.4 [M18] | Caratterizzazione dei materiali individuati nella precedente annualità da utilizzarsi in modalità SOEC per range di temperature comprese tra 500 e 700 °C |
| M2.3.4.5 [M21] | Individuazione delle correlazioni proprietà-processo necessarie all'ottenimento di film elettrodici dalle caratteristiche desiderate |
| M2.3.4.6 [M24] | Produzione ed ottimizzazione di celle e/o semicelle di riferimento, costituite da materiali standard e dimensioni fino a 5 x 5 cm |
| M2.3.4.7 [M30] | Implementazione degli elettrodi attraverso l'utilizzo di fasi sintetizzate ad-hoc e/o di sistemi catalitici metallo/ceramici da infiltrare nello strato elettrodico |
| M2.3.4.8 [M33] | Sviluppo di un pre-layer catalitico da applicare esternamente al comparto catodico di celle anche convenzionali |
| M2.3.4.9[M6] | Produzione di sospensioni colloidali a base dei materiali considerati ai precedenti punti, idonee al processo di applicazione considerato |
| M2.3.4.10 [M42] | Produzione e ottimizzazione di una cella SOEC planare di adeguata robustezza meccanica e caratteristiche morfologiche/catalitiche adeguate all'applicazione finale |
| M2.3.4.11 [M42] | Selezione della migliore architettura di cella (elettrolita o elettrodo supportata) in base agli output provenienti dalla caratterizzazione elettrochimica |
| M2.3.4.12 [M42] | Testing della cella SOEC e valutazione delle prestazioni |

Output:

D2.3.4.1 [M6]	Rapporto tecnico "Data-sheet dei materiali più promettenti e delle architetture di cella attualmente stato dell'arte per applicazioni SOEC/SOFC per la sintesi di ammoniaca o il suo utilizzo come fuel rispettivamente"
D2.3.4.2 [M12]	Prototipo sospensioni di materiali "standard", idonee al processo di collaggio su nastro e serigrafia, per la realizzazione dei principali elementi di cella anodo/catodo/elettrolita
D2.3.4.3 [M24]	Rapporto tecnico "Data sheet delle caratteristiche degli elettrodi selezionati da utilizzarsi in modalità SOEC per la sintesi di ammoniaca"
D2.3.4.4 [M24]	Prototipo celle e/o semicelle di riferimento, costituite da materiali standard e dimensioni fino a 5 x 5 cm
D2.3.4.5 [M36]	Prototipo pre-layer catalitico da applicare esternamente al comparto catodico di celle anche convenzionali
D2.3.4.6 [M36]	Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di elettrodi ottimizzati e loro caratterizzazione"
D2.3.4.7 [M42]	Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di una cella SOEC planare di adeguata robustezza meccanica e caratteristiche morfologiche/catalitiche adeguate all'applicazione finale"
D2.3.4.8 [M42]	Prototipo cella SOEC planare per la sintesi di ammoniaca
D2.3.4.9 [M42]	Rapporto tecnico "Data sheet delle prestazioni della cella SOEC per la conversione di azoto e vapore acqueo in ammoniaca"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.3 – LA2.3.5

Materiali a base di grafene per l'accumulo di idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Maria Lucia Miglietta

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 200.000,62

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 277.114,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 258.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 220.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 955.114,62

Descrizione attività:

Il Dipartimento per l'Energia statunitense (DOE) ha fissato gli obiettivi tecnici annuali necessari per l'adozione realistica e l'espansione di una società basata sull'idrogeno. Fra i vari parametri presi in considerazione, la capacità di stoccaggio dell'idrogeno è il fattore che più influisce sulla semplicità di erogazione dell'idrogeno, sui costi e sulle prestazioni dei sistemi per la mobilità leggera. Aumentare la capacità stoccaggio, attraverso lo sviluppo di tecnologie e materiali innovativi, è diventato quindi un obiettivo importante della ricerca scientifica.

Fra i sistemi più promettenti e che offrono maggiori capacità di sviluppo ci sono i materiali per l'accumulo allo stato solido, i quali presentano alcuni vantaggi rispetto alle condizioni fisiche richieste dai sistemi di accumulo più tradizionali (compressione e liquefazione). Questo tipo di stoccaggio può avvenire per fisisorbimento o per chemisorbimento. Nel primo caso i materiali da indagare sono quelli che offrono una elevata area superficiale e/o porosità e capacità di trattenere l'idrogeno all'interno della propria struttura. Nel secondo caso si sfrutta la capacità di alcuni

materiali di interagire reversibilmente con l'idrogeno formando addotti o sostanze chimiche da cui poi recuperare nuovamente l'idrogeno con processi chimico-fisici energeticamente favorevoli. I materiali carboniosi (carboni attivi, nanotubi di carbonio, grafene, grafene ossido, etc) rientrano fra quelli per lo stoccaggio dell'idrogeno mediante fisisorbimento. Fra i migliori risultati sperimentali sono riportati capacità di stoccaggio fino al 4 wt% a 77 K e pressione di poche decine di bar. Fra i materiali che sfruttano il chemisorbimento, gli idruri metallici (come NaAlH_4 , LiAlH_4 , NaBH_4 , Mg_2NiH_4 , etc.) sono quelli con le maggiori potenzialità e perciò maggiormente indagati. Più di recente, sono stati studiati e sviluppati materiali ibridi a base di grafene e metalli o idruri metallici che hanno dimostrato come la presenza del grafene o composti simili (GRMs) migliorino significativamente la capacità di idrogenazione degli idruri metallici, incidendo sulle prestazioni di idrogenazione e sulla stabilizzazione dei cicli.

In questo scenario si inserisce l'attività di ricerca proposta nella LA2.3.5, che mira alla ricerca e sviluppo di materiali compositi a base di grafene e metalli che possano essere usati per l'accumulo di idrogeno.

Le attività riguardano, nello specifico, la formulazione dei compositi, l'analisi morfologico-strutturale dei materiali, lo studio dei processi di deposizione sulle strutture primarie di contenimento ed infine i test delle performance di adsorbimento dell'idrogeno.

Più nel dettaglio le attività saranno così articolate:

- Sviluppo di materiali a base di grafene e suoi compositi con metalli e idruri metallici: si procederà alla progettazione e alla realizzazione di materiale multistrato a base di nanoplatelet di grafene (GNP) e grafene ossidato selettivamente (EOG). Saranno usate tecniche di sintesi in soluzione, meccanochimiche (ball milling) e di crescita da fase vapore (Chemical Vapour Deposition, CVD). In particolare, saranno messi a punto sistemi scalabili per la sintesi. Saranno studiati, progettati e realizzati materiali compositi a base di GNP e EOG con metalli di transizione (Pd, Pt), metalli alcalini e con idruri metallici.
- Caratterizzazione chimico-fisica dei materiali e delle capacità di adsorbimento e contenimento dell'idrogeno: i materiali sintetizzati saranno caratterizzati mediante microscopia elettronica a scansione e trasmissione (SEM, TEM) abbinate a spettrometria a raggi X in dispersione di energia (EDS), spettroscopia fotoelettronica a raggi X (XPS), spettroscopia vibrazionale (spettroscopia e microscopia FTIR e Raman), analisi dell'area superficiale con metodo BET. Saranno valutate inoltre le proprietà di resistenza meccanica e di aging in condizioni di pressione e temperatura d'esercizio.
- Studio dei processi di scale-up della sintesi dei materiali compositi e dei processi di deposizione sui substrati finali. Nel corso di questa attività saranno ottimizzati i processi di sintesi dei materiali compositi con le migliori performance chimico-fisiche, strutturali e di adsorbimento/desorbimento di idrogeno. Saranno studiati i processi di scale-up della sintesi dei materiali compositi selezionati. Saranno infine studiati e sviluppati i metodi di deposizione dei materiali selezionati sugli opportuni substrati finali, rilevanti ai fini dello sviluppo di un sistema completo per lo stoccaggio di idrogeno.

Risultati attesi:

Le attività suddette saranno monitorate attraverso le seguenti milestones:

- | | |
|----------------|--|
| M2.3.5.1 [M6] | Messa a punto della sintesi dei materiali carboniosi di base |
| M2.3.5.2 [M9] | Caratterizzazione chimico-fisica dei materiali carboniosi di base e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno |
| M2.3.5.3 [M12] | Acquisizione strumentazione per analisi morfologico-strutturale (TEM) (analizzatore BET) e analisi dei fenomeni di fisisorbimento e chemisorbimento (analizzatore BET) |

M2.3.5.4 [M12]	Individuazione elementi e composti metallici catalizzatori dell'adsorbimento/desorbimento di idrogeno
M2.3.5.5 [M18]	Messa a punto della sintesi dei materiali compositi Grafene/catalizzatore
M2.3.5.6 [M18]	Caratterizzazione chimico-fisica dei materiali compositi e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno
M2.3.5.7 [M21]	Valutazione delle performance dei materiali compositi
M2.3.5.8 [M24]	Valutazione proprietà di invecchiamento dei materiali in condizione di utilizzo
M2.3.5.9 [M30]	Ottimizzazione dei processi sintetici
M2.3.5.10 [M36]	Studio di fattibilità dello scale-up dei processi
M2.3.5.11 [M36]	Selezione dei metodi di deposizione dei materiali sviluppati sui substrati finali

Output:

D2.3.5.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Sintesi dei materiali carboniosi di base, caratterizzazione chimico-fisica e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno"
D2.3.5.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Sintesi dei materiali compositi grafene/catalizzatore, caratterizzazione chimico-fisica e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno"
D2.3.5.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Studio di fattibilità dello scale-up dei processi"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.3 - LA2.3.6

Materiali innovativi per chemi e fisi-assorbimento e stoccaggio di idrogeno a bassa temperatura allo stato solido

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Andrea Rossin

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 204.925,42

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 293.196,11

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 270.824,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 127.054,47

Costo totale LA (escluse spese generali): € 896.000,00

Descrizione attività:

La LA2.3.6 ha come obiettivo la sintesi, la caratterizzazione e il modelling di diverse famiglie di materiali porosi per l'immagazzinamento di idrogeno. Si realizzeranno materiali con complessità strutturale crescente, nello specifico: i) materiali porosi derivanti da chimica di coordinazione quali Metal Organic Frameworks (MOF) e Porous Coordination Cages (PCC), ii) materiali carboniosi a base di grafene ossido (GO), grafene ridotto (rGO) e grafeni modificati (GRM), iii) sistemi ibridi integranti MOF, PCC e GRM, iv) idruri metallici (leghe binarie), v) carboni Attivi (CA), vi) idrati di idrogeno e ghiaccio XVII. Di fondamentale importanza sarà la caratterizzazione di tali sistemi mediante un approccio multitecnica, quali XRD/PDF (soluzione strutturale da dati di cristallo singolo e/o polveri, anche con luce di sincrotrone), SEM-EDX, XPS, spettroscopia Raman e scattering inelastico di neutroni in situ e durante il processo di assorbimento/desorbimento, isoterme di adsorbimento (metodo BET) anche a T criogeniche (20-150 K). Particolare importanza riveste la tecnica di scattering di neutroni, ideale per la determinazione della quantità e del legame dell'idrogeno

all'interno dei materiali, sia in forma atomica che molecolare. Il lavoro sperimentale sarà supportato da modelling multi-scala e data-driven (machine learning / artificial intelligence (AI)). I modelli computazionali consentiranno le correlazioni proprietà-struttura e daranno accesso a strategie di design specifiche. Più nel dettaglio, le classi di materiali che si prenderanno in considerazione sono: (A) *Grafeni modificati con piccole molecole organiche* (incluso di origine naturale quali amminoacidi) in grado di modificare le proprietà chimico-fisiche dei piani grafenici, di modulare la distanza tra i piani e di massimizzare le capacità di stoccaggio di idrogeno. Grafeni ottenuti da GO modificati con diversi carichi di un metallo (Pd o Pt) per chemisorbimento di H₂. Materiali grafenici ottenuti da demolizione top down di CA.

(B) *Metal-Organic Frameworks (MOFs), Porous Coordination Cages (PCCs) e loro compositi con GO/rGO/GRM a porosità controllata e modulabile*. Sintesi di materiali [idrato BN@MOF] (idrato BN = ammoniaca-borano, idrazina bis(borano)) per adsorbimento chimico di idrogeno. Il target sarà la sintesi di MOFs ad alta area superficiale con linkers organici eterociclici con legami polarizzati per una migliore interazione fisica con idrogeno. Utilizzo di metalli leggeri (Mg, Al, Be) per aumentare la densità di idrogeno all'interno del materiale.

(C) *Carboni attivi*

Carboni Attivi (CA) ottenuti da scarti di origine naturale (es. biomasse) in cui si inserirà una certa percentuale di catalizzatore metallico (Pd, Ni, ecc.) che avrà una duplice funzione, innalzare la T di adsorbimento e formare idruri interstiziali nei pori carboniosi.

(D) *Idrati di idrogeno e ghiaccio XVII*

Da uno dei vari composti stechiometrici che l'acqua forma con l'idrogeno si può ottenere il cosiddetto ghiaccio XVII che può assorbire fino al 50% di idrogeno in proporzione all'acqua (cioè più del 5% wt% ovvero 47 g/l come capacità volumetrica) e che, contenendo solo acqua, è "green" al 100%. Lo studio prevede la determinazione delle condizioni termodinamiche ottimali per l'assorbimento e la sintesi di idrati in geometrie confinate, con particolare riferimento alle condizioni termodinamiche di stabilità del sistema binario H₂-H₂O.

(E) *Idruri metallici*

Si prenderà in considerazione una lega binaria MgFe. MgH₂ possiede una elevata reversibilità durante i cicli di assorbimento/desorbimento di idrogeno, tuttavia, lo svantaggio principale è la cinetica di reazione che si attiva ad elevate temperature (oltre 300°C). L'inserzione di Fe ha l'effetto di indebolire il legame Mg-H e ridurre l'energia necessaria per rompere e/o formare il legame. Per la sintesi della lega MgFe tramite ball milling saranno valutate almeno tre diverse percentuali di Fe e particolare attenzione sarà data ai parametri di ball milling.

Risultati attesi:

M2.3.6.1 [M3]	GRM decorati con piccole molecole organiche (anche di origine naturale)
M2.3.6.2 [M3]	PCCs con porosità intrinseca ed estrinseca, cristallini ed amorfi
M2.3.6.3 [M3]	Selezione della biomassa iniziale, sintesi del CA
M2.3.6.4 [M6]	Selezione delle sintesi più idonee dei GRM e sintesi; studio di inserzione del Pd o Pt su grafeni commerciali e sui GRM
M2.3.6.5 [M6]	MOFs contenenti leganti tiazolici, tiofenici e pirazolici e metalli leggeri del blocco (s,p) della tavola periodica (Mg, Al, Be, Ca)
M2.3.6.6 [M6]	Selezione dei parametri di ball milling; scelta delle percentuali di Fe e sintesi
M2.3.6.7 [M9]	Materiali compositi [idrato BN@MOF] ottenuti per loading di ammoniaca-borano (AB) o idrazina bis(borano) (HBB) nei MOFs
M2.3.6.8 [M9]	Materiali compositi ottenuti per accrescimento di MOF su GRM
M2.3.6.9 [M12]	Sintesi di ghiaccio XVII e misure di ass/des con caratterizzazione spettroscopica ex situ

- M2.3.6.10 [M12] Studi strutturali e dinamici dei materiali preparati in MB.1, MB.2 e MB.3 su polveri e/o cristallo singolo
- M2.3.6.11 [M15] Strutture ibride ottenute mediante la combinazione fisica (blending) o covalente (linkers idonei) di MOF/PCC/GRM con porosità controllata
- M2.3.6.12 [M15] Caratterizzazione chimico-fisica e spettroscopia neutronica dei GRM e confronto con GO commercial
- M2.3.6.13 [M15] Preparazione di MOF tramite "cage-salt" unendo PCC di carica opposta ottenuti il primo anno (Anno #1 - MB.2) e loro caratterizzazione strutturale e di adsorbimento di idrogeno
- M2.3.6.14 [M15] Materiali compositi [idrato BN@MOF] di seconda generazione a partire dai risultati ottenuti nel primo anno di progetto, con migliori performance nello stoccaggio chimico di idrogeno
- M2.3.6.15 [M18] Sintesi di MOF utilizzando scarti di PET e confronto con linkers commerciali
- M2.3.6.16 [M21] Caratterizzazione morfologia e spettroscopica dei sistemi ibridi
- M2.3.6.17 [M21] Modelling computazionale dei meccanismi di assorbimento di idrogeno. Determinazione computazionale dei siti di adsorbimento preferenziali, della diffusività di idrogeno ed isoterme di adsorbimento combinando dati simulati e sperimentali tramite AI
- M2.3.6.18 [M21] Caratterizzazione del CA; scelta della percentuale di catalizzatore e standardizzazione sintesi
- M2.3.6.19 [M21] Studio spettroscopico in situ del diagramma di fase di H₂-H₂O ad alta P e determinazione della zona di stabilità della fase CO
- M2.3.6.20 [M21] Standardizzazione sintesi MgFe
- M2.3.6.21 [M27] Processazione di omostrutture (MOF, PCCs e GRM) e strutture ibride in sistemi 3D (spugne, aerogel) e membrane
- M2.3.6.22 [M30] Caratterizzazione dei sistemi bulk 3D mediante XPS, micro-raman, XRD, BET
- M2.3.6.23 [M30] Utilizzo di modelli statistici per predizione delle proprietà strutturali utili per massimizzare le prestazioni verso adsorbimento di idrogeno
- M2.3.6.24 [M30] Standardizzazione della sintesi del CA/catalizzatore e caratterizzazione
- M2.3.6.25 [M30] Sintesi di diversi idrati di idrogeno (clatrati sII e filled ice nella fase CO) ad alta P e studio della loro composizione
- M2.3.6.26 [M30] Sintesi delle leghe MgFe diverse percentuali di Fe, caratterizzazioni e test di ass/des idrogeno
- M2.3.6.27 [M39] Strutture eterogenee complesse (coating eterostrato/core shell) ottenute mediante deposizione di GRM (o strutture ibride realizzate nelle fasi precedenti) su membrane polimeriche (es. Polisulfone) e ceramiche
- M2.3.6.28 [M42] Valutazione della percentuale di Pd o Pt ottimale nelle strutture 3D; caratterizzazioni e test in idrogeno
- M2.3.6.29 [M42] Analisi morfologico/strutturale di strutture multistrato (GISAXS/GIWAXS)
- M2.3.6.30 [M42] Test di ads/des idrogeno e confronto con il CA di partenza
- M2.3.6.31 [M42] Sintesi di idrati e ghiaccio XVII in geometria confinata; valutazione del ciclo di vita del ghiaccio XVII
- M2.3.6.32 [M42] Test completi di ass/des idrogeno e valutazione finale sulla percentuale di Fe più performante

Output:

- D2.3.6.1 [M6] Protocolli di sintesi omostrutture porose, selezione building blocks
- D2.3.6.2 [M6] Protocolli di caratterizzazione multitecnica

D2.3.6.3 [M6]	Report sui protocolli di simulazione ed integrazione su piattaforme dati
D2.3.6.4 [M9]	Lista dei materiali più performanti, a seguito delle indagini strutturali e funzionali
D2.3.6.5 [M12]	Report iniziale sulle diverse tipologie di materiali presentati basati su dati di letteratura
D2.3.6.6 [M12]	Report di fine attività del primo anno
D2.3.6.7 [M18]	Protocolli di sintesi dei materiali ibridi porosi
D2.3.6.8 [M18]	Protocolli di caratterizzazione multitecnica
D2.3.6.9 [M18]	Lista dei building blocks e dei loro rapporti di combinazione
D2.3.6.10 [M24]	Report sui meccanismi di assorbimento di idrogeno
D2.3.6.11 [M24]	Report sulla sintesi di GRM, Mg/Fe, biomassa di partenza del CA, ghiaccio XVII e loro caratterizzazioni, inclusi i materiali commerciali di riferimento
D2.3.6.12 [M24]	Divulgazione dei risultati scientifici ottenuti in convegni nazionali e/o Internazionali
D2.3.6.13 [M24]	Report di fine attività secondo anno
D2.3.6.14 [M30]	Protocolli di processazione in strutture 2D-3D porose
D2.3.6.15 [M33]	Protocolli di caratterizzazione multitecnica
D2.3.6.16 [M33]	Lista dei building blocks, dei loro rapporti di combinazione e delle tecniche di processazione utilizzate
D2.3.6.17 [M33]	Report sull'implementazione di workflow data-driven ed integrazione tradati di simulazione e sperimentali
D2.3.6.18 [M33]	Report sulle sintesi complete della lega Mg/Fe, CA/catalizzatore, clatrati sII e filled ice nella fase C0 e loro caratterizzazioni
D2.3.6.19 [M33]	Realizzazione di pubblicazioni scientifiche su riviste scientifiche internazionali peer-reviewed
D2.3.6.20 [M33]	Report di fine attività del terzo anno
D2.3.6.21 [M39]	Protocolli di processazione in strutture 2D-3D porose
D2.3.6.22 [M39]	Protocolli di caratterizzazione multitecnica
D2.3.6.23 [M42]	Lista dei building blocks
D2.3.6.24 [M42]	Report su correlazioni struttura-proprietà da dati integrati
D2.3.6.25 [M42]	Report sulle sintesi di GRM/Pd o GRM/Pt, MOF/GRM/Pd o MOF/GRM/Pt e di ghiaccio XVII in geometria confinata e caratterizzazioni chimico-fisiche e test di ass/des idrogeno su tutti i materiali sviluppati
D2.3.6.26 [M42]	Divulgazione dei risultati scientifici ottenuti in convegni nazionali e/o Internazionali
D2.3.6.27 [M42]	Realizzazione di pubblicazioni scientifiche su riviste scientifiche internazionali peer-reviewed
D2.3.6.28 [M42]	Report di fine progetto

TRL (inizio-fine): 2-3

WP 2.3 – LA 2.3.7

Sviluppo di nuovi materiali e soluzioni per accumulo di idrogeno compresso

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000.00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 230.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 830.000,00

Descrizione attività:

Attualmente i serbatoi in composito per idrogeno in pressione vengono realizzati mediante processi che prevedono l'avvolgimento di fibre intorno ad un mandrino. La tecnologia tradizionale è quella del filament winding, l'evoluzione più recente è quella dell'Automated Fiber Placement. Tali processi implicano elevati tempi ciclo e la mancata libertà di scegliere un'architettura della fibra di rinforzo diversa da quella imposta dai processi di produzione.

L'obiettivo della LA è lo sviluppo di materiali e tecnologie innovative per la realizzazione di serbatoi per idrogeno resistenti ad elevate pressioni. In particolare, l'attività è orientata: (i) allo studio di tecnologie alternative all'avvolgimento mediante filament winding o Automated Fiber Placement, valutando soluzioni con ridotti tempi ciclo, valide quindi per settori che richiedano elevata produttività, come quello dell'automotive e (ii) allo studio e all'analisi di materiali compositi innovativi, con l'obiettivo di migliorare le prestazioni meccaniche e/o fisiche (es. permeabilità) del serbatoio.

In particolare, si valuterà l'utilizzo di tessuti di tipo braided, da impregnare e consolidare mediante processi quali Resin Transfer Moulding, sacco a vuoto o stampaggio a compressione, a seconda anche delle tipologie di matrice utilizzata. L'impiego di tessuti di tipo braided può comportare un miglioramento delle proprietà a impatto.

Nello specifico le attività di ricerca saranno organizzate come descritto nel seguito:

- Studio della tecnologia e dei materiali: scouting tecnologico su materiali e processi innovativi per la produzione di componenti cavi in composito. In particolare, per i materiali si farà riferimento a prodotti disponibili in commercio, includendo soluzioni destinate a settori diversi da quello dei serbatoi per idrogeno. Verrà quindi selezionata la combinazione materiale/processo che si ritiene più promettente per il raggiungimento degli obiettivi di progetto. Si procederà quindi con lo studio sperimentale di processo, che prevede la produzione di laminati piani ed eventualmente di elementi rappresentativi che permettano di studiare i parametri di processo legati alla geometria peculiare del serbatoio. Sono previsti test di caratterizzazione dei provini realizzati a supporto dello studio dei parametri di processo (es. percentuale di vuoti, test meccanici, analisi termica). Infine, sarà condotta una valutazione delle proprietà di interesse per il serbatoio (es. proprietà a impatto, permeabilità), attraverso la caratterizzazione fisica e meccanica del materiale innovativo, realizzando i provini con il processo studiato, in modo da permettere anche un'ulteriore validazione del processo stesso.
- Verifica progettuale: allo scopo di verificare la validità del materiale e del processo studiati ai fini del loro utilizzo per la produzione dei serbatoi, si procederà con la progettazione di un serbatoio con caratteristiche rappresentative per settori di interesse, ad esempio quello automotive, utilizzando i materiali studiati. Attraverso l'uso di strumenti di modellazione e simulazione numerica, verranno quindi individuati i possibili spessori del serbatoio che consentano di soddisfarne i requisiti in particolare in termini di pressioni.
- Sviluppo di elementi prototipali: in accordo con i risultati della progettazione effettuata, si selezionerà un elemento rappresentativo del serbatoio (ad es. una porzione ad anello, o una porzione della calotta) o un componente in scala, che permetta di validare la tecnologia individuata. Si procederà con la progettazione dello stampo per la realizzazione di tale elemento, e con la realizzazione dello stesso; il prototipo realizzato verrà infine validato mediante opportuni test di caratterizzazione.

Risultati attesi:

L'obiettivo finale dell'attività è la realizzazione di un prototipo di un serbatoio in composito per stoccaggio idrogeno, ottenuto combinando materiali diversi che soddisfino i requisiti di prodotto insieme a tecnologie di produzione idonee per i materiali identificati. I risultati disponibili al termine dell'attività sono di seguito elencati:

- Disponibilità di uno studio completo dei materiali polimerici/compositi più appropriati che soddisfino i requisiti specifici del serbatoio di idrogeno ad alta pressione considerando anche aspetti di disponibilità del materiale, processabilità e di compatibilità chimica;
- Ottimizzazione del design del serbatoio grazie all'uso estensivo di soluzioni FEM e virtual testing che consentirà di diminuire i coefficienti di sicurezza, quindi minore spessore del prodotto con conseguenti minori costi di materiale;
- Riduzione del peso del serbatoio a seguito della ottimizzazione della quantità di materiale impiegato. Riduzione dei tempi ciclo e conseguente aumento della produttività, grazie all'utilizzo di materiali braided, che consentono di eliminare i tradizionali tempi di avvolgimento del materiale in forma di tape;
- Identificazione di tecnologie e processi produttivi avanzati in grado di ridurre tempi/fasi di lavorazione e di peso del componente finale. Inoltre, al termine delle attività saranno disponibili informazioni sulla fattibilità di tecnologie per materiali multistrato per serbatoi di idrogeno ad alta pressione, senza liner polimerico interno. Il liner oggi risulta ancora necessario per garantire l'impermeabilità a possibili fughe di gas. I liner, tuttavia, aumentano il peso del serbatoio e possono causare problemi di interfaccia fatali tra il liner stesso e il guscio in composito a causa dei differenti coefficienti di dilatazione termica. Durante l'attività sopra descritta, saranno condotte campagne di ricerca sperimentale su campioni e dimostratori per verificare le prestazioni superiori degli approcci multistrato per serbatoi ad alta pressione riducendo le microfessurazioni. Ciò potrebbe aprire prospettive molto promettenti per l'utilizzo di serbatoi in composito, senza liner interno, per futuri veicoli per il trasporto automotive (ma anche aerospace) come tecnologia rivoluzionaria. Il raggiungimento dei risultati attesi avverrà in accordo alle seguenti milestone.

M2.3.7.1 [M12]	Selezione di materiali e relative tecnologie e processi produttivi, per la realizzazione di un serbatoio per idrogeno ad alta pressione
M2.3.7.2 [M24]	Design del serbatoio"
M2.3.7.3 [M36]	Prototipo di sistema di accumulo innovativo

Output:

D.2.3.7.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Materiali e relative tecnologie e processi produttivi, per la realizzazione di un serbatoio per idrogeno ad alta pressione"
D.2.3.7.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Verifica progettuale del serbatoio, con particolare attenzione alle analisi numeriche condotte per la definizione delle sue caratteristiche geometriche"
D.2.3.7.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Sviluppo di elementi prototipali e loro caratterizzazione"
D.2.3.7.4 [M42]	Prototipo di serbatoio

TRL (inizio-fine): 2-4

WP 2.3 – LA 2.3.8

Sviluppo di soluzioni innovative per serbatoi di accumulo di idrogeno basati su idruri metallici

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 250.000,000

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 400.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 350.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 174.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.174.000,00

Descrizione attività:

Le attività della suddetta LA riguardano lo sviluppo e la convalida di innovativi sistemi di stoccaggio dell'idrogeno operanti a bassa pressione (30-40 bar) e temperatura ambiente, basati sulla tecnologia ad idruri metallici. Nello specifico, il focus sarà rivolto alla progettazione di sistemi modulari, ottimizzati in termini di layout e di gestione termica, e adattabili sia ad applicazioni stazionarie che mobili, quest'ultime relative al trasporto sia su gomma che marittimo.

Le attività verteranno sulla ricerca di soluzioni tecniche ottimali che siano in grado di soddisfare i seguenti requisiti: (i) compattezza, ossia elevati valori di densità volumetrica di energia, (ii) sicurezza, (iii) affidabilità nella fornitura dell'idrogeno alle pressioni e alle portate richieste, (iv) tempi ridotti di rifornimento, (v) capacità di integrazione termica del sistema con componenti esterni, (vi) basso costo, sia di investimento che di esercizio.

A tal fine, sarà adottato un approccio sistematico e multidisciplinare, che comprenderà attività sia numeriche che sperimentali, e che saranno suddivise su seguenti tre linee principali:

- sistemi stazionari per applicazione nelle stazioni di rifornimento e stazioni di accumulo da fonti rinnovabili
- sistemi mobili per applicazione nel trasporto marittimo
- sistemi mobili per applicazione nei veicoli stradali

Per ciascuna linea di ricerca sarà individuata ed analizzata la configurazione ottimale del sistema, che ne massimizzi le prestazioni, con riferimento ai vincoli e ai requisiti tecnici richiesti dal campo di applicazione considerato.

Con riferimento specifico alle attività relative ai sistemi stazionari, queste saranno orientate alla progettazione modulare di un serbatoio ad idruri metallici di grandi dimensioni, che sia in grado di rispondere ad una richiesta di idrogeno per utilizzo nell'ambito della mobilità urbana o per la produzione di energia elettrica tramite celle a combustibile stazionarie, all'interno di uno scenario energetico di riferimento. In tale ambito saranno sviluppati modelli di analisi della domanda energetica e modelli numerici per la simulazione termo-fluidodinamica del sistema, al fine di studiarne le prestazioni energetiche e di gestione termica, e ottimizzarne il layout.

Per ciò che concerne la linea di ricerca dedicata allo sviluppo di serbatoi ad idruri metallici per implementazione a bordo di navi, saranno prese in considerazione diverse tipologie di navi e profili operativi e, dopo aver definito idonee architetture di sistemi propulsivi basati su celle a combustibile, saranno determinati i requisiti di energia, capacità e gestione termica del sistema di stoccaggio idrogeno, per ciascuna specifica applicazione. A valle di suddetta analisi, sarà condotta la progettazione di un sistema modulare, scalabile e adattabile a diverse taglie di imbarcazioni.

Infine, per quanto concerne la linea di sviluppo di sistemi di stoccaggio per applicazioni automotive si individueranno dapprima configurazioni di powertrain ibridi batterie/celle a combustibile per alcune tipologie di veicolo. Quindi, sulla base dei requisiti energetici dei veicoli selezionati e di gestione termica dei componenti principali del gruppo propulsore, verrà progettato un sistema di stoccaggio ibrido di energia, modulare, che preveda l'integrazione termica di serbatoi ad idruri metallici con il pacco batteria. Tale soluzione consente da un lato di incrementare notevolmente la densità energetica a bordo, dall'altro di favorire la gestione termica ottimale di entrambi i

componenti, ossia il sistema ad idruri e la batteria, con straordinari vantaggi in termini di prestazioni finali del veicolo. La ricerca prevedrà altresì lo sviluppo di diversi schemi di integrazione di tale sistema all'interno dell'architettura del veicolo, a seconda della specifica applicazione considerata. Allo scopo, si analizzeranno soluzioni in cui il sistema di stoccaggio idrogeno, nella sua integrità, è composto da unità multiple, di cui una unità ibrida, e le altre invece integranti un sistema di gestione termica dedicato, operante con acqua glicolata o materiale a cambiamento di fase come fluido di lavoro.

Si prevede di attivare una collaborazione con l'Università Parthenope, l'Università della Tuscia e l'Università di Genova, che, in considerazione delle consolidate e riconosciute competenze maturate nel settore, forniranno una consulenza rispettivamente nei seguenti ambiti: sviluppo di sistemi di accumulo per la mobilità, integrazione dei serbatoi ad idruri metallici con PCM, modelli e sistemi di accumulo per applicazioni marittime.

Risultati attesi:

Il risultato finale delle attività sarà la progettazione, e la convalida sperimentale in laboratorio di innovativi sistemi ad idruri metallici per lo stoccaggio di idrogeno a bassa pressione, concepiti per sostituire i più convenzionali serbatoi a gas compresso, al fine di aumentare la capacità di accumulo di energia e abbattere i costi di stoccaggio.

Nello specifico, i risultati attesi confluiranno in un nuovo concept di stoccaggio idrogeno che sintetizzi i seguenti punti: (i) significativa riduzione dei problemi di sicurezza legati alle alte pressioni; (ii) drastica riduzione dei costi delle infrastrutture e dei costi operativi, per effetto della riduzione dei costi legati alla compressione dell'idrogeno; (iii) raggiungimento di elevati valori di densità volumetrica di energia; (iv) raggiungimento di elevate prestazioni energetiche e di gestione termica (v) progettazione di serbatoi compatti, con benefici in termini di ottimizzazione degli spazi.

In termini numerici il progetto si propone di sviluppare sistemi di stoccaggio per applicazioni stazionarie e per applicazioni a bordo nave che siano in grado di raggiungere capacità fino a 500 kg di idrogeno nel caso dei sistemi stazionari (la capacità target dei serbatoi per le applicazioni marittime verrà definita durante lo svolgimento del progetto in funzione delle analisi condotte sulle applicazioni). Il sistema di stoccaggio dell'idrogeno sviluppato per veicoli stradali elettrici, con celle a combustibile, avrà capacità di circa 5 kg di idrogeno (moduli della capacità di 250 g ciascuno).

Ambizione del progetto è, inoltre, quella di raggiungere per tali sistemi densità volumetriche di 40 gH₂/L e un tasso di assorbimento dell'idrogeno pari a circa 0,1 wt%H₂/min, al fine di garantire un rifornimento veloce, in linea con i tempi previsti per le applicazioni selezionate. Infine, l'impiego dei sistemi di stoccaggio proposti in sostituzione di serbatoi a gas compresso ambisce a ridurre i costi di rifornimento di circa il 30%, grazie ad una riduzione dell'impatto economico legato alla compressione dell'idrogeno.

Al fine di convalidare la tecnologia proposta, verrà realizzato un prototipo di sistema di accumulo ibrido di energia per implementazione a bordo di veicoli elettrici con celle a combustibile: saranno valutati sperimentalmente gli effetti legati al layout del sistema, in termini di capacità di trasferimento del calore, distribuzione della temperatura all'interno sia degli idruri che delle batterie, e pressione operativa. Le prestazioni di tale sistema saranno caratterizzate nelle diverse condizioni operative del powertrain del veicolo.

Si prevede di attivare una collaborazione con l'Università Parthenope, l'Università della Tuscia e l'Università di Genova, che, in considerazione delle consolidate e riconosciute competenze maturate nel settore, forniranno una consulenza rispettivamente nei seguenti ambiti: sviluppo di sistemi di accumulo per la mobilità, integrazione dei serbatoi ad idruri metallici con PCM, modelli e sistemi di accumulo per applicazioni marittime.

Il raggiungimento dei risultati attesi avverrà in accordo alle seguenti milestone.

M2.3.8.1 [M24]	Design del sistema ibrido per applicazioni automotive
M2.3.8.2 [M30]	Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni stazionarie
M2.3.8.3 [M36]	Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni a bordo di navi
M2.3.8.4 [M42]	Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni a bordo di navi

Output

D2.3.8.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Requisiti dei sistemi di stoccaggio idrogeno"
D2.3.8.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Validazione numerica del sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive"
D2.3.8.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni stazionarie"
D2.3.8.4 [M36]	Rapporto Tecnico "Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni a bordo di navi"
D2.3.8.5 [M42]	Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale del sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive"

TRL (inizio-fine): 3-4

WP2.4 - Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 3

TRL finale: 5

Obiettivi:

I trasporti sono un settore chiave verso il quale l'idrogeno sta guadagnando attenzione, in particolare per l'alimentazione dei veicoli elettrici a fuel cell, che si prevede possano diventare parte integrante delle flotte di veicoli pubblici e privati, europei e nazionali, nel medio-lungo termine. Infatti, grazie all'elevata densità di energia del vettore dell'idrogeno, i veicoli a celle a combustibile offrono buone autonomie, brevi tempi di rifornimento e un'elevata flessibilità operativa. Per questi motivi, i veicoli elettrici a celle a combustibile forniscono un'adeguata alternativa complementare ai veicoli elettrici a batteria (più vantaggiosi per le applicazioni urbane). Di conseguenza se ci sarà un'evoluzione della tecnologia dell'idrogeno su ampia scala nei prossimi anni, le prestazioni delle stazioni di rifornimento acquisiranno rilevanza e si renderanno necessarie azioni per ridurre i costi, ottimizzare componenti e sistemi, ridurre l'occupazione del suolo, migliorare gli aspetti di sicurezza. Le attività afferenti al WP2.4 affrontano alcuni dei temi suddetti.

WP 2.4 – LA 2.4.1

Studio e ottimizzazione tecnico-economica del dimensionamento e dell'esercizio dei principali componenti di stazioni di rifornimento a idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 132.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 182.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 664.000,00

Descrizione attività:

La mobilità elettrica, basata sui veicoli elettrici a celle a combustibile (FCEV) alimentati con idrogeno verde, rappresenta un fattore chiave nel processo di decarbonizzazione del settore dei trasporti. Uno dei principali vincoli che limita la penetrazione dei veicoli FCEV sul mercato, è legato all'infrastruttura per il rifornimento di idrogeno.

Le attività di ricerca saranno incentrate sull'ottimizzazione del dimensionamento e dell'esercizio dei diversi componenti che costituiscono una stazione di rifornimento a idrogeno (HRS) e che necessitano di un elevato grado di integrazione.

Nello specifico le attività riguarderanno:

- l'individuazione di casi studio di configurazioni reali di stazioni di rifornimento già in funzione in relazione al tipo servizio offerto (e.g. HRS aperte al pubblico, HRS asservite a trasporto pubblico locale, HRS inserite in contesti industriali per movimentazione merci, flotte aziendali di autovetture, HRS asservite al trasporto ferroviario o portuale)
- la definizione dei diversi profili di domanda di rifornimento di idrogeno, i quali definiranno i requisiti funzionali della HRS quali: quantità di idrogeno rifornito (kg/giorno di idrogeno erogato)

per veicolo e totale), pressione nominale di rifornimento dei mezzi, frequenza dei rifornimenti, fattore di carico rispetto alla capacità nominale della HRS

- la messa a punto e lo sviluppo un modello di ottimizzazione per il dimensionamento dei vari componenti (compressori, stoccaggi, dispenser) al fine della minimizzazione/massimizzazione di una o più funzioni obiettivo. Il problema di ottimizzazione sarà impostato come un problema di tipo MILP (Mixed Integer Linear Programming), agendo sia su parametri discreti (presenza/assenza del componente, tipo di componente, etc.) sia su parametri lineari legati al dimensionamento dei principali componenti (portata e pressioni di compressione, pressioni e volumi di stoccaggio, temperatura di refrigerazione, etc.). I componenti che saranno presi in considerazione sono: (i) compressori (tecnologia - compressori a diaframma, compressori a pistoncini oil free - pressioni di suzione e scarico e delle portate, portata nominale); (ii) sistemi di stoccaggio (volumi ottimali, numero degli accumuli, tipologia dei serbatoi, pressione di stoccaggio, tipologia di stoccaggio); (iii) dispenser (tipologia e numero; modalità di refrigerazione, possibilità di raffreddare solo alcuni rifornimenti, massima frequenza dei rifornimenti). Il suddetto modello di ottimizzazione sarà risolto secondo la definizione di una o più funzioni obiettivo in relazione a indicatori di performance della HRS (e.g. minimizzazione del LCOH all'erogatore, minimizzazione degli OPEX, massimizzazione del numero di rifornimenti per unità di tempo, massimizzazione del fattore di carico della HRS) per indirizzare la ricerca operativa con un approccio MISO (Multi Input Single Output) o MIMO (Multi Input Multi Output). I risultati tecnico-economici e quindi anche gli indicatori di performance della HRS verranno calcolati mediante la risoluzione di un modello tecnico-economico semplificato () del sistema HRS integrato nella configurazione selezionata. I requisiti funzionali della HRS di ciascun caso studio (precedentemente definiti) definiscono i vincoli per la ricerca operativa dei parametri di ottimizzazione, definendo lo spazio di ricerca ammissibile per i vari parametri (discreti e lineari) soggetti ad ottimizzazione. Ulteriori vincoli nel problema di ottimizzazione sono gli effettivi vincoli fisici di compatibilità dei componenti in termini di accoppiamenti e funzionalità. Si applicheranno diversi algoritmi numerici e risolutori per la ricerca operativa dei parametri ottimali all'interno dello spazio di ricerca, partendo da semplici variazioni parametriche multi-variabili fino ad esplorare algoritmi più performanti quali il Particle Swarm Optimization PSO o altri algoritmi più complessi, comprovati per l'impiego in problemi di ottimizzazione numerica.
- la messa a punto e lo sviluppo di un modello di ottimizzazione dell'esercizio dei vari componenti della stazione di rifornimento durante le fasi transitorie di operazione (fase di ricarica dei veicoli, fase di compressione, etc.) secondo la simulazione con una risoluzione temporale di dettaglio (dell'ordine del secondo/minuto) dei flussi coinvolti nei vari componenti in termini di portate, temperature, pressioni, etc. Si esplorerà, inoltre, l'opportunità di integrare il modello di ottimizzazione dell'esercizio con il modello di ottimizzazione del dimensionamento, descritto precedentemente, per la risoluzione di un problema integrato di optimal design-operation rispetto a due problemi separati di optimal design e optimal operation, che potrebbero seguire logiche diverse in termini di parametri da ottimizzare.

Per gli aspetti legati allo sviluppo del modello di ottimizzazione per il dimensionamento e per l'esercizio dei vari componenti della stazione di rifornimento, si prevede di attivare una collaborazione con l'Università della Calabria, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale, e l'Università Marconi, per attività legate allo sviluppo del modello di ottimizzazione relativo ai componenti ed all'esercizio degli stessi, in considerazione delle specifiche competenze e dell'esperienza pluriennale che i suddetti Atenei posseggono sulla tematica specifica.

Risultati attesi:

Lo scopo finale delle attività di ricerca sarà quello di ottenere un software/tool di ottimizzazione in grado di dimensionare in maniera efficace ed efficiente i principali componenti di una HRS, una volta fornito l'ambito di applicazione e la funzione obiettivo che si desidera ottenere. Inoltre, l'attività includerà anche lo sviluppo di un tool di ottimizzazione della fase di esercizio della stazione di rifornimento, a seconda dell'ambito di applicazione. I risultati attesi possono sintetizzarsi come segue:

- Caratterizzazione dei principali casi studio relativi a diverse configurazioni delle HRS con individuazione dei principali requisiti funzionali a seconda delle applicazioni considerate
- Sviluppo di un software/tool di ottimizzazione per il dimensionamento dei singoli componenti della HRS a seconda delle funzioni obiettivo scelte e dei casi studio presi in considerazione
- Sviluppo di un software/tool di ottimizzazione per l'esercizio della stazione di rifornimento a seconda delle funzioni obiettivo scelte e dei casi studio presi in considerazione

Il raggiungimento dei risultati attesi avverrà in accordo alle seguenti milestone.

M2.4.1.1 [M12] Mappatura dei casi studio

M2.4.1.2 [M36] Software/tool di ottimizzazione sviluppati

Output:

D.2.4.1.1 [M12] Rapporto Tecnico "Mappatura dei casi studio relativi a diverse configurazioni delle HRS e identificazione dei principali requisiti funzionali"

D.2.4.1.2 [M36] Rapporto Tecnico "Messa a punto e sviluppo del software/tool di dimensionamento ottimale dei componenti della HRS"

D.2.4.1.3 [M36] Rapporto Tecnico "Messa a punto e sviluppo del software/tool per l'ottimizzazione della fase di esercizio della HRS"

D.2.4.1.4 [M42] Rapporto Tecnico "Risultati dei modelli di ottimizzazione e sugli indicatori di performance"

TRL (inizio-fine): 3-5

WP 2.4– LA 2.4.2

Studio e sviluppo di modelli di ottimizzazione di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS) alimentate da fonti rinnovabili on-grid e off-grid o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel)

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 168.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 818.000,00

Descrizione attività:

Le stazioni di rifornimento di idrogeno (HRS) possono essere classificate in: i) stazioni di rifornimento "on-site" in cui la generazione di idrogeno avviene direttamente nel sito mediante l'installazione di un'unità di elettrolisi alimentata da rete elettrica (modalità on-grid) o da un impianto di potenza dedicato (modalità off-grid) e/o mediante unità di fuel processing del vettore di idrogeno (e.g. combustibili fossili o biofuels); ii) stazioni di rifornimento "off-site", in cui l'idrogeno proviene da produzione centralizzata (impianti basati su produzione per via termochimica o elettrolitica di

grande taglia) e consegnato alla stazione tramite pipelines, trailers, camion o semirimorchi. Il dimensionamento della stazione e la scelta delle condizioni di stoccaggio dell'idrogeno vengono fatte in base alla capacità (richiesta giornaliera di idrogeno) e al tipo di utenza (bus, per i quali è richiesto idrogeno a 350 bar, veicoli a fuel cell per i quali è richiesto idrogeno a 700 bar). Nell'ottica di favorire la transizione ecologica verso sistemi energetici a bassa emissione di CO₂ è richiesto che l'idrogeno sia il più possibile "green", cioè prodotto attraverso l'uso diretto di fonti rinnovabili (PV, Wind, biogas) o di feedstock alternativi ottenuti utilizzando tali fonti (i.e. i cosiddetti e-fuels come la green ammonia, o biofuels come il biogas prodotto biomasse, etc).

Pertanto, le attività di ricerca saranno focalizzate sulla fattibilità tecnico-economica di stazioni di rifornimento a idrogeno verde basate sulla produzione on-site e alimentate da fonti rinnovabili non programmabili (PV e wind) o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel), valutando sia la modalità on-grid sia la modalità off-grid. In particolare, saranno sviluppati modelli di ottimizzazione con riferimento ai profili di rifornimento giornalieri, alla taglia e alla dinamica dei componenti, alla gestione dei flussi energetici e ai costi di produzione e gestione. Obiettivo dell'ottimizzazione sarà individuare la configurazione e le condizioni operative che consentono di minimizzare i consumi energetici e il costo livellizzato dell'idrogeno (LCOH). Le attività di ricerca saranno condotte con un approccio sistematico, partendo dalla valutazione di differenti tecnologie e tenendo conto di tutta la supply chain dalla produzione alla distribuzione dell'idrogeno.

Nello specifico le attività di ricerca riguarderanno:

- Definizione di diverse configurazioni impiantistiche in base alle tecnologie di produzione (via elettrolisi o via termochimica), di compressione e di accumulo di idrogeno in modalità on-grid e off-grid
- Sviluppo di modelli numerici per il dimensionamento delle HRSs e per l'ottimizzazione delle condizioni operative in base al tipo di fonte rinnovabile (o al tipo di feedstock alternativo), ai possibili profili di rifornimento e alla modalità di alimentazione on-grid (per diverse % di integrazione della rete) e off-grid
- Valutazioni tecnico-economiche sulle HRSs e analisi di sensitività dell'LCOH al variare delle configurazioni individuate e dei diversi parametri operativi della stazione. La sostenibilità economica delle HRSs verrà valutata attraverso l'analisi LCC (Life Cycle Cost)
- Valutazione sulla sostenibilità ambientale attraverso analisi WTW (Well-To-Wheel) e LCSA (Life Cycle Sustainable Assessment)

Per gli aspetti legati allo studio e definizione di modelli di ottimizzazione per diversi casi studio, si prevede di attivare una collaborazione con l'Università di Cassino, Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica, in considerazione delle specifiche competenze e dell'esperienza pluriennale sulla tematica specifica.

Risultati attesi:

I risultati scientifici delle attività di ricerca potranno fornire un utile riferimento per la progettazione, la realizzazione e la gestione delle stazioni di rifornimento d'idrogeno verde. In particolare, si prevede di:

- Fornire un approccio metodologico per l'individuazione delle soluzioni tecnologiche più idonee, in termini di componenti, processi e configurazioni per la realizzazione delle stazioni di rifornimento d'idrogeno
- Definire differenti configurazioni per la produzione d'idrogeno on-site, differenziandole in funzione della tipologia dei componenti selezionati, delle fonti di energia primarie impiegate e della connessione con la rete nazionale
- Dimostrare la fattibilità tecnico-economica delle HRS on site, introducendo strategie operative volte a minimizzare i consumi energetici e la produzione di CO₂

- Fornire strumenti numerici di modellazione ed ottimizzazione delle HRSs da utilizzare come strumenti a supporto delle attività di progettazione.

Il raggiungimento dei risultati attesi avverrà in accordo alle seguenti milestone.

M2.4.2.1 [M12]	Profili di domanda di rifornimento di idrogeno
M2.4.2.2 [M24]	Layout delle configurazioni on-grid e off-grid
M2.4.2.3 [M36]	Modelli di ottimizzazione

Output

D.2.4.2.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Selezione dei componenti per la produzione, la compressione e lo stoccaggio d’idrogeno”
D.2.4.2.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Definizione delle diverse configurazioni impiantistiche con le quali realizzare stazioni di rifornimento, in base alla fonte rinnovabile (o ai feedstock alternativi), alla capacità della stazione e al tipo di collegamento con la rete”
D.2.4.2.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Sviluppo dei modelli numerici e sui risultati ottenuti in termini prestazioni energetiche”
D.2.4.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Risultati dell’analisi tecnico-economica ed ambientale per le configurazioni ottimali individuate”

TRL (inizio-fine): 3-5

WP2.5 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

Per la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno su larga scala il quadro evolutivo deve favorire lo sviluppo di una filiera integrata definendo priorità di azione che non sono solo di tipo puramente tecnologico. Dovranno, infatti, essere definite regole chiare e di agevole applicazione, sarà necessario individuare standard e procedure che consentano di validare e immettere sul mercato i nuovi prodotti, bisognerà formare per tempo nuove figure professionali che possano sostenere il mercato non appena sarà pronto a partire. L'obiettivo principale del WP è di proporre possibili soluzioni per il superamento di alcune delle suddette barriere mettendo a disposizione infrastrutture e laboratori di ricerca per la conduzione di attività sperimentali di tipo pre-normativo, per la definizione di standard, per il metering, effettuare analisi di tipo tecnico-economico, per supportare la formazione di figure professionali.

WP2.5 – LA2.5.1

Modellazione matematica e numerica di misuratori per miscele di gas naturale ed idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Paola Gislon

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 290.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 690.000,00

Descrizione attività:

Come noto, la produzione di "green" gas (e.g. idrogeno, biogas, biometano e gas sintetico) deve essere certificata in relazione alle quantità ed alla qualità, intesa come rispondenza ai requisiti chimici (e.g. composizione molare, tenore di CO₂, H₂S, O₂, etc.), termodinamici (e.g. dew point idrocarburi) ed energetici (e.g. potere calorifico) definiti per il suo utilizzo, ovvero per la sua immissione nelle reti di trasporto e distribuzione del gas naturale, che è regolata dalla normativa tecnica (e.g. la norma UNI/TS 11537) e dal Codice di Rete. Tra i "green" gas l'idrogeno sta assumendo sempre più un ruolo primario come vettore energetico per garantire il raggiungimento degli obiettivi europei di decarbonizzazione entro il 2050. L'idrogeno, come noto, può essere prodotto anche dall'elettrolisi dell'acqua utilizzando fonti rinnovabili, come fotovoltaico ed eolico, potendo svolgere la funzione di accumulo di energia attraverso l'iniezione nelle infrastrutture del gas naturale. Tuttavia, l'iniezione di idrogeno in percentuali via via crescenti nel gas naturale determina una serie di problematiche che devono essere attentamente valutate. Inoltre, la presenza di idrogeno, influisce direttamente sulle proprietà termodinamiche del gas (come densità, potere calorifico, indice di Wobbe, velocità del suono, etc.), con conseguenti cambiamenti nelle prestazioni metrologiche degli strumenti di misura del volume e della qualità del gas.

Per la misura del gas naturale nelle reti di distribuzione sono storicamente utilizzati i classici contatori volumetrici a membrana. La spinta determinata dal programma di introduzione dello *smart metering* definito dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG, oggi ARERA) con la delibera 155/08 ha determinato anche lo sviluppo e diffusione di tecnologie statiche innovative (i.e. ad ultrasuoni e massici termici). Nelle reti di trasporto, viste le più elevate pressioni di esercizio e le maggiori quantità misurate, sono maggiormente diffusi i misuratori volumetrici (e.g. a pistoni rotanti), a turbina (assiale e radiale) e ad ultrasuoni. In alcuni impianti più obsoleti (e.g. nelle produzioni, stoccaggi) sono ancora in uso misuratori venturimetrici a diaframma, destinati ad essere progressivamente sostituiti.

La presente attività di ricerca consiste nello sviluppo e validazione, attraverso attività di tipo sperimentale, di un modello matematico e numerico tridimensionale, in grado di descrivere il comportamento e le prestazioni metrologiche di una tipologia selezionata di misuratori utilizzati nelle reti di distribuzione e trasporto del gas naturale in presenza di miscele di idrogeno e gas naturale con contenuto di idrogeno via via crescente fino al 100%. Il modello matematico sarà implementato e risolto numericamente utilizzando un codice di calcolo non commerciale di tipo open source (openFoam®) basato sul metodo dei volumi finiti. Il modello potrà essere utilizzato per: (i) investigare differenti condizioni operative (e.g. portata volumetrica, temperatura e pressione); (ii) effettuare un'analisi parametrica difficile da ottenere mediante una campagna di misure sperimentali; (iii) ottenere informazioni dettagliate circa i campi termofluidodinamici (e.g. densità e viscosità del fluido); (iv) analizzare gli effetti di deriva della curva caratteristica del misuratore valutando gli stress termici dei materiali in funzione delle condizioni operative. Particolare attenzione sarà posta alla definizione dei modelli utilizzati per la descrizione delle proprietà termodinamiche del gas in misura ed alle prestazioni di diversi modelli di turbolenza.

Il modello matematico e numerico sarà poi validato attraverso il test e la sperimentazione di misuratori tradizionali ed utilizzato per la progettazione di un prototipo di sistema di misura della portata di una miscela di idrogeno.

Per le attività legate allo sviluppo di modelli matematici da applicare ai sistemi di metering di miscele H₂/GN, si prevede di attivare una collaborazione con l'Università di Cassino, in considerazione delle comprovate specifiche competenze ed esperienze sul tema specifico.

Risultati attesi:

M2.5.1.1 [M12]

Sviluppo di un modello matematico e numerico per la determinazione delle proprietà delle miscele di gas naturale ed idrogeno. In questa fase verrà sviluppato, messo a punto e validato un modello matematico e numerico per la determinazione delle proprietà fisiche e termodinamiche delle miscele di gas naturale e idrogeno con percentuali di idrogeno via via crescenti fino al 100%. Il modello matematico terrà conto della normativa tecnica di riferimento (e.g. ISO 6976, ISO 12213 etc.) e dei necessari limiti (e.g. alcune normative prevedono un campo di applicabilità limitato a contenuto di idrogeno max 10%) e sviluppi. Saranno quindi studiate le interazioni tra il gas di prova (gas naturale e miscele di gas naturale ed idrogeno (fino al 100%)) ed il misuratore, al fine di investigare le prestazioni di quest'ultimo sulla base delle condizioni operative (portata volumetrica, temperatura e pressione) tipiche delle reti di trasporto e distribuzione del gas.

M2.5.1.2 [M18]

Modellazione matematica e numerica di misuratori utilizzati nelle reti di trasporto e distribuzione del gas. Il modello matematico e numerico sviluppato verrà applicato per la simulazione di almeno uno dei principali tipi di misuratore presenti nelle reti di trasporto e distribuzione del gas (e.g.

turbina, pistoni rotanti, ultrasuoni, massico termico, etc.). La modellazione sarà eseguita in condizioni tempo-varianti e non isoterme utilizzando l'approccio Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes (URANS) o, se necessario, Large Eddy Simulation (LES). Particolare attenzione sarà rivolta al modello termodinamico che descrive il comportamento della miscela di gas e idrogeno in funzione della pressione e della temperatura. Il modello numerico sviluppato potrà essere utilizzato per: (i) studiare diverse condizioni operative (e.g. portata, temperatura, pressione); (ii) effettuare analisi parametriche, difficilmente realizzabili sperimentalmente; (iii) ottenere informazioni dettagliate sui campi termofluidodinamici (e.g. densità, viscosità, ecc.)

M2.5.1.3 [M24] Progettazione di prove di laboratorio finalizzate alla validazione del modello matematico e numerico. Il modello matematico e numerico sviluppato sarà utilizzato per la caratterizzazione metrologica di almeno un misuratore presso un banco di prova adeguato e capace di effettuare prove in gas con diverse percentuali di idrogeno, fino al 100%. I risultati delle prove sperimentali potranno essere utilizzati per la necessaria validazione del modello. In particolare, sarà progettato e realizzato almeno un esperimento finalizzato alla definizione di un caso “benchmark” per la validazione del modello matematico e numerico, ponendo particolare attenzione alla definizione e misura delle condizioni al contorno, delle grandezze termofluidodinamiche e delle proprietà fisiche alle condizioni operative, nonché alla stima dell'incertezza di misura. Saranno inoltre investigate le prestazioni di differenti modelli di turbolenza.

M2.5.1.4 [M42] Ottimizzazione numerica delle condizioni di funzionamento di un misuratore del gas. Il modello matematico e numerico validato sarà utilizzato per eseguire una analisi numerica parametrica finalizzata alla ottimizzazione delle prestazioni di un misuratore del gas naturale in termini di: accuratezza attesa, incertezza di misura, affidabilità nelle diverse applicazioni su miscele di idrogeno e gas naturale con contenuto di idrogeno via via crescente fino al 100%.

Output:

D2.5.1.1 [M12] Rapporto Tecnico “Sviluppo di un modello matematico e numerico per la determinazione delle proprietà delle miscele di gas naturale ed idrogeno”

D2.5.1.2 [M24] Rapporto Tecnico “Sviluppo di un modello matematico e numerico di misuratori utilizzati nelle reti di trasporto e distribuzione del gas”

D2.5.1.3 [M36] Rapporto Tecnico “Validazione sperimentale del modello matematico e numerico sui misuratori di gas per miscele H₂/GN)”

D2.5.1.4 [M42] Rapporto Tecnico “Ottimizzazione numerica delle condizioni di funzionamento di un misuratore del gas”

D2.5.1.5 [M42] Progettazione di un prototipo di sistema di misura della portata di una miscela di H₂/GN

TRL (inizio-fine): 3-5

WP2.5 - LA 2.5.2

Metodologie e Protocolli di caratterizzazione e calibrazione per sensori di gas per il sistema idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Girolamo di Francia

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 120.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 97.647,97

Costo totale LA (escluse spese generali): € 397.647,97

Descrizione attività:

Un aspetto critico per la sicurezza e l'efficiente sviluppo dell'infrastruttura per l'idrogeno riguarda i sensori di monitoraggio dei gas di sistema. A questi dispositivi sarà affidato il compito di monitorare scenari cruciali nella filiera dell'idrogeno come le reti di trasporto e distribuzione, siti di produzione e stoccaggio e non ultime le attività concernenti la produzione di energia. Nel 2011, il DOE ha stilato i requisiti necessari affinché i sensori per idrogeno possano essere considerati compliant anche in termini di sicurezza. Nella letteratura scientifica diverse rassegne mostrano quanto oggi i sensori a stato solido, presi singolarmente, non riescano a soddisfare tutti i requisiti richiesti. E' necessario nei prossimi anni un impegno in ricerca e sviluppo per trovare la strada tecnologica che permetta l'impiego della sensoristica a basso costo e altamente pervasiva dedicata alla misurazione di questo gas nei diversi ambiti della logistica per l'idrogeno. La necessità di valutare ed analizzare in maniera multivariata sia il singolo sensore che una matrice di sensori è la chiave necessaria allo sviluppo di sistemi sensoriali in cui è possibile massimizzare le prestazioni e renderli adatti allo scenario richiesto. Oggi i laboratori di ricerca e sviluppo per la sensoristica di gas in aria si occupano principalmente di misure della qualità dell'aria, mentre il settore legato ai sensori di gas esplosivi, essendo fortemente normato necessita di laboratori certificati che, di contro, sono generalmente poco adatti a supportare le attività di ricerca. I laboratori ENEA vantano un'esperienza ventennale nella valutazione di materiali innovativi nella sensoristica ambientale e per l'idrogeno, nell'analisi multivariata di array di sensori. In considerazione di tali premesse, l'attività di ricerca proposta nella LA2.5.2 mira allo sviluppo di procedure di misure per la valutazione della sensoristica di gas utilizzata o da utilizzare nell'ecosistema dinamico dell'idrogeno. Tali procedure saranno necessarie per partecipare alla standardizzazione metrologica europea della sensoristica legata alla filiera dell'idrogeno.

La caratterizzazione della sensoristica, legata alla rivelazione di idrogeno in aria, sarà basata fondamentalmente sulla realizzazione, misurazione e controllo di atmosfera artificiale in cui immergere i sistemi sensori. L'esplorazione di nuovi materiali chemi-sensibili per sensori di gas sarà condotta mediante il sondaggio delle proprietà elettroniche con la spettroscopia d'impedenza e/o la voltammetria e/o riscaldamenti ciclici periodici. Inoltre, sarà possibile l'analisi multivariata dei segnali del singolo sensore quanto di una matrice di sensori. Sarà necessario adeguare gli impianti di caratterizzazione dei sensori per poter utilizzare atmosfere artificiali potenzialmente esplosive e potenziare la strumentazione per soddisfare i requisiti metrologici generali per i sensori di gas per la sicurezza con particolare riferimento ai tempi di risposta e di recupero nonché alla selettività in sistemi gassosi complessi (p.e. H_2/CH_4).

Risultati attesi:

I risultati dell'attività di ricerca possono essere riassunti come indicato nel seguito:

- sviluppo ottimizzazione e standardizzazione degli impianti di caratterizzazione per la sensoristica di gas legata all'idrogeno;

- messa a punto di protocolli di misura e caratterizzazione di sensori e rilevatori di idrogeno e relative miscele per lo sviluppo degli scenari applicativi derivanti dalla filiera dell'idrogeno.

Di seguito si riportano le milestone previste:

M2.5.2.1 [M12]	Adeguamento del laboratorio per l'utilizzo di miscele di gas esplosive
M2.5.2.2 [M24]	Acquisizione della strumentazione di controllo e validazione dell'atmosfera artificiale generata per l'impianto di caratterizzazione; studio di sensori di gas commerciali e prototipali per scenari applicativi legati alla filiera dell'Idrogeno
M2.5.2.3 [M30]	Realizzazione di un impianto di caratterizzazione prototipale per sensori di gas a stato solido per la filiera dell'idrogeno; caratterizzazione metrologica di sensori di gas commerciali e prototipali per scenari applicativi legati alla filiera dell'Idrogeno; realizzazione di protocolli di misura in ambito R&D per la valutazione metrologica di sensori e rilevatori di gas per l'idrogeno
M2.5.2.4 [M36]	Validazione dell'impianto di caratterizzazione prototipale per sensori di gas a stato solido per la filiera dell'idrogeno con realizzazione di Protocolli di misura finalizzati agli scenari applicativi dei sensori di gas nella filiera dell'idrogeno

Output:

D2.5.2.1 [M42]	Impianto Prototipo per la caratterizzazione di sistemi sensori di Gas che possono essere impiegati nella filiera dell'Idrogeno. Per sistemi sensori si intende sia il sensore commerciale che una matrice di sensori (centralina) che sistemi o materiali prototipali innovativi sviluppati sia da ENEA che da partner esterni
D2.5.2.2 [M42]	Rapporto Tecnico "Caratterizzazione di sistemi sensori di Gas per l'idrogeno in ambiente controllato e progettazione di protocolli di misura specifici per la valutazione metrologica delle prestazioni del sistema sensore"

TRL (inizio-fine): 2-5

WP2.5 – LA2.5.3

Definizione di procedure sperimentali per la qualifica delle caratteristiche e prestazioni di e-fuels

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giuseppina Vanga

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo totale LA - 1 anno (escluse spese generali): € 60.000,00

Costo totale LA - 2 anno (escluse spese generali): € 191.128,90

Costo totale LA - 3 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo totale LA - 4 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 411.128,90

Descrizione attività:

La presente attività ha come scopo principale la definizione di procedure sperimentali per la qualifica di caratteristiche e prestazioni degli e-fuels, combustibili green che possono essere utilizzati in sostituzione del combustibile fossile tradizionale oppure miscelati con esso. La caratterizzazione dei nuovi combustibili risulta essenziale per individuare il campo di applicazione e prevederne l'impatto, in termini di performance e di emissioni, del loro utilizzo su scala reale. In quest'ambito, dopo avere selezionato i principali e-fuels di riferimento, saranno sviluppate

metodologie finalizzate alla caratterizzazione dei combustibili sintetici in modo confermarne la corrispondenza con gli standard qualitativi degli omologhi fossili, tra cui proprietà chimico-fisiche, specifiche tecniche e composizione chimica.

L'individuazione dei protocolli di analisi e dei test dovrà considerare la natura innovativa dei combustibili e la possibilità di analizzare campioni in piccole quantità, mantenendo la rappresentatività dell'analisi, in considerazione della scala ancora non commerciale degli impianti di produzione. In tale elaborazione si farà riferimento sia ai metodi normati, previsti ad esempio dalle specifiche ASTM, ISO CEN, che ai metodi non normati. La definizione di procedure sperimentali, oltre ad individuare le caratteristiche del nuovo combustibile nel suo complesso, si pone l'obiettivo di ottenere informazioni utili alla definizione dei test prestazionali degli e-fuels ad esempio su banchi prova o su prototipi e impianti pilota, e agli studi modellistici con software di simulazione impiantistica al fine di emulare l'utilizzo del nuovo combustibile su scala reale.

Per gli aspetti legati definizione di norme e metodiche per definire le caratteristiche di qualità e di prestazione dell'utilizzo degli e-fuels, si prevede di attivare una collaborazione con una Università con competenze specifiche e riconosciute nella caratterizzazione di combustibili liquidi e gassosi.

Risultati attesi:

I risultati della presente linea di attività prevedono la stesura e la definizione di procedure per la qualifica delle caratteristiche e delle prestazioni degli e-fuels. In tale contesto raccolte ed analizzate le norme di riferimento per i vari e-fuels traendo spunto dalle norme attualmente in uso per gli equivalenti combustibili fossili che andranno a sostituire in modo parziale (in miscela con combustibili tradizionali) o totale. Ulteriori risultati prevedono la definizione delle caratteristiche necessarie all'implementazione di modelli per la simulazione impiantistica dei processi che prevedono l'utilizzo degli e-fuels e ne valutano le prestazioni energetiche ed ambientali.

Il raggiungimento dei risultati attesi avverrà in accordo alle seguenti milestone.

M2.5.3.1 [M12]	Determinazione delle principali caratteristiche degli e-fuels confrontati con gli equivalenti combustibili fossili
M2.5.3.2 [M18]	Individuazione delle principali norme e metodiche per definire le caratteristiche di qualità e di prestazione dell'utilizzo degli e-fuels
M2.5.3.3 [M24]	Individuazione di protocolli di analisi e procedure di test definire le caratteristiche di qualità
M2.5.3.4 [M30]	Definizione delle caratteristiche necessarie ad implementare modelli di emulazione dell'utilizzo degli e-fuels su scala reale

Output:

D2.5.3.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Principali caratteristiche e performance degli e-fuels"
D2.5.3.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Norme e metodiche per la definizione delle caratteristiche di qualità e di prestazione degli e-fuels"
D2.5.3.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Protocolli di analisi e procedure di test per la valutazione di qualità degli e-fuels"
D2.5.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Caratteristiche e specifiche tecniche degli e-fuels necessarie per implementare modelli di emulazione dell'utilizzo dei combustibili green su scala reale"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP2.5 - LA2.5.4

Protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi per processi power-to-gas, sistemi catalitici e fotocatalitici di conversione dell'idrogeno in carrier liquidi organici e a base azotata, processi biologici e stoccaggio in materiali solidi con relativa validazione in laboratorio

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Alessandra Sanson

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 24.200,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 79.100,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 24.200,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 16.500,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 144.000,00

Descrizione attività:

Nel primo anno, le attività della LA2.5.4 saranno indirizzate a definire un set di metodologie di caratterizzazione ex situ per materiali funzionali quali catalizzatori, elettrocatalizzatori, semiconduttori, elettroliti, idruri metallici, MOFS, etc. Per ogni tipologia di materiale funzionale si procederà alla standardizzazione delle metodologie e dei test più rilevanti.

I protocolli per la caratterizzazione dei materiali riguarderanno le proprietà morfologiche, chimiche, fisiche, strutturali, elettroniche e di superficie. La caratterizzazione ex situ e lo screening dei materiali funzionali includeranno test di attività catalitica, fotocatalitica, efficienza di accumulo e caratterizzazione elettrochimica. Si identificheranno test accelerati supportati da analisi ex situ post-operation, per valutare la degradazione della fase attiva o del materiale funzionale.

Nel secondo anno, verranno specificati protocolli per la determinazione delle proprietà rilevanti dei componenti e dei compositi utilizzati nei diversi processi e procedure accelerate per valutare la stabilità dei componenti. Questi includono per le tecnologie di co-elettrolisi assemblati elettrodo-elettrolita, per i processi di accumulo compositi di idruri metallici etc., per i processi catalitici si valuteranno procedure per lo studio di letti catalitici specifici.

Più specificatamente, per la caratterizzazione catalitica dei materiali preparati verranno utilizzate diverse tipologie di impianti in modo tale da consentire prove su scale differenti ("micro-scale" e "bench-scale"). Prima delle campagne di prove verranno allestite nuove stazioni di prova o si procederà con l'ottimizzazione di stazioni preesistenti per test su piccola scala.

Per i processi catalitici, la validazione in scala di laboratorio sarà organizzata in modo da consentire lo studio dell'influenza delle condizioni operative. I test sperimentali, atti a validare l'attività e la stabilità catalitica dei catalizzatori preparati, saranno finalizzati a valutare i seguenti parametri: i) conversione dei reagenti; ii) selettività e resa nel carrier di idrogeno; iii) eventuale formazione di prodotti secondari. Tali parametri saranno studiati in funzione di temperatura di reazione, rapporto peso catalizzatore/flusso reagenti, rapporti molari idrogeno e substrato, stabilità dei catalizzatori (saranno analizzate le prestazioni dei catalizzatori in funzione del tempo sia per un funzionamento in continuo che per frequenti cicli di funzionamento e spegnimento del reattore). Le procedure saranno delineate in modo da consentire di generare correlazioni tra le performance catalitiche e le caratteristiche geometriche e morfologiche (porosità, spessori degli strati catalitici, carico di catalizzatore etc..) dei catalizzatori strutturati.

Saranno successivamente sviluppati al 3° anno protocolli per la valutazione dei prototipi e dei sistemi. I prototipi includono reattori catalitici, dispositivi di accumulo di idrogeno in idruri e stack di celle di co-elettrolisi. Saranno delineate procedure di test per quanto le prestazioni, la durata e il

comportamento dinamico con riferimento alle differenti applicazioni. Saranno messe a punto procedure di diagnostica in situ con l'utilizzo di metodi spettroscopici.

Nella fase finale dell'attività (4° anno) si affronterà lo sviluppo di protocolli per la validazione di sistemi catalitici, sistemi di accumulo di idrogeno allo stato solido e sistemi di elettrolisi per le diverse applicazioni insieme a procedure rigorose per determinare l'efficienza, la stabilità e il comportamento dinamico in condizioni operative.

Risultati attesi:

M2.5.4.1 [M6]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per materiali funzionali per processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
M2.5.4.2 [M12]	Validazione dei protocolli per materiali funzionali per processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
M2.5.4.3 [M15]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per componenti utilizzati in processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
M2.5.4.4 [M21]	Validazione dei protocolli dei componenti utilizzati in processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
M2.5.4.5 [M30]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per prototipi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche
M2.5.4.6 [M36]	Validazione dei prototipi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche
M2.5.4.7 [M39]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per sistemi completi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche
M2.5.4.8 [M42]	Validazione di sistemi completi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche

Output:

D2.5.4.1 [M6]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per materiali funzionali per processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
D2.5.4.2 [M12]	Validazione dei protocolli per materiali funzionali per processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
D2.5.4.3 [M15]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per componenti utilizzati in processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
D2.5.4.4 [M21]	Validazione dei protocolli dei componenti utilizzati in processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi
D2.5.4.5 [M30]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per prototipi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche
D2.5.4.6 [M36]	Validazione dei prototipi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche

- D2.5.4.7 [M39] Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per sistemi completi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche
- D2.5.4.8 [M42] Validazione di sistemi completi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche

TRL (inizio-fine): 2-4

WP2.5 – LA 2.5.5

Analisi di sostenibilità di tecnologie e processi per il trasporto e l'accumulo dell'idrogeno e dell'integrazione delle tecnologie dell'idrogeno nell'operazione della rete elettrica per P2G ed e-fuels

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Claudio Carbone

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 83.457,94

Costo totale LA (escluse spese generali): € 333.457,94

Descrizione attività:

L'attuazione di un'economia dell'idrogeno presenta ancora diverse sfide dal punto di vista della maturità tecnologica (TRL), e sistemica (IRL, Integration Readiness Level e MRL, Manufacturing Readiness Level). Lo sviluppo delle tecnologie deve essere guidato in modo che le tecnologie stesse risultino economicamente competitive e siano, inoltre, desiderabili e accettabili dalla società e mitighino l'impatto antropico sull'ambiente.

Occorre, quindi, un approccio di eco-design nello sviluppo delle tecnologie di produzione dell'idrogeno affinché queste superino la cosiddetta 'valle della morte' dello sviluppo tecnologico e vengano adottate dalla società su larga scala. Ciò che rende le tecnologie desiderabili dalla società è la loro sostenibilità, da intendersi in tutte le sue componenti, economica, sociale ed ambientale.

A tal fine, in questa linea di attività verranno elaborate valutazioni della sostenibilità delle tecnologie sviluppate all'interno dell'Obiettivo 2 (con un grado di maturità tale da consentire l'elaborazione di bilanci di massa ed energia per l'intera filiera), al fine di caratterizzarle dal punto di vista economico, ambientale e sociale, e identificare le soluzioni più sostenibili per l'accumulo ed il trasporto di idrogeno e la produzione di efuels, anche in confronto ad altre tecnologie presenti sul mercato, L'analisi dell'impatto ambientale seguirà un approccio basato sull'analisi del ciclo di vita (LCA) e comprenderà una prospettiva dalla culla al cancello. Le categorie di impatto ambientale esaminate includeranno il cambiamento climatico, il consumo di risorse (fossili o abiotiche), emissioni di PM, eutrofizzazione, creazione di ozono fotochimico, riduzione dello strato di ozono e altre categorie di impatto per le quali i metodi di valutazione dell'impatto e la qualità dei dati saranno considerati sufficientemente solidi da trarre conclusioni significative. Il software utilizzato sarà Gabi.

La sostenibilità sociale delle tecnologie sviluppate verrà valutata applicando la metodologia raccomandata da UNEP per la social LCA. La quantificazione dell'impatto sociale verrà elaborata in modo quantitativo per quanto possibile con l'utilizzo del Social Hotspot DataBase integrato in Simapro.

Verrà eseguita un'analisi di sensitività sui parametri che influenzano maggiormente i risultati, unitamente all'analisi delle combinazioni di sistemi più performanti con un apposito approccio all'eco-design. La LCA verrà eseguita utilizzando il software Gabi.

La sostenibilità economica delle tecnologie di trasporto, distribuzione e accumulo di idrogeno, e produzione di efuels, sviluppate all'interno dell'Obiettivo 2, sarà valutata attraverso l'elaborazione di indicatori economici quali il costo livellato dell'idrogeno (LCoH), valore attuale netto (NPV), il tasso di ritorno interno (IRR), in comparazione a tecnologie alternative e/o convenzionali.

Per una valutazione più accurata delle prospettive di competitività tecnico-economica delle tecnologie dell'idrogeno e degli efuels, e del loro possibile ruolo nel processo di decarbonizzazione del sistema energetico, strettamente legato a costi, disponibilità e intensità carbonica dell'energia elettrica, saranno effettuate analisi basate su una ricostruzione dettagliata del funzionamento del mercato elettrico, grazie a un modello del dispacciamento, che sarà integrato (mediante soft-link) con il modello del sistema energetico italiano sviluppato nella LA 1.3.4.

Si prevede di attivare una collaborazione con l'Università di Torino, dipartimento di Chimica, per attività legate allo studio degli impatti ambientali di sistemi integrati per l'immagazzinamento di idrogeno, in considerazione delle comprovate specifiche competenze sulla tematica specifica.

Risultati attesi:

M2.5.5.1 [M12]

Metodologia, software e gestione dati: Per la valutazione di sostenibilità sarà definito l'approccio metodologico da adottare sulla base delle più recenti raccomandazioni delle istituzioni internazionali, principalmente ISO e ILCD/PEF per l'LCA ambientale e le linee guida UNEP per l'LCA sociale

Sulla base delle metodologie individuate sarà impostato un quadro chiaro e conciso per la raccolta dei dati provenienti dalle linee di attività tecnologiche afferenti all'Obiettivo 2, al fine di snellire lo scambio di dati e garantire la completezza e la coerenza nei dati raccolti. Questa attività iniziale coopererà con le linee di attività 1.3.4 e 3.5.4 nella definizione di una metodologia consistente per la valutazione della sostenibilità delle varie fasi di produzione ed utilizzo dell'idrogeno. L'attività del primo anno sarà inoltre finalizzata alla realizzazione della infrastruttura software (PC, licenze SW, competenze e databases) necessaria alle elaborazioni che avverranno negli anni successivi, con la fornitura dei primi risultati da parte delle altre linee di attività seguendo l'approccio qui definito.

Riguardo alla modellazione del mercato elettrico nel primo anno saranno acquisiti l'infrastruttura software e verranno definite le caratteristiche necessarie di un modello del sistema elettrico in grado di coglierne le interazioni con la filiera dell'idrogeno

Verrà, inoltre, definito un quadro metodologico per la gestione e la pubblicazione dei dati

M2.5.5.2 [M24]

Raccolta dati, valutazione preliminare della sostenibilità di alcune filiere con identificazione delle linee di sviluppo più sostenibili ed elaborazione di modelli della rete elettrica. Raccolta dei risultati preliminari, ove disponibili, e realizzazione degli inventari e modelli delle singole tecnologie sviluppate ed al loro utilizzo per valutare le performances ambientali, economiche e sociali delle tecnologie sviluppate all'interno dell'Obiettivo 2, con un approccio di eco-design, al fine di identificare le opzioni di sviluppo più sostenibili per il trasporto e accumulo dell'idrogeno e la produzione di efuels. Sarà, inoltre,

	realizzato un modello di simulazione del dispacciamento del mercato elettrico italiano, suddiviso per zone di mercato e con granularità oraria
M2.5.5.3 [M36]	Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di accumulo e trasporto idrogeno, ed elaborazione di modelli della rete elettrica per la produzione di efuels. Raccolta dei risultati finali delle sperimentazioni, ove disponibili, e alla loro messa in contesto, realizzando inventari e modelli delle intere filiere di produzione dell'idrogeno basate sulle tecnologie sviluppate all'interno dell'Obiettivo 2 al fine di valutare le performances ambientali, economiche e sociali delle tecnologie sviluppate e fornire agli stakeholders ad ai policy makers dati accurati e robusti sulla sostenibilità dell'idrogeno. In particolare, il modello del mercato elettrico produrrà prime stime circa le sinergie e i trade-off esistenti tra decarbonizzazione del sistema elettrico e sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno ed efuels
M2.5.5.4 [M42]	Valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di accumulo e trasporto dell'idrogeno, sintesi, conclusioni e raccomandazioni. Aggiornamento finale dei modelli produzione e dispacciamento energia elettrica per e-fuels. Finalizzazione delle valutazioni di sostenibilità sintesi dei risultati ottenuti in un database strutturato aperto al pubblico e alla elaborazione di documenti di sintesi contenenti conclusioni e raccomandazioni per gli operatori economici e policy makers. Dal lato delle simulazioni saranno effettuate interazioni tra il modello di dispacciamento e il modello dell'intero sistema energetico, che fino a conclusioni convergenti circa il potenziale di idrogeno e efuels come fattore abilitanti della transizione
Output:	
D2.5.5.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Definizione dell'approccio metodologico da adottare per LCA, SLCA e valutazione economica e realizzazione suite modellistica, con riferimento a sistemi e tecnologie afferenti alla filiera del trasporto, distribuzione e accumulo di idrogeno"
D2.5.5.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Validazione della metodologia e della suite informatica, risultati preliminari con riferimento a sistemi e tecnologie afferenti alla filiera del trasporto, distribuzione e accumulo di idrogeno"
D2.5.5.3 [M24]	Rapporto Tecnico "Modello preliminare del dispacciamento del sistema elettrico"
D2.5.5.4 [M36]	Rapporto Tecnico "Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di trasporto e accumulo di idrogeno"
D2.5.5.5 [M36]	Rapporto Tecnico "Analisi e valutazione dei potenziali di efuel e P2G"
D2.5.5.6 [M42]	Rapporto Tecnico "Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di trasporto e accumulo di idrogeno, sintesi dei risultati in conclusioni e raccomandazioni"
D2.5.5.7 [M42]	Rapporto Tecnico "Modello rete elettrica, potenziali e impatti di efuels e PTG"

TRL (inizio-fine): 3-5

WP2.5 – LA 2.5.6

Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno.

Organizzazione di Summer School tematiche

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Claudia Bassano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 82.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 332.000.00

Descrizione attività:

La transizione energetica richiede investimenti, oltre che nello sviluppo tecnologico, anche nelle azioni culturali rivolte ai cittadini, dai più giovani che stanno crescendo in un mondo sempre più sostenibile, ai ragazzi che devono decidere quale percorso di studi intraprendere, fino agli adulti cui dev'essere fornita l'opportunità di aggiornare/riqualificare le proprie competenze.

La presente attività ha dunque, come scopo principale, la formazione, oltre che la comunicazione e la diffusione degli obiettivi e delle attività del progetto e dei risultati ottenuti, al fine di garantire il massimo impatto nei diversi settori interessati (ricerca, industria, decisori politici e società civile).

Le attività di formazione saranno promosse attraverso diversi canali, quali incontri tematici o workshop. Saranno organizzati percorsi formativi, con cicli di incontri e lezioni sia teoriche/virtuali sia in presenza presso i laboratori dei diversi Centri di Ricerca dell'ENEA. In particolare, si metteranno a disposizione le infrastrutture della Hydrogen demo Valley (in fase di realizzazione presso il C.R. ENEA Casaccia) e della Smart Grid (in fase di realizzazione presso il C.R. ENEA di Portici) finanziate nell'ambito di Mission Innovation, promuovendo visite guidate indirizzate sia ad esperti dell'industria e del settore normativo, sia a studenti di diverso ordine e grado, al fine di formare nuovi operatori per la gestione delle nuove tecnologie.

Infine, si prevede di organizzare annualmente presso il C.R. ENEA della Casaccia una "Summer School" dedicata ai temi afferenti alla filiera dell'idrogeno indirizzata a laureati, Italiani e stranieri, che hanno iniziato un percorso di specializzazione, come dottorandi, post-doc, e ricercatori.

Sono ricomprese nella presente LA anche tutte le azioni connesse alla divulgazione e condivisione dei risultati anche con i co-realizzatori, al fine massimizzare la sinergia tra i diversi ambiti di sviluppo. In particolare, le attività afferenti alla LA2.5.6 saranno focalizzate sulle tecnologie appartenenti al settore del trasporto, distribuzione e accumulo (compresi i temi del P2X e degli e-fuels) dell'idrogeno.

Si prevede di attivare una collaborazione con l'Università di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Ingegneria, per l'organizzazione di Master universitari e corsi specifici sul tema del trasporto e accumulo di idrogeno, in considerazione dell'esperienza consolidata sulla tematica in oggetto.

Risultati attesi:

M2.5.6.1 [M9]	Definizione programmi di formazione
M2.5.6.2 [M12]	Organizzazione della prima Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi
M2.5.6.3 [M24]	Organizzazione della seconda Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi
M2.5.6.4 [M36]	Organizzazione della terza Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi

Output:

D2.5.6.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 1° anno"
----------------	---

D2.5.6.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l’accumulo di idrogeno - 2° anno”
D2.5.6.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l’accumulo di idrogeno - 3° anno”
D2.5.6.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sui temi del trasporto e accumulo di idrogeno”

TRL (inizio-fine): n.a.

WP2.5 - LA2.5.7

Sviluppo di programmi di formazione per portare ad una filiera integrata di competenze e per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore dell’accumulo di idrogeno

Co realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Antonino Aricò

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo totale LA - 1 anno (escluse spese generali): € 29.700,00

Costo totale LA - 2 anno (escluse spese generali): € 101.363,00

Costo totale LA - 3 anno (escluse spese generali): € 60.233,00

Costo totale LA - 4 anno (escluse spese generali): € 48.704,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 240.000,00

Descrizione attività:

Per un corretto sviluppo dell’economia dell’idrogeno è necessario favorire la formazione di figure professionali di filiera sul settore, da tecnici diplomati a laureati fino a responsabili di settori privati interessati all’introduzione delle diverse tecnologie. Per questo motivo l’attività prevede sviluppo di programmi di formazione (corsi, workshop e giornate formative) lungo tutti i vari stadi dell’educazione scolastica per portare ad una filiera integrata di competenze che vadano sia dalla formazione tecnica (istituti superiori, etc.) che Universitaria per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica. Sono previsti quindi corsi per diplomati, laureati e studenti in dottorato, così come momenti di formazione per personale proveniente dal settore privato. L’attività di formazione prevede inoltre l’istituzione di dottorati industriali e il reclutamento di specifico personale mediante borse ed assegni di ricerca per essere formato ed al contempo poter collaborare al progetto di ricerca nel settore produzione di idrogeno aperta a vari tipi di laureati in discipline scientifiche ed eventualmente anche economiche per attività specifiche quali life cycle analysis e cost-assessment. Saranno emanati dei bandi specifici che includeranno le recenti normative in termini di parità di genere e di accesso alla formazione delle figure professionali. Il fine della formazione è consentire di acquisire le competenze necessarie sulle nuove tecnologie di produzione di idrogeno per potersi efficacemente proporre alle aziende che operano in campo energetico e nel mercato della ricerca. A questo scopo verranno studiati programmi di formazione specifici per le diverse fasce di età e esperienza che permettano la formazione delle diverse figure professionali necessarie al settore.

L’attività di formazione è aperta a vari tipi di laureati in discipline scientifiche ed eventualmente anche economiche per attività specifiche quali life cycle analysis e cost-assessment. Nei programmi di formazione per studenti laureati in discipline scientifiche si renderà necessaria al primo anno una prima fase didattica durante la quale saranno trattati i contenuti di base della Chimica, dell’Elettrochimica, della Fisica, dei Reattori Chimici e dei Fenomeni di Trasporto che sono essenziali

alla comprensione degli argomenti previsti nella successiva fase di alta formazione che si articolerà negli anni successivi attraverso la collaborazione diretta alle attività progettuali. Ciò permetterà il raggiungimento di una certa uniformità nel “background” culturale dei formandi. Un approccio simile sarà adottato per i laureati nelle discipline economiche. I contenuti prevedono non solo i fondamenti dell’elettrochimica, dei processi catalitici, della caratterizzazione chimico-fisica ma anche nozioni specifiche sulle tecnologie di accumulo e conversione di idrogeno verde.

Saranno trattati in particolare i materiali funzionali, l'accumulo i processi di reforming e gassificazione, i processi catalitici etc. Sarà inoltre trattata con i formandi la “programmazione e gestione dei progetti di Ricerca”. I seminari saranno svolti da esperti provenienti da diversi istituti del CNR coinvolti nel progetto e saranno organizzati seminari che prevederanno possibilmente anche rappresentanti del mondo universitario ed industriale.

Negli anni successivi il training dei formandi riguarderà le attività specifiche di progetto e si consentirà loro di acquisire competenze dirette sull’uso delle tecniche di caratterizzazione chimico-fisica, catalitica, elettrochimica e si darà loro la possibilità di partecipare allo sviluppo dei prototipi e dei sistemi. Un aspetto rilevante riguarda la possibilità di dare ai formandi l’opportunità di presentare le loro attività nelle conferenze più importanti del settore.

Per i dottorati industriali si stabiliranno convenzioni con università specifiche al fine di consentire ai formandi di acquisire il titolo alla fine del loro percorso di formazione.

Programmi specifici saranno sviluppati per diplomati che permettano una formazione più pratica mentre per il personale privato verranno inseriti anche nozioni più generali legati all’economia dell’idrogeno e alle politiche e normative connesse.

Risultati attesi:

M2.5.7.1 [M12]	Selezione e stipula di almeno 4 contratti per dottorati industriali o assegnisti
M2.5.7.2 [M12]	Nozioni di base e specifiche su accumulo di idrogeno verde fornite ai formandi
M2.5.7.3 [M24]	Realizzazione di programmi definiti per studenti diplomati con competenze tecnico scientifico ed economiche
M2.5.7.4 [M24]	Coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche per l’accumulo di idrogeno verde a partire da processi elettrochimici, catalitici etc.
M2.5.7.5 [M36]	Prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
M2.5.7.6 [M36]	Realizzazione di programmi definiti per laureati e studenti di dottorato con competenze tecnico scientifico ed economiche
M2.5.7.7 [M42]	Realizzazione di programmi definiti per personale proveniente dal settore privato
M2.5.7.8 [M42]	Prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative per l’accumulo di idrogeno verde.

Output:

D2.5.7.1 [M12]	Relazione sui contratti per dottorati industriali o assegnisti
D2.5.7.2 [M12]	Relazione riguardo le nozioni di base e specifiche su accumulo di idrogeno verde fornite ai formandi
D2.5.7.3 [M24]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per diplomati in materie tecnico scientifiche ed economiche

- D2.5.7.4 [M24] Relazione sul coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche per l'accumulo di idrogeno verde a partire da processi elettrochimici, catalitici etc.
- D2.5.7.5 [M36] Realizzazione di almeno un corso di formazione per laureati e studenti di dottorati in materie tecnico scientifiche ed economiche
- D2.5.7.6 [M36] Relazione sulla prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
- D2.5.7.7 [M42] Relazione sulla prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative per l'accumulo di idrogeno verde.
- D2.5.7.8 [M42] Realizzazione di almeno un corso di formazione per personale del settore privato

TRL (inizio-fine): n.a.

Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto (Obiettivo 2)

Obiettivo 2 - Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels			
Responsabile ENEA			
WP (5)/LA (37)	Resp.	Titolo Deliverable	
WP2.1 - Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica (n° 12 LA) TRL 2-5	ENEA		
WP2.1 – LA2.1.1 Attività sperimentale di sintesi catalitica selettiva di e-cherosene e sviluppo di modelli per la produzione di e-jetfuel nel contesto nazionale TRL 2-4	ENEA	D2.1.1.1 [M12]	Rapporto tecnico “Design di un impianto prototipale per la produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ su scala di laboratorio”
		D2.1.1.2 [M12]	Prototipo e collaudo del reattore per la produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ su scala di laboratorio
		D2.1.1.3 [M24]	Rapporto tecnico “Produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ in singolo stadio catalitico utilizzando un catalizzatore Fischer-Tropsch e un catalizzatore di hydrocracking”
		D2.1.1.4 [M36]	Rapporto tecnico “Produzione di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ in singolo stadio catalitico utilizzando catalizzatori bifunzionali”
		D2.1.1.5 [M42]	Rapporto tecnico “Design preliminare di un reattore catalitico alla scala pilota per la produzione one-pot di jetfuels da miscele H ₂ /CO ₂ ”
WP2.1 – LA2.1.2 Processi innovativi di produzione di DME mediante la conversione catalitica della CO ₂ e idrogeno elettrolitico TRL 3-5	ENEA	D2.1.2.1 [M18]	Disponibilità pilota per la sintesi dell'e-DME e relativa sperimentazione
		D2.1.2.2 [M36]	Rapporto Tecnico “Campagna sperimentale con sistemi catalitici innovativi per la sintesi diretta dell'e-DME”
		D2.1.2.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Meccanismi cinetici e di disattivazione dei catalizzatori innovativi per la sintesi diretta dell'e-DME”
		D2.1.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Scale-up del processo per la sintesi diretta dell'e-DME”
WP2.1 – LA2.1.3 Sviluppo di reattori a membrana per la sintesi di metanolo e altri e-fuel TRL 4-5	ENEA	D2.1.3.1 [M36]	Rapporto Tecnico “Sintesi di membrane zeolitiche semipermeabili”
		D2.1.3.2 [M36]	Prototipo di reattore a membrana per la sintesi di metanolo ed e-fuel
		D2.1.3.3 [M42]	Rapporto Tecnico “Sintesi di metanolo e altri possibili e-fuel a partire da syngas”
WP2.1 – LA2.1.4 Sviluppo di processi di co-elettrolisi ad alta temperatura di CO ₂ e vapor d'acqua per la produzione di diretta di metano e syngas mediante l'uso di celle ad ossidi solidi operanti ad alta temperatura TRL 2-4	CNR	D2.1.4.1 [M12]	Report “Review comparativa stato dell'arte internazionale”; Report “Materiali in via di sviluppo e loro caratterizzazione”
		D2.1.4.2 [M12]	Report “Metodologie e protocolli per la sintesi di laboratorio e la caratterizzazione delle fasi selezionate”
		D2.1.4.3 [M24]	Batch di almeno 100 gr di materiali selezionati come i) catodo per la produzione diretta di metano, ii) elettrolita per il funzionamento a temperature intermedie, iii) anodi con sovrapotenziale adeguato agli scopi del progetto

		D2.1.4.4 [M36]	Protocollo di produzione di celle SOEC a larga area (25 cm ²) aventi una resistenza ohmica complessiva inferiore a 0,15 Ωcm ² a 750 °C
		D2.1.4.5 [M42]	Dimostrazione di un degrado inferiore al 10% / 1000 h misurato tramite curve I-V e perdite di gas inferiore al 10% misurata tramite GC o analisi di pressione.
WP2.1 – LA2.1.5 Sviluppo di celle polimeriche anioniche di co-elettrolisi operanti a bassa temperatura per la produzione diretta di combustibili organici rinnovabili come carrier di idrogeno TRL 2-4	CNR	D2.1.5.1 [M12] D2.1.5.2 [M24] D2.1.5.3 [M36] D2.1.5.4 [M42]	Sintesi e caratterizzazione chimica fisica dei materiali Caratterizzazioni elettrochimiche preliminari in cella singola per la selezione dei materiali Valutazione della conversione elettrochimica della CO ₂ Convalida delle prestazioni e prodotti di reazioni
WP2.1 – LA2.1.6 Processi catalitici per la conversione di idrogeno in carrier liquidi di natura organica come alcoli e dimetiletere TRL 2-4	CNR	D.2.1.6.1 [M3] D.2.1.6.2 [M6] D.2.1.6.3 [M9] D.2.1.6.4 [M12] D.2.1.6.5 [M15] D.2.1.6.6 [M18] D.2.1.6.7 [M21] D.2.1.6.8 [M24] D.2.1.6.9 [M27] D.2.1.6.10 [M30] D.2.1.6.11 [M33] D.2.1.6.12 [M36] D.2.1.6.13 [M39] D.2.1.6.14 [M42] D.2.1.6.15 [M42]	Rapporto tecnico su aggiornamento bibliografia e stato dell'arte e set up sperimentale per testing reattori a membrana (obiettivi M.2.1.6.1 e M.2.1.6.2) Rapporto tecnico su sintesi di un catalizzatore ibrido di riferimento (obiettivo M.2.1.6.3) Rapporto tecnico su sintesi di nuovi catalizzatori (obiettivi M.2.1.6.4, M.2.1.6.5) Rapporto tecnico su sviluppo e testing di catalizzatori omogenei, eterogenei e di un reattore a membrana come benchmark (obiettivi M.2.1.6.6, M.2.1.6.7, M.2.1.6.8 e M.2.1.6.9) Rapporto tecnico su caratterizzazione analitica, morfologica, strutturale e superficiale dei sistemi strutturati (obiettivo M.2.1.6.10) Rapporto tecnico su caratterizzazione e testing di catalizzatori eterogenei (obiettivi M.2.1.6.11, M.2.1.6.12) Rapporto tecnico su caratterizzazione e testing di catalizzatori omogenei (obiettivo M.2.1.6.13) Rapporto tecnico su catalizzatori ibridi strutturati preparati mediante robocasting: (obiettivo M.2.1.6.14) Rapporto tecnico su testing di reattore a membrana per la produzione di MeOH (obiettivo M.2.1.6.15) Rapporto tecnico su analisi spettroscopica in situ/operando su catalizzatori eterogenei (obiettivo M.2.1.6.16) Rapporto tecnico su ottimizzazione della procedura di robocasting e definizione di un protocollo di sintesi (obiettivo M.2.1.6.17) Rapporto tecnico su performance catalitica durante la produzione di MeOH/DME, (obiettivi M.2.1.6.18, M.2.1.6.19 e M.2.1.6.20) Rapporto tecnico su sperimentazione dei sistemi strutturati (obiettivi M.2.1.6.21, M.2.1.6.22) Rapporto tecnico su testing di catalizzatori eterogenei bifunzionali e di efficienti processi di deidrogenazione di MeOH e HCOOH in sistemi omogenei (obiettivi M.2.1.6.23, M.2.1.6.24 e M.2.1.6.25) Rapporto tecnico su validazione di un dispositivo per la conversione diretta a DME (obiettivi M.2.1.6.26)

<p>WP2.1 - LA2.1.7</p> <p>Produzione di metano con catalizzatori a doppia funzione tramite processi integrati di conversione di idrogeno e cattura di CO₂</p> <p>TRL 2-3</p>	CNR	<p>D2.1.7.1 [M12]</p> <p>D2.1.7.2 [M12]</p> <p>D2.1.7.3 [M12]</p> <p>D2.1.7.4 [M24]</p> <p>D2.1.7.5 [M24]</p> <p>D2.1.7.6 [M24]</p> <p>D2.1.7.7 [M36]</p> <p>D2.1.7.8 [M36]</p> <p>D2.1.7.9 [M36]</p> <p>D2.1.7.10 [M36]</p> <p>D2.1.7.11 [M42]</p> <p>D2.1.7.12 [M42]</p> <p>D2.1.7.13 [M42]</p>	<p>DFM a base di Ru con diverse fasi assorbenti alcaline/alcalino terrose (1a): sintesi e caratterizzazione</p> <p>Messa a punto di microreattori a letto fisso e protocolli per il test dell'ICCU in condizioni di alimentazione alternata</p> <p>1^a generazione di DFM su substrati strutturati, studi reologici, caratterizzazione, messa a punto di micro-reattori a letto fisso</p> <p>Studio sperimentale sugli aspetti meccanicistici dei singoli processi con DFM selezionati</p> <p>Studio sperimentale sull'avvelenamento e la rigenerazione di DFM selezionati</p> <p>Studio sperimentale su DFM strutturati di 1a generazione per valutazione funzionale di proprietà di adsorbimento e catalisi</p> <p>DFM di 2^a generazione: sintesi e caratterizzazione. Studio tipologia di supporto (zeoliti, idotalciti, allumine); formulazioni avanzate fase adsorbente</p> <p>Protocolli per lo studio della durabilità e risultati di funzionamento ciclico in reattori impaccati con composizioni variabili dei fumi simulati</p> <p>Sintesi, studi reologici e caratterizzazione per DFM strutturati di 2^a generazione</p> <p>Test su scala di laboratorio per la valutazione funzionale di DFM strutturati di 2^a generazione</p> <p>DFM di 3^a generazione (ottimizzazione della formulazione e scale-up della preparazione)</p> <p>DFM strutturati di 3^a generazione: scale-up delle metodologie di washcoating; validazione funzionale prestazioni processo integrato attraverso test comparativi con letti impaccati particellari</p> <p>Studio fondamentale sull'integrazione e l'intensificazione dei processi con configurazioni reattoristiche alternative (es. reattori a letto fluido interconnessi)</p>
<p>WP2.1 – LA 2.1.8</p> <p>Sviluppo di processi biologici “Power to Gas” per l'utilizzo dell'idrogeno verde per la conversione della CO₂ contenuta nel biogas in CH₄</p> <p>TRL 2-4</p>	ENEA	<p>D2.1.8.1 [M12]</p> <p>D2.1.8.2 [M12]</p> <p>D2.1.8.3 [M12]</p> <p>D2.1.8.4 [M24]</p> <p>D2.1.8.5 [M24]</p> <p>D2.1.8.6 [M30]</p> <p>D2.1.8.7 [M36]</p> <p>D2.1.8.8 [M36]</p> <p>D2.1.8.9 [M42]</p>	<p>Rapporto Tecnico “Caratterizzazione della comunità microbica di differenti inoculi provenienti da impianti industriali di biogas”</p> <p>Prototipo per la configurazione BES</p> <p>Rapporto Tecnico “Configurazioni di reattori e delle condizioni operative ottimali utilizzate sia nel processo di elettrometanazione sia in quello ex-situ”</p> <p>Rapporto Tecnico “Test SHMA degli inoculi alimentati da miscele di H₂:CO₂”</p> <p>Rapporto Tecnico “Test di biometanazione in situ con l'utilizzo di BES”</p> <p>Rapporto Tecnico “Processo di biometanazione ex situ”</p> <p>Rapporto Tecnico “Processo in continuo di biometanazione in situ su reattore CSTR”</p> <p>Rapporto Tecnico “Processo di elettrometanazione in situ”</p> <p>Rapporto Tecnico “Processo ibrido, in situ + ex situ”</p>
<p>WP2.1 – LA 2.1.9</p> <p>Realizzazione di una piattaforma per lo sviluppo di biocatalizzatori per la produzione di carriers per l'idrogeno e/o la trasformazione dell'idrogeno in derivati ed e-fuels</p>	ENEA	<p>D2.1.9.1 [M24]</p> <p>D2.1.9.2 [M36]</p> <p>D2.1.9.3 [M42]</p> <p>D2.1.9.4 [M42]</p>	<p>Rapporto Tecnico “Stato di avanzamento delle attività di sviluppo di biocatalizzatori”</p> <p>Rapporto Tecnico “Ricognizione di biocatalizzatori”</p> <p>Rapporto Tecnico “Realizzazione e implementazione di una piattaforma per il miglioramento e l'espressione di biocatalizzatori enzimatici”</p> <p>Rapporto Tecnico “Caratterizzazione di biocatalizzatori target”</p>

TRL 2-4			
WP2.1 – LA 2.1.10 Sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno in alcune filiere d'interesse (es. idrico, biomasse): metanazione biologica, idrogeno da FER, recupero CO ₂ da upgrading del biogas e riutilizzo dell'ossigeno TRL 2-5	RSE	D.2.1.10.1 [M30] D.2.1.10.2 [M30] D.2.1.10.3 [M42] D.2.1.10.4 [M42] D.2.1.10.5 [M42]	Report tecnico "Progetto di una facility sperimentale per l'integrazione delle tecnologie dell'idrogeno nei sistemi di trattamento acque" Report tecnico "Metanazione biologica: potenziamento della facility di Laboratorio di RSE" Report tecnico "Metanazione Biologica: sperimentazione di reattori CSTR" Report tecnico "Metanazione Biologica: sperimentazione di reattori trickle bed alimentati con CO" Report tecnico "Sperimentazione di soluzioni innovative negli impianti di trattamento acque basate su tecnologie dell'idrogeno"
WP2.1 – LA2.1.11 Sviluppo di materiali ed elettrodi per processi di elettrometanogenesi e prevenzione della corrosione microbiologica TRL 2-4	RSE	D.2.1.11.1 [M12] D.2.1.11.2 [M24] D.2.1.11.3 [M36] D.2.1.11.4 [M42]	Report tecnico sui materiali multicompositi per elettrodi di celle di elettrometanogenesi Report tecnico descrivente i prototipi di cella di elettrometanogenesi realizzati e gli ambiti di applicazione Report tecnico riportante i risultati delle prove sperimentali di processi di elettrometanogenesi e dei rendimenti ottenuti Report riportante una road map per lo sviluppo delle tecnologie di elettrometanogenesi nei settori industriali/ambientali individuati
WP2.1 - LA2.1.12 Carrier liquidi di idrogeno ottenuti dalla conversione fotochimica e fotoelettrochimica di CO ₂ e acqua TRL 2-4	CNR	D2.1.12.1 [M6] D2.1.12.2 [M6] D2.1.12.3 [M12] D2.1.12.4 [M12] D2.1.12.5 [M12] D2.1.12.6 [M12] D2.1.12.7 [M15] D2.1.12.8 [M18] D2.1.12.9 [M18] D2.1.12.10 [M18] D2.1.12.11 [M21] D2.1.12.12 [M21] D2.1.12.13 [M24] D2.1.12.14 [M24] D2.1.12.15 [M30] D2.1.12.16 [M30]	Report sulla progettazione dei fotosensibilizzatori Isolamento di enzima sufficiente per le prove catalitiche Protocollo di sintesi e report sulle proprietà di polveri con proprietà piezo-fototroniche e la procedura sintetica dettagliata seguita per la loro preparazione Protocollo di sintesi e caratterizzazione di fotosensibilizzatori Report sullo sviluppo di semiconduttori anodici per la conversione di CO ₂ e H ₂ O in carrier liquidi di idrogeno Sviluppo di un reattore fotocatalitico a membrana (benchmark) Report sulla sintesi di nuovi fotosensibilizzatori organici di struttura differente Report sulla caratterizzazione fotofisica dei fotosensibilizzatori Dettaglio sulle condizioni ottimizzate della reazione fotocatalizzata per la rigenerazione del cofattore NADH Preparazione e caratterizzazione di fotocatalizzatori e loro integrazione in membrane Protocollo di produzione e report sulle proprietà di foto-elettrodi piezo-fototronici nanostrutturati e/o in forma di film-sottile su diversi substrati Report completo sulla caratterizzazione spettroscopica ed elettrochimica dei nuovi coloranti sintetizzati Report sui processi di trasferimento di energia/carica tra fotosensibilizzatore e catalizzatore in fase omogenea Report sullo sviluppo di materiali catodici Procedura di scale-up della sintesi del miglior fotosensibilizzatore Dettaglio condizioni ottimizzate della reazione fotocatalizzata per riduzione enzimatica mediata da FDH di riduzione CO ₂

		D2.1.12.17 [M33] Report completo sulle condizioni ottimali per utilizzo combinato della catalisi enzimatica e della foto-rigenerazione del cofattore NADH D2.1.12.18 [M33] Analisi delle prestazioni di fotocatalizzatori e membrane fotocatalitiche in reattori operati in continuo D2.1.12.19 [M33] Report delle proprietà di semi-celle catodiche con foto-elettrodi piezo-fototronici per la reazione di conversione di anidride carbonica D2.1.12.20 [M36] Report sulla dinamica dei processi di trasferimento di carica tra fotosensibilizzatore e fotoelettrodo D2.1.12.21 [M36] Report sullo sviluppo di membrane elettrolitiche polimeriche e componenti per PEC D2.1.12.22 [M42] Report sui dimostratori di sistemi enzimatici ottimizzati su scala di laboratorio, scelti tra le possibili configurazioni in base a efficienza e stabilità nella produzione di formiato D2.1.12.23 [M42] Report sulle proprietà di celle PEC contenenti foto-elettrodi piezo-fototronici, fotosensibilizzatori e co-catalizzatori D2.1.12.24 [M42] Report sulle proprietà di un sistema bifunzionale a base di elettrodi fotosensibilizzatori e fotocatalitici D2.1.12.25 [M42] Report sullo sviluppo di un prototipo PEC per la conversione di anidride carbonica ed acqua in carrier liquidi di idrogeno D2.1.12.26 [M42] Sviluppo e analisi di stabilità delle prestazioni di un reattore fotocatalitico a membrana per la produzione di idrogeno D2.1.12.27 [M42] Report sulla fotostabilità dei materiali e delle celle fotoelettrochimiche in condizioni operative
WP2.2 - Ricerca e sviluppo di soluzioni per il trasporto, distribuzione e usi finali dell'idrogeno nelle reti del gas naturale (n° 8 LA) TRL 2-5	ENEA	
WP2.2 - LA 2.2.1 Messa a punto, sviluppo e realizzazione di sensori chimici per il controllo ed il monitoraggio distribuito della rete TRL 3-5	ENEA	D2.2.1.1 [M12] Rapporto Tecnico "Fabbricazione e caratterizzazione di materiali sensibili all'idrogeno nel range di concentrazione di interesse" D2.2.1.2 [M24] Rapporto Tecnico "Ottimizzazione dei processi di sintesi in termini di selettività all'idrogeno" D2.2.1.3 [M42] Rapporto Tecnico "Ottimizzazione dei materiali in termini di invecchiamento e sulla scalabilità della tecnica di sintesi selezionata"
WP2.2 - LA2.2.2 Rivestimenti di condutture per il trasporto H ₂ Sviluppo e realizzazione di coating anticorrosivi a base di grafene per reti di trasporto dell'idrogeno TRL 3-4	ENEA	D2.2.2.1 [M12] Rapporto Tecnico "Progettazione e realizzazione di materiali e coating a base di grafene" D2.2.2.2 [M24] Rapporto Tecnico "Validazione funzionale in termini di barriera all'idrogeno ed efficacia anti-corrosiva/anti-infragilimento su substrati in acciaio dei coating a base di grafene" D2.2.2.3 [M42] Rapporto Tecnico "Scale-up della tecnologia di coating"
WP2.2 - LA2.2.3	CNR	D2.2.3.1 [M12] Report sullo sviluppo di membrane ed elettrodi per la purificazione elettrochimica di idrogeno a cambio protonico D2.2.3.2 [M12] Report su separazione/purificazione a membrana polimerica/metallica per correnti di H ₂ /CH ₄

<p>Sistemi innovativi a membrana per la separazione di idrogeno dal gas naturale nel mix di rete e da miscele di idrometano</p> <p>TRL 2-4</p>		<p>D2.2.3.3 [M12]</p> <p>D2.2.3.4 [M24]</p> <p>D2.2.3.5 [M24]</p> <p>D2.2.3.6 [M24]</p> <p>D2.2.3.7 [M36]</p> <p>D2.2.3.8 [M36]</p> <p>D2.2.3.9 [M36]</p> <p>D2.2.3.10 [M36]</p> <p>D2.2.3.11 [M36]</p> <p>D2.2.3.12 [M42]</p> <p>D2.2.3.13 [M42]</p>	<p>Report con esito di screening semi-empirico di leghe alternative al palladio e indagine di elementi non critici per membrane</p> <p>Report sullo sviluppo di MEA e test elettrochimici per purificazione elettrochimica di idrogeno a scambio protonico</p> <p>Report su separazione/purificazione a membrana polimerica/metallica per correnti di idrogeno/alcani leggeri</p> <p>Report con parametri di deposizione di leghe alternative al palladio su substrati porosi e caratterizzazione di membrane ottenute</p> <p>Report su analisi di impatto del processo di deposizione e dei materiali selezionati</p> <p>Report sullo sviluppo di componenti di seconda generazione ottimizzati per la purificazione elettrochimica di idrogeno a scambio protonico</p> <p>Report su sistemi a membrana polimerica/metallica per la separazione/purificazione di correnti di H₂/CH₄/alcani leggeri ad elevati recupero e purezza</p> <p>Report con dati di permeabilità e selettività di nuove membrane in miscele contenenti idrogeno, metano e vapor d'acqua</p> <p>Report su test elettrochimici di durata e analisi della purezza dei gas dei MEA selezionati</p> <p>Report su configurazioni multistadio di sistemi a membrane per massimizzare recupero e/o purezza</p> <p>Report con dati di stabilità di nuove membrane in flussi contenenti contaminanti e di efficacia di strati catalitici alternativi</p>
<p>WP2.2 - LA2.2.4</p> <p>Rivestimenti di condutture per il trasporto H₂: Sviluppo di coating ossidici, metallici e ibridi e processi per la loro deposizione</p> <p>TRL 2-4</p>	<p>CNR</p>	<p>D2.2.4.1 [M6]</p> <p>D2.2.4.2 [M9]</p> <p>D2.2.4.3 [M9]</p> <p>D2.2.4.4 [M12]</p> <p>D2.2.4.5 [M12]</p> <p>D 2.2.4.6 [M12]</p> <p>D2.2.4.7 [M21]</p> <p>D2.2.4.8 [M21]</p>	<p>Report sullo stato dell'arte relativo ai sistemi barriera a base di rivestimenti polimerici, compositi e metallici/ceramici e sulle tecniche di deposizione attualmente impiegate</p> <p>Report sullo sviluppo di protocolli di caratterizzazione con riferimento a materiali strutturali già impiegati nel settore e messa a punto dei set-up sperimentali per la preparazione e la caratterizzazione dei coating e dei substrati</p> <p>Report sulla progettazione e applicazione di coating polimerici con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati in acciaio</p> <p>Report sulla progettazione e applicazione di rivestimenti ottenuti mediante tecniche MS con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati di prova</p> <p>Report sulla progettazione e applicazione di rivestimenti ottenuti mediante tecniche MOCVD con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati di prova</p> <p>Impostazione e raccolta dati dell'analisi d'inventario LCA dei processi coinvolti nella deposizione degli strati barrier</p> <p>Report sull'ottimizzazione della morfologia e della struttura dei coating polimerici nanostrutturati per il controllo fine della distribuzione dei nanofiller nella matrice polimerica</p> <p>Report sulla progettazione e applicazione di coating metallici/ceramici ottenuti mediante tecniche MS con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati di prova e acciaio</p>

		<p>D2.2.4.9 [M21] Report sull'applicazione dell'approccio dual-step attivazione plasma – deposizione MOCVD per la produzione di rivestimenti di ossidi metallici su acciaio con proprietà HPB e anti-corrosione/anti-infragilimento su substrati in acciaio</p> <p>D2.2.4.10 [M24] Report sulla caratterizzazione morfologico-strutturale e chimica dei coating applicati su substrati in acciaio</p> <p>D2.2.4.11 [M24] Eco-profilo degli strati barriera con comparazione degli impatti relativi alle differenti composizioni elementari individuate mediante analisi LCA</p> <p>D2.2.4.12 [M27] Protocolli di deposizione dei coating polimerici con struttura e morfologia ottimizzata su substrati in acciaio</p> <p>D2.2.4.13 [M36] Prototipi di coating polimerici con struttura e morfologia ottimizzata estesamente caratterizzati e validati per le proprietà barriera all'idrogeno e le proprietà anti-corrosive/anti-infragilimento</p> <p>D2.2.4.14 [M36] Protocolli di deposizione PVD MS e MOCVD per la produzione di rivestimenti ottimizzati metallici/ceramici</p> <p>D2.2.4.15 [M36] Prototipi di rivestimenti ottimizzati metallici/ceramici ottenuti mediante tecniche PVD MS e MOCVD estesamente caratterizzati e validati per le proprietà barriera all'idrogeno e le proprietà anti-corrosive/anti-infragilimento</p> <p>D2.2.4.16 [M42] Report sull'analisi della scalabilità dei processi per applicazioni in-situ ed ex-situ dei coating</p> <p>D2.2.4.17 [M42] Eco-profilo degli strati barriera ottimizzati mediante analisi LCA, in relazione alle tecniche di sintesi impiegate, alle differenti composizioni elementari individuate e alle prestazioni ottenute</p>
<p>WP2.2 - LA2.2.5</p> <p>Modellistica, simulazione e diagnostica sperimentale della combustione di miscele idrogenate e/o altri H₂-carrier (NH₃)</p> <p>TRL 2-5</p>	<p>ENEA</p>	<p>D2.2.5.1 [M12] Rapporto Tecnico "Cinetica chimica: valutazione dell'effetto del tempo di residenza sulla composizione e sulla temperatura finali dei prodotti di combustione, e della parziale premiscelazione. Simulazioni termo-fluidodinamiche: morfologia della zona di reazione, produzione di NOx in funzione della composizione, mescolamento e pressione (con e senza EGR)"</p> <p>D2.2.5.2 [M12] Rapporto Tecnico "Sperimentazione atmosferica per modellistica SGS: interazione tra combustione e turbolenza, analisi delle instabilità intrinseche della fiamma (termoacustiche, idrodinamiche, termodiffusive), e delle capacità radiative della fiamma. Misure con microfoni, diodi o fotomoltiplicatori, tecniche spettroscopiche ed anemometriche"</p> <p>D2.2.5.3 [M24] Rapporto Tecnico "Definizione finale ed implementazione di modelli SGS nel codice HeaRT"</p> <p>D2.2.5.4 [M24] Rapporto Tecnico "Simulazione di un reattore in regime MILD: validazione atmosferica della modellistica nel regime di combustione volumetrico e valutazione dell'effetto dell'aumento della pressione"</p> <p>D2.2.5.5 [M24] Rapporto Tecnico "Sistemi laser al femtosecondo: descrizione e test dei sistemi acquisiti"</p> <p>D2.2.5.6 [M24] Rapporto Tecnico "Sperimentazione a pressioni sovra atmosferica: misure con termocoppie, microfoni, diodi, analizzatori di gas e misure spettroscopiche"</p> <p>D2.2.5.7 [M24] Rapporto Tecnico "Instabilità termo-acustiche: analisi statistica di segnali di energia radiante e di pressione, già acquisiti e di nuova acquisizione anche a pressione sovra atmosferica"</p> <p>D2.2.5.8 [M36] Rapporto Tecnico "Simulazioni LES e RANS per la definizione di geometrie per la combustione volumetrica: nuove geometrie di combustori e/o piastre di iniezione basate sulla strategia del</p>

		<p>D2.2.5.9 [M36] micro-mescolamento e/o del vortice intrappolato in una cavità per potenziali implementazioni su turbine, microturbine e forni”</p> <p>D2.2.5.10 [M36] Realizzazione di prototipi semplificati e sperimentazione a supporto della modellistica: alcune geometrie di combustori e/o piastre di iniezione semplificate verranno realizzate, opportunamente scalate, e testate sperimentalmente fino a 10 bar a supporto degli studi modellistici.</p> <p>D2.2.5.11 [M42] Rapporto Tecnico “Instabilità termo-acustiche: ricerca di indici di instabilità con metodi basati su analisi wavelet e caotica, oltre che statistici standard; comparazione degli approcci in modalità off-line con misure acquisite durante le nuove campagne sperimentali”</p> <p>D2.2.5.12 [M42] Rapporto Tecnico “Simulazioni LES e RANS per la definizione finale delle geometrie identificate”</p> <p>D2.2.5.13 [M42] Realizzazione e test di prototipi delle geometrie più promettenti</p> <p>Rapporto Tecnico “Strategie ed algoritmi per l’identificazione di instabilità termo-acustiche: implementazione degli algoritmi in un software realizzato in ambiente LabVIEW; loro ottimizzazione per consentirne l’uso in real-time per applicazioni industriali”</p>
<p>WP2.2 – LA 2.2.6</p> <p>Valutazione modellistica e sperimentale delle limitazioni all'immissione di idrogeno nelle reti del gas naturale</p> <p>TRL 3-5</p>	RSE	<p>D.2.2.6.1 [M12] Report tecnico “Simulazione dinamica di immissione multipla di biometano una rete gas di media pressione”</p> <p>D.2.2.6.2 [M24] Report tecnico “Modelli fisico-matematici per il trasporto di miscele di gas”</p> <p>D.2.2.6.3 [M36] Report tecnico “Simulatore dinamico di una rete gas di media pressione con immissione variabile di idrogeno”</p> <p>D.2.2.6.4 [M42] Report tecnico “Simulazione ed analisi dinamica dell’immissione variabile di idrogeno in una rete gas di media pressione e valutazione della compatibilità dei principali componenti”</p>
<p>WP2.2 – LA 2.2.7</p> <p>Sviluppo e validazione di strumenti numerici per le analisi di rilascio, dispersione e combustione accidentale dell'idrogeno e di miscele idrogeno - metano</p> <p>TRL 3-5</p>	RSE	<p>D.2.2.7.1 [M6] Report tecnico “Casi tipici di rilascio e combustione accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”</p> <p>D.2.2.7.2 [M18] Report tecnico “Applicazione di codice numerico fast running a casi esemplificativi di rilascio accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”</p> <p>D.2.2.7.3 [M30] Report tecnico “Applicazione di codice numerico CFD a casi esemplificativi di rilascio accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”</p> <p>D.2.2.7.4 [M42] Report tecnico “Applicazione di codicistica numerica con approccio Multi-scale a casi esemplificativi di rilascio accidentale di miscele gas naturale - idrogeno da sistemi di trasporto e stoccaggio”</p>
<p>WP2.2 – LA 2.2.8</p> <p>Simulazione e analisi tecnico economica di sistemi basati sull'utilizzo di cavi superconduttori refrigerati con idrogeno liquido per il trasporto combinato di idrogeno ed energia elettrica</p> <p>TRL 2-3</p>	RSE	<p>D.2.2.8.1 [M6] Report tecnico “Cavi SC raffreddati a idrogeno: scelta delle ipotesi e delle metodologie per la simulazione numerica del comportamento del sistema cavo e dei suoi componenti principali”</p> <p>D.2.2.8.2 [M18] Report tecnico: “Sviluppo di un modello di simulazione numerica del comportamento del sistema cavo superconduttore refrigerato con idrogeno e dei suoi componenti principali”</p> <p>D.2.2.8.3 [M30] Report tecnico “Sviluppo di metodologie computazionali per la determinazione della configurazione ottimale di cavi SC raffreddati con idrogeno dal punto di vista tecnico economico e ambientale. Identificazioni di casi studio di installazioni in rete per la loro applicazione”</p>

		D.2.2.8.4 [M42]	Report tecnico "Applicazione ai casi di studio di metodologie computazionali per la determinazione della configurazione ottimale di cavi SC raffreddati con idrogeno dal punto di vista tecnico economico e ambientale"
WP2.3 - Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica (n° 8 LA) TRL 2-4	ENEA		
WP2.3 – LA2.3.1 Stoccaggio dell'idrogeno sotto forma di ammoniaca con integrazione di vettori termici ed elettrici rinnovabili TRL 2-3	ENEA	D2.3.1.1 [M12] D2.3.1.2 [M24] D2.3.1.3 [M36] D2.3.1.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Schemi di processo e modelli di calcolo per impianti di sintesi dell'ammoniaca da idrogeno verde prodotto da elettrolisi alimentata da fonti rinnovabili" Rapporto Tecnico "Analisi e ottimizzazione degli schemi di processo applicati a casi studio d'interesse applicativo sulla produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno" Rapporto Tecnico "Analisi del costo di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno e del costo specifico di produzione dell'ammoniaca" Rapporto Tecnico "Analisi di ciclo di vita dell'intero sistema produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno"
WP2.3 - LA2.3.2 Accumulo di idrogeno sotto forma di ammoniaca tramite processi fotocatalitici e fotoelettrochimici TRL 2-4	CNR	D2.3.2.1 [M12] D2.3.2.2 [M12] D2.3.2.3 [M24] D2.3.2.4 [M24] D2.3.2.5 [M36] D2.3.2.6 [M36] D2.3.2.7 [M42] D2.3.2.8 [M42]	Rapporto tecnico "Proprietà strutturali, morfologiche, ottiche e foto-catalitiche di materiali a struttura di perovskite totalmente inorganiche con differenti alogeni" Rapporto tecnico "Proprietà strutturali, morfologiche, ottiche e foto-catalitiche di materiali con struttura ossidica a perovskite e doppia perovskite" Prototipo Produzione di almeno 3 foto-elettrodi omogenei e foto-elettrochimicamente attivi Rapporto tecnico "Proprietà microstrutturali, ottiche, elettrochimiche e foto-elettrochimiche dei film sviluppati con le diverse tecniche di deposizione" Prototipo Produzione di almeno 3 foto-elettrodi a base di etero-giunzione omogenei da utilizzare nella reazione di produzione di ammoniaca" Rapporto tecnico "Proprietà microstrutturali, ottiche, elettrochimiche, foto-elettrochimiche e di stabilità dei foto-elettrodi a base di etero-giunzioni" Prototipo Produzione di almeno 1 cella PEC per la reazione di produzione di ammoniaca Rapporto tecnico "Proprietà di celle PEC in termini di ammoniaca prodotta, efficienza faradica e SFE"
WP2.3 - LA2.3.3 Processi catalitici per la conversione di idrogeno in carrier liquidi di natura non organica come l'ammoniaca e studio dei relativi processi di deidrogenazione TRL 2-4	CNR	D2.3.3.1 [M12] D2.3.3.2 [M12] D2.3.3.3 [M12]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la definizione dello stato dell'arte aggiornato su formulazioni e processi di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'individuazione e/o realizzazione dei reattori e delle stazioni di prova per test catalitici di sintesi e decomposizione catalitica e non dell'ammoniaca, individuazione dei protocolli di test dei materiali e delle condizioni operative Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di materiali con proprietà catalitiche adatte per essere impiegati nei processi di sintesi e deidrogenazione dell'ammoniaca

		D2.3.3.4 [M12]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di modelli atomistici di siti catalitici di decomposizione dell'ammoniaca, della ricerca dei cammini di reazione, derivazione dei diagrammi di energia libera; della caratterizzazione chimico-fisica, morfologica dei materiali con proprietà catalitiche sviluppati
		D2.3.3.5 [M18]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo studio dell'effetto dei materiali di costruzioni dei reattori sulle cinetech delle reazioni in fase eterogenea di decomposizione dell'ammoniaca
		D2.3.3.6 [M18]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per il test dei materiali con proprietà catalitiche e ottimizzazione dei parametri operativi per ottenere un'elevata resa di ammoniaca e un'elevata produttività di idrogeno dalla decomposizione di NH_3
		D2.3.3.7 [M24]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'integrazione in reattore a membrana di altri catalizzatori disponibili sul mercato, valutazione delle prestazioni di varie tipologie di membrane a base di Pd e sue leghe per l'individuazione della membrana più appropriata per l'integrazione con i catalizzatori sviluppati nell'ambito della linea di attività
		D2.3.3.8 [M24]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la caratterizzazione cinetica sperimentale della deidrogenazione termica ed autotermica
		D2.3.3.9 [M36]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la definizione di una metodologia di high-throughput screening per la ricerca dei sistemi catalitici in lega più performanti
		D2.3.3.10 [M36]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per l'individuazione di una metodologia di washcoating adeguata alla geometria e alle dimensioni del supporto strutturato usato
		D2.3.3.11 [M36]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la produzione di catalizzatori strutturati in forma di schiume a celle aperte, ottimizzati per il processo di sintesi di ammoniaca e deidrogenazione dell'ammoniaca in H_2 ; Sviluppo di catalizzatori eterogenei a base di supporti elettron-ricchi più sofisticati e verifica delle proprietà catalitiche di decomposizione di ammoniaca
		D2.3.3.12 [M36]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo studio a livello teorico-computazionale l'interazione tra le nanoparticelle catalitiche ottimali e i supporti innovativi, e ottimizzazione dell'interazione catalizzatore/supporto; sviluppo di catalizzatori eterogenei per la decomposizione di ammoniaca a bassa temperatura; Saranno analizzate le prestazioni del reattore a membrana catalitico operato in continuo e confrontate con reattori tradizionali utilizzando lo stesso catalizzatore. Modello cinetico ottimizzato della deidrogenazione termica ed autotermica dell'ammoniaca.
		D2.3.3.13 [M42]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per la verifica delle proprietà catalitiche di sistemi strutturati, integrazione dei catalizzatori più performanti in reattori a membrana
		D2.3.3.14 [M42]	Rapporto Tecnico delle attività svolte per lo sviluppo di una modellazione multi-scala del processo catalitico e non di decomposizione di ammoniaca; scale-up dei catalizzatori strutturati più promettenti, realizzazione e validazione di un reattore catalitico a membrana integrante il catalizzatore e la membrana più performanti e valutazione della stabilità delle prestazioni nel tempo

<p>WP2.3 - LA2.3.4</p> <p>Accumulo di Idrogeno sotto forma di ammoniaca tramite conversione elettrochimica di ossidi di azoto ed idrogeno. Sviluppo di processi accoppiati elettrochimici e catalitici</p> <p>TRL 2-4</p>	CNR	D2.3.4.1 [M6]	Rapporto tecnico "Data-sheet dei materiali più promettenti e delle architetture di cella attualmente stato dell'arte per applicazioni SOEC/SOFC per la sintesi di ammoniaca o il suo utilizzo come fuel rispettivamente"
		D2.3.4.2 [M12]	Prototipo sospensioni di materiali "standard", idonee al processo di collaggio su nastro e serigrafia, per la realizzazione dei principali elementi di cella anodo/catodo/elettrolita
		D2.3.4.3 [M24]	Rapporto tecnico "Data sheet delle caratteristiche degli elettrodi selezionati da utilizzarsi in modalità SOEC per la sintesi di ammoniaca"
		D2.3.4.4 [M24]	Prototipo celle e/o semicelle di riferimento, costituite da materiali standard e dimensioni fino a 5 x 5 cm
		D2.3.4.5 [M36]	Prototipo pre-layer catalitico da applicare esternamente al comparto catodico di celle anche convenzionali
		D2.3.4.6 [M36]	Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di elettrodi ottimizzati e loro caratterizzazione"
		D2.3.4.7 [M42]	Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di una cella SOEC planare di adeguata robustezza meccanica e caratteristiche morfologiche/catalitiche adeguate all'applicazione finale"
		D2.3.4.8 [M42]	Prototipo cella SOEC planare per la sintesi di ammoniaca
<p>WP2.3 – LA2.3.5</p> <p>Materiali a base di grafene per l'accumulo di idrogeno</p> <p>TRL 2-4</p>	ENEA	D2.3.5.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Sintesi dei materiali carboniosi di base, caratterizzazione chimico-fisica e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno"
		D 2.3.5.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Sintesi dei materiali compositi grafene/catalizzatore, caratterizzazione chimico-fisica e del loro comportamento verso l'adsorbimento/desorbimento di idrogeno"
		D 2.3.5.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Studio di fattibilità dello scale-up dei processi"
<p>WP2.3 - LA2.3.6</p> <p>Materiali innovativi per chemi e fisi-assorbimento e stoccaggio di idrogeno a bassa temperatura allo stato solido</p> <p>TRL 2-3</p>	CNR	D2.3.6.1 [M6]	Protocolli di sintesi omostrutture porose, selezione building blocks
		D2.3.6.2 [M6]	Protocolli di caratterizzazione multitecnica
		D2.3.6.3 [M6]	Report sui protocolli di simulazione ed integrazione su piattaforme dati
		D2.3.6.4 [M9]	Lista dei materiali più performanti, a seguito delle indagini strutturali e funzionali
		D2.3.6.5 [M12]	Report iniziale sulle diverse tipologie di materiali presentati basati su dati di letteratura
		D2.3.6.6 [M12]	Report di fine attività del primo anno
		D2.3.6.7 [M18]	Protocolli di sintesi dei materiali ibridi porosi
		D2.3.6.8 [M18]	Protocolli di caratterizzazione multitecnica
		D2.3.6.9 [M18]	Lista dei building blocks e dei loro rapporti di combinazione
		D2.3.6.10 [M24]	Report sui meccanismi di assorbimento di idrogeno
		D2.3.6.11 [M24]	Report sulla sintesi di GRM, Mg/Fe, biomassa di partenza del CA, ghiaccio XVII e loro caratterizzazioni, inclusi i materiali commerciali di riferimento
		D2.3.6.12 [M24]	Divulgazione dei risultati scientifici ottenuti in convegni nazionali e/o Internazionali
		D2.3.6.13 [M24]	Report di fine attività secondo anno
		D2.3.6.14 [M30]	Protocolli di processazione in strutture 2D-3D porose
		D2.3.6.15 [M33]	Protocolli di caratterizzazione multitecnica

		D2.3.6.16 [M33] Lista dei building blocks, dei loro rapporti di combinazione e delle tecniche di processazione utilizzate D2.3.6.17 [M33] Report sull'implementazione di workflow data-driven ed integrazione tra dati di simulazione e sperimentali D2.3.6.18 [M33] Report sulle sintesi complete della lega Mg/Fe, CA/catalizzatore, clatrati sII e filled ice nella fase CO e loro caratterizzazioni D2.3.6.19 [M33] Realizzazione di pubblicazioni scientifiche su riviste scientifiche internazionali peer-reviewed D2.3.6.20 [M33] Report di fine attività del terzo anno D2.3.6.21 [M39] Protocolli di processazione in strutture 2D-3D porose D2.3.6.22 [M39] Protocolli di caratterizzazione multitecnica D2.3.6.23 [M42] Lista dei building blocks D2.3.6.24 [M42] Report su correlazioni struttura-proprietà da dati integrati D2.3.6.25 [M42] Report sulle sintesi di GRM/Pd o GRM/Pt, MOF/GRM/Pd o MOF/GRM/Pt e di ghiaccio XVII in geometria confinata e caratterizzazioni chimico-fisiche e test di ass/des idrogeno su tutti i materiali sviluppati D2.3.6.26 [M42] Divulgazione dei risultati scientifici ottenuti in convegni nazionali e/o Internazionali D2.3.6.27 [M42] Realizzazione di pubblicazioni scientifiche su riviste scientifiche internazionali peer-reviewed D2.3.6.28 [M42] Report di fine progetto
WP 2.3 – LA 2.3.7 Sviluppo di nuovi materiali e soluzioni per accumulo di idrogeno compresso TRL 2-4	ENEA	D.2.3.7.1 [M12] Rapporto Tecnico “Materiali e relative tecnologie e processi produttivi, per la realizzazione di un serbatoio per idrogeno ad alta pressione” D.2.3.7.2 [M24] Rapporto Tecnico “Verifica progettuale del serbatoio, con particolare attenzione alle analisi numeriche condotte per la definizione delle sue caratteristiche geometriche” D.2.3.7.3 [M36] Rapporto Tecnico “Sviluppo di elementi prototipali e loro caratterizzazione” D.2.3.7.4 [M42] Prototipo di serbatoio
WP 2.3 – LA 2.3.8 Sviluppo di soluzioni innovative per serbatoi di accumulo di idrogeno basati su idruri metallici TRL 3-4	ENEA	D2.3.8.1 [M12] Rapporto Tecnico “Requisiti dei sistemi di stoccaggio idrogeno” D2.3.8.2 [M24] Rapporto Tecnico “Validazione numerica del sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive” D2.3.8.3 [M36] Rapporto Tecnico “Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni stazionarie” D2.3.8.4 [M36] Rapporto Tecnico “Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni a bordo di navi” D2.3.8.5 [M42] Rapporto Tecnico “Validazione sperimentale del sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive”
WP2.4 - Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo (n° 2 LA) TRL 3-5	ENEA	

WP 2.4 – LA 2.4.1 Studio e ottimizzazione tecnico-economica del dimensionamento e dell'esercizio dei principali componenti di stazioni di rifornimento a idrogeno TRL 3-5	ENEA	D.2.4.1.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Mappatura dei casi studio relativi a diverse configurazioni delle HRS e identificazione dei principali requisiti funzionali”
		D.2.4.1.2 [M36]	Rapporto Tecnico “Messa a punto e sviluppo del software/tool di dimensionamento ottimale dei componenti della HRS”
		D.2.4.1.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Messa a punto e sviluppo del software/tool per l’ottimizzazione della fase di esercizio della HRS”
		D.2.4.1.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Risultati dei modelli di ottimizzazione e sugli indicatori di performance”
WP 2.4– LA 2.4.2 Studio e sviluppo di modelli di ottimizzazione di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS) alimentate da fonti rinnovabili on-grid e off-grid o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel) TRL 3-5	ENEA	D.2.4.2.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Selezione dei componenti per la produzione, la compressione e lo stoccaggio d’idrogeno”
		D.2.4.2.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Definizione delle diverse configurazioni impiantistiche con le quali realizzare stazioni di rifornimento, in base alla fonte rinnovabile (o ai feedstock alternativi), alla capacità della stazione e al tipo di collegamento con la rete”
		D.2.4.2.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Sviluppo dei modelli numerici e sui risultati ottenuti in termini prestazioni energetiche”
		D.2.4.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Risultati dell’analisi tecnico-economica ed ambientale per le configurazioni ottimali individuate”
WP2.5 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali (n° 7 LA) TRL 2-5	ENEA		
WP2.5 – LA2.5.1 Modellazione matematica e numerica di misuratori per miscele di gas naturale ed idrogeno TRL 3-5	ENEA	D2.5.1.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Sviluppo di un modello matematico e numerico per la determinazione delle proprietà delle miscele di gas naturale ed idrogeno
		D2.5.1.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Sviluppo di un modello matematico e numerico di misuratori utilizzati nelle reti di trasporto e distribuzione del gas”
		D2.5.1.3 [M36]	Rapporto Tecnico “Validazione sperimentale del modello matematico e numerico sui misuratori di gas per miscele H2/GN)”
		D2.5.1.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Ottimizzazione numerica delle condizioni di funzionamento di un misuratore del gas”
		D2.5.1.5 [M42]	Progettazione di un prototipo di sistema di misura della portata di una miscela di H2/GN
WP2.5 - LA 2.5.2 Metodologie e Protocolli di caratterizzazione e calibrazione per sensori di gas per il sistema idrogeno TRL 2-5	ENEA	D.2.5.2.1 [M42]	Impianto Prototipo per la caratterizzazione di sistemi sensori di Gas che possono essere impiegati nella filiera dell’Idrogeno. Per sistemi sensori si intende sia il sensore commerciale che una matrice di sensori (centralina) che sistemi o materiali prototipali innovativi sviluppati sia da ENEA che da partner esterni

		D.2.5.2.2 [M42]	Rapporto Tecnico “Caratterizzazione di sistemi sensori di Gas per l’idrogeno in ambiente controllato e progettazione di protocolli di misura specifici per la valutazione metrologica delle prestazioni del sistema sensore”
WP2.5 – LA2.5.3 Definizione di procedure sperimentali per la qualifica delle caratteristiche e prestazioni di e-fuels TRL 2-3	ENEA	D2.5.3.1 [M12] M2.5.3.2 [M24] M2.5.3.3 [M36] M2.5.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Principali caratteristiche e performance degli e-fuels” Rapporto Tecnico “Norme e metodiche per la definizione delle caratteristiche di qualità e di prestazione degli e-fuels” Rapporto Tecnico “Protocolli di analisi e procedure di test per la valutazione di qualità degli e-fuels” Rapporto Tecnico “Caratteristiche e specifiche tecniche degli e-fuels necessarie per implementare modelli di emulazione dell’utilizzo dei combustibili green su scala reale”
WP2.5 - LA2.5.4 Protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi per processi power-to-gas, sistemi catalitici e fotocatalitici di conversione dell’idrogeno in carrier liquidi organici e a base azotata, processi biologici e stoccaggio in materiali solidi con relativa validazione in laboratorio TRL 2-4	CNR	D2.5.4.1 [M6] D2.5.4.2 [M12] D2.5.4.3 [M15] D2.5.4.4 [M21] D2.5.4.5 [M30] D2.5.4.6 [M36] D2.5.4.7 [M39] D2.5.4.8 [M42]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per materiali funzionali per processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi Validazione dei protocolli per materiali funzionali per processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per componenti utilizzati in processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi Validazione dei protocolli dei componenti utilizzati in processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per prototipi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche Validazione dei prototipi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per sistemi completi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche Validazione di sistemi completi utilizzati nei processi di accumulo e conversione di idrogeno verde in carrier liquidi e gassosi per applicazioni specifiche
WP2.5 – LA 2.5.5 Analisi di sostenibilità di tecnologie e processi per il trasporto e l’accumulo dell’idrogeno e dell’integrazione delle tecnologie dell’idrogeno nell’operazione della rete elettrica per P2G ed e-fuels TRL 3-5	ENEA	D2.5.5.1 [M12] D2.5.5.2 [M24] D2.5.5.3 [M24] D2.5.5.4 [M36] D2.5.5.5 [M36]	Rapporto Tecnico “Definizione dell’approccio metodologico da adottare per LCA, SLCA e valutazione economica e realizzazione suite modellistica, con riferimento a sistemi e tecnologie afferenti alla filiera del trasporto, distribuzione e accumulo di idrogeno” Rapporto Tecnico “Validazione della metodologia e della suite informatica, risultati preliminari con riferimento a sistemi e tecnologie afferenti alla filiera del trasporto, distribuzione e accumulo di idrogeno” Rapporto Tecnico “Modello preliminare del dispacciamento del sistema elettrico” Rapporto Tecnico “Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di trasporto e accumulo di idrogeno” Rapporto Tecnico “Analisi e valutazione dei potenziali di efuel e P2G”

		D2.5.5.6 [M42]	Rapporto Tecnico "Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di trasporto e accumulo di idrogeno, sintesi dei risultati in conclusioni e raccomandazioni"
		D2.5.5.7 [M42]	Rapporto Tecnico "Modello rete elettrica, potenziali e impatti di efuels e PTG"
WP2.5 – LA 2.5.6 Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno. Organizzazione di Summer School tematiche TRL n.a.	ENEA	D2.5.6.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 1° anno"
		D2.5.6.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 2° anno"
		D2.5.6.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 3° anno"
		D2.5.6.4 [M42]	Rapporto Tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sui temi del trasporto e accumulo di idrogeno"
WP2.5 - LA2.5.7 Sviluppo di programmi di formazione per portare ad una filiera integrata di competenze e per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore dell'accumulo di idrogeno TRL n.a.	CNR	D2.5.7.1 [M12]	Relazione sui contratti per dottorati industriali o assegnisti
		D2.5.7.2 [M12]	Relazione riguardo le nozioni di base e specifiche su accumulo di idrogeno verde fornite ai formandi
		D2.5.7.3 [M24]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per diplomati in materie tecnico scientifiche ed economiche
		D2.5.7.4 [M24]	Relazione sul coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche per l'accumulo di idrogeno verde a partire da processi elettrochimici, catalitici etc.
		D2.5.7.5 [M36]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per laureati e studenti di dottorati in materie tecnico scientifiche ed economiche
		D2.5.7.6 [M36]	Relazione sulla prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
		D2.5.7.7 [M42]	Relazione sulla prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative per l'accumulo di idrogeno verde.
		D2.5.7.8 [M42]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per personale del settore privato

L'Obiettivo 3 è costituito da 5 WPs e 27 LA.

I WPs sono articolati come di seguito descritto:

- WP3.1 (che conta 7 LA) riguarda la ricerca e lo sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, con l'obiettivo di migliorarne le prestazioni e ridurre i costi anche attraverso l'aumento dei volumi produttivi, l'ottimizzazione e l'automatizzazione dei processi, nonché la riduzione dei costi dei componenti.
Principali argomenti trattati: membrane a conduzione protonica ad alta temperatura; rivestimenti in acciaio e leghe per celle a combustibile a scambio protonico; elettrocatalizzatori/elettrodi (metalli, leghe metalliche, basso contenuto di metalli preziosi); celle a combustibile di tipo PEMFC e AEMFC (ingegneria degli stacks, balance of plant, modularità); membrane innovative.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 4.
- WP3.2 (che conta 3 LA) svolge attività di ricerca e sviluppo di soluzioni avanzate di celle reversibili basate su conduttori ionici e protonici, valorizzando la versatilità delle applicazioni in cui tale tecnologia può essere sfruttata principalmente grazie alle alte efficienze di conversione elettrochimica e all'ampia gamma di condizioni operative garantite dalla tipologia di materiali e dalle elevate temperature di esercizio.
Principali argomenti trattati: celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC) a conduzione protonica (nuovi materiali); cella reversibile completa (rSOC) (nuovi materiali); celle reversibili polimeriche (PEM e AEM) (elettrodi e membrane).
TRL iniziale: 2, TRL finale: 4.
- WP3.3 (che conta 7 LA) è incentrato nella ricerca e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione con l'obiettivo di ridurre i costi attraverso l'aumento dei volumi produttivi, l'ottimizzazione e l'automatizzazione dei processi, ma soprattutto lo sviluppo di stack e moduli con prestazioni migliori.
Principali argomenti trattati: soluzioni modulari a base di PEMFC per il trasporto pesante; soluzioni ibride a base di PEMFC per applicazioni off-road e di logistica; modelli e diagnostica per la valutazione delle prestazioni; SOFC e PEMFC a idrogeno o a carrier alternativi (ammoniaca, LOHC, glicole etilenico) per il settore marittimo, ferroviario e aereo; celle a combustibile per applicazioni onboard e in aree portuali.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 4.
- WP3.4 (che conta 4 LA) intende ricercare e sviluppare componenti e sistemi di celle a combustibile alimentate con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionali, per applicazioni stazionarie e per comunità energetiche locali.
Principali argomenti trattati: utilizzo di miscele di gas contenenti idrogeno in SOFC (studio del degrado, stack innovativi); integrazione di celle a combustibile e accumulo di idrogeno in sistemi energetici locali; sicurezza.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 4.

- WP3.5 (che conta 6 LA) si pone l'obiettivo di studiare possibili soluzioni per il superamento di alcune delle barriere non tecnologiche, mettendo a fattor comune infrastrutture e laboratori di ricerca per la conduzione di attività sperimentali di tipo pre-normativo, per la definizione di standard, metodologie e linee guida, per il test e la validazione di tecnologie e sistemi innovativi di celle a combustibile, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali.

Principali argomenti trattati: testing-hub per SOFC e celle a combustibile di tipo PEM; protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali, componenti e dispositivi; validazione sperimentale in laboratorio; analisi di sostenibilità; formazione e Summer School.

TRL iniziale: 2, TRL finale: 4.

WP3.1 - Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Obiettivi:

La strategia delineata nel Next Generation EU Recovery Package ha definito specifiche linee programmatiche per la ricerca e l'innovazione, per la creazione e la regolamentazione del mercato dei sistemi energetici a idrogeno. Nello specifico la strategia europea assicura importanti investimenti, prevedendo l'installazione di 6 GW di elettrolizzatori per la produzione di 1 milione di tonnellate/anno di idrogeno rinnovabile entro il 2024, l'installazione di 40 GW di elettrolizzatori per la produzione di 10 milioni di tonnellate/anno di idrogeno entro il 2030.

Gli importanti investimenti per la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili impongono anche di creare e/o potenziare un'industria europea capace di costruire celle a combustibile con potenzialità e prestazioni adeguate a soddisfare la crescente domanda di energia pulita e verde, in tutti i settori applicativi stazionari e mobili. La produzione e l'accumulo di energia elettrica per impianti stazionari, veicoli, aerei, treni e navi richiedono lo sviluppo di moduli di potenza elevata e la messa a punto di tecnologie innovative per componenti, stack e moduli al fine di garantirne la stabilità, affidabilità e durabilità delle prestazioni in tutte le condizioni operative.

La sfida più urgente per entrambe le tecnologie è, oggi, quella di ridurre i costi attraverso l'aumento dei volumi produttivi e l'ottimizzazione e l'automatizzazione dei processi, nonché la riduzione dei costi dei componenti. A tal fine è necessario assicurare tecniche per ridurre l'uso e le quantità di materiali costosi (ad esempio metalli per catalizzatori o fibra di carbonio per i serbatoi), e sviluppare nuovi componenti più efficienti ed economici (ad esempio per incrementare la densità di potenza e la durabilità o migliorare la configurazione degli stack di celle).

WP3.1 – LA 3.1.1

Sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 450.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 455.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 270.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 220.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.395.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è orientata allo sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura da utilizzare come componenti di celle a combustibile. Ad oggi le celle a combustibile sono considerate una tecnologia consolidata; tali tecnologie utilizzano membrane a conduzione protonica che consentono una temperatura operativa limitata, al fine di garantire una corretta idratazione della membrana e una conducibilità adeguata.

Uno sviluppo necessario sarebbe quello di realizzare membrane a conduzione protonica in grado di lavorare a temperature prossime a quelle di ebollizione consentendo in tal modo di evitare l'umidificazione dei gas e semplificando così l'architettura di sistema. L'attività prevede la realizzazione di membrane ad alta temperatura basate su polimeri PBI e lo sviluppo di un impianto pilota per la produzione di tali membrane mediante elettrofilatura, con l'obiettivo di ridurre anche i costi di produzione.

Le nanofibre elettrofilate hanno un rapporto specifico tra superficie e volume molto elevato e i materiali fibrosi corrispondenti sono porosi con una buona interconnettività dei pori. Queste reti tridimensionali in nanofibra elettrofilata li rendono adatti all'uso come rinforzi per la preparazione di membrane composite impregnate con polielettroliti di vario genere. L'attività prevederà la preparazione di materiali compositi, utilizzando nanofibre di polielettroliti e una matrice di polielettroliti con caratteristiche adeguate ad ottenere membrane protoniche ad alta temperatura con adeguata conduttività, resistenza chimica, stabilità meccanica, resistenza alla permeazione dei gas. In particolare, strutture nano fibrose a base di polimeri (PBI, Teflon, etc) saranno preparate per electrospinning e attivate in modo da renderle conduttori protonici. A questo scopo verrà realizzata una struttura prototipale per l'elettrofilatura in grado di produrre questi materiali a partire da soluzioni di precursori secondo lo schema seguente:



La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con l'Università di Pisa, finalizzata alla messa a punto dei precursori necessari alla sintesi e alla caratterizzazione dei materiali sviluppati ed una collaborazione con l'Università degli Studi di Napoli Federico II, volta allo sviluppo di nuovi polimeri e additivi per la realizzazione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura. In particolare, le milestones previste sono di seguito descritte:

- | | |
|----------------|--|
| M3.1.1.1 [M12] | Screening e produzione di precursori (polimeri e solventi) con le caratteristiche adatte per i processi di elettrofilatura |
| M3.1.1.2 [M24] | Messa a punto processi di elettrofilatura |
| M3.1.1.3 [M36] | Produzione di membrane protoniche e testing caratteristiche chimico fisiche di base |

M3.1.1.4 [M42] Testing elettrochimico celle a combustibile. Analisi prestazioni e durata a temperature 100-120°C

Output:

D3.1.1.1 [M12] Rapporto tecnico "Produzione di precursori materiali polimerici per elettrofilatura"

D3.1.1.2 [M24] Rapporto tecnico "Processi di elettrofilatura membrane a conduzione protonica"

D3.1.1.3 [M36] Rapporto tecnico "Caratteristiche chimico fisiche di base membrane a conduzione protonica per alte temperature"

D3.1.1.4 [M42] Rapporto tecnico "Caratterizzazione elettrochimica celle a combustibile ad alta temperatura"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.1 – LA 3.1.2

Sviluppo di rivestimenti a base di carbonio mediante tecniche di deposizione chimica e fisica da fase vapore e spruzzatura al plasma per applicazione in piatti bipolari in acciaio, titanio o leghe di alluminio

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Maria Luisa Grilli

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 400.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 522.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 247.729,35

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.369.729,35

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo sviluppo di rivestimenti di piatti bipolari (*bipolar plate*, BPP) in acciaio, leghe di titanio e leghe di alluminio per celle a combustibile a membrana a scambio protonico. I BPP per celle a combustibile devono avere alcune proprietà essenziali, tra le quali buona conducibilità elettrica e soprattutto elevata resistenza alla corrosione nell'ambiente di lavoro in cui operano i componenti principali della cella. Tra i substrati per BPP, gli acciai rappresentano attualmente la scelta più economica, soprattutto in vista del futuro crescente utilizzo di celle a combustibile (in uno stack di celle erogante 100 kW necessario ad alimentare un autoveicolo sono contenuti circa 400 BPP). Sebbene alcuni tipi di acciaio posseggano una buona conducibilità elettrica, non hanno adeguate proprietà anticorrosione che ne garantiscano la durata a lungo termine sia in ambienti ossidanti sia riducenti, limitando pertanto il tempo di vita medio della cella. Un approccio promettente è quello di proteggere i substrati con rivestimenti a base di carbonio, che ha buona inerzia chimica, resistenza a corrosione e buone proprietà elettriche e meccaniche. Il carbonio è stato proposto recentemente come candidato per rivestimenti antiusura, sia in forma di grafite, di carbonio amorfo (a-C) e DLC (*Diamond Like Carbon*). Il carbonio fornisce all'acciaio inossidabile una buona resistenza alla corrosione permettendogli allo stesso tempo di mantenere una bassa resistenza elettrica (nel caso di grafite e a-C) non ottenibile con materiali anticorrosione a base di ossidi o nitruri che sono invece isolanti. Il DLC è notoriamente isolante, ma con accorgimenti opportuni si può rendere conduttore. In questa linea di attività verranno utilizzate tecniche di deposizione chimica da fase vapore (CVD), fisica da fase vapore (PVD) e spruzzatura al

plasma allo scopo di individuare i parametri di deposizione ottimali per la crescita di rivestimenti a base di carbonio su substrati di acciaio, leghe di Ti e di Al. In questa attività, verranno considerati rivestimenti di carbonio puro a strato singolo, multilayer o compositi, ottenuti mediante le seguenti tecniche di deposizione o mediante loro combinazione: *Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition* (PECVD), sputtering a radiofrequenza, *Plasma Electron Deposition* (PED) e *plasma spray*. La combinazione più adatta verrà selezionata in base alla valutazione delle seguenti caratteristiche del rivestimento: adesione al substrato, resistività, durezza, resistenza a corrosione e durata in condizioni operative (ambiente ossidante o riducente). I rivestimenti ottenuti verranno studiati anche in base alla resistenza alla corrosione chimica su dei particolari finiti valutandone anche il mantenimento dello stato di finitura superficiale. Infatti, uno dei problemi principali dei rivestimenti di BPP è quello di avere depositi protettivi omogenei su superfici già lavorate meccanicamente ed ottimamente adesi in tutte le parti. In caso si rendesse necessario, per favorire l'adesione del carbonio al substrato, verrà depositato un *seed layer* mediante PVD. La linea di attività proposta si aggancia alla LA 1.1.36 che prevede la realizzazione di un sistema di tipo plasma-spray commerciale su scala laboratorio-industriale, per la sintesi di nano-polveri e per il coating di superfici e di elettrodi, e alla LA.3.2.1 che prevede lo sviluppo di un impianto PED per la deposizione di elettroliti solidi per SOC supportate da anodo.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di rivestimenti di piatti bipolari in acciaio, leghe di titanio e leghe di alluminio per celle a combustibile a membrana a scambio protonico. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- M3.1.2.1 [M12] Studio dei parametri di deposizione e individuazione delle condizioni ottimali per la deposizione di rivestimenti a base di carbonio (strati singoli, multistrati, compositi) su substrati di acciaio, leghe di titanio e alluminio mediante sputtering a radiofrequenza e PECVD
- M3.1.2.2 [M18] Studio dei parametri di deposizione e individuazione delle condizioni ottimali per la deposizione di rivestimenti a base di carbonio su substrati di acciaio, leghe di titanio e alluminio mediante PED e *plasma spray*
- M3.1.2.3 [M24] Caratterizzazione dei rivestimenti ottenuti sui vari substrati mediante le diverse tecniche di deposizione: adesione al substrato, omogeneità del deposito e proprietà meccaniche
- M3.1.2.4 [M30] Caratterizzazione elettrochimica (test di corrosione e ICR (*interfacial contact resistance*)) dei rivestimenti depositati sui substrati di acciaio, leghe di titanio e leghe di alluminio. Individuazione della tecnica di deposizione migliore per la produzione di rivestimenti resistenti alla corrosione
- M3.1.2.5 [M36] Confronto delle caratteristiche elettrochimiche di celle ottenute con i substrati ottimizzati rivestiti in laboratorio e celle ottenute su substrati commerciali rivestiti
- M3.1.2.6 [M42] Integrazione delle piastre bipolari nei dispositivi celle a combustibile. Studio dell'efficienza e della durata delle celle. Valutazione di un possibile scale-up

Output:

- D3.1.2.1 [M12] Rapporto tecnico "Studio dei rivestimenti a base di carbonio: caratterizzazione chimico-fisica dei rivestimenti ottenuti mediante sputtering a radiofrequenza e PECVD"
- D3.1.2.2 [M24] Rapporto tecnico "Studio dei rivestimenti a base di carbonio ottenuti mediante plasma spray e PED: caratterizzazione elettrochimica dei

rivestimenti ottenuti con le varie tecniche di deposizione e confronto con i rivestimenti commerciali"

D3.1.2.3 [M42] Rapporto tecnico "Prestazioni e durabilità delle celle a combustibile con i piatti bipolari rivestiti in laboratorio"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.1 – LA 3.1.3

Sviluppo di elettrocatalizzatori basati su metalli e leghe di metalli M/C ad elevata area superficiale

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 420.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 450.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 215.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 140.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.225.000,00

Descrizione attività:

Questa linea di attività è finalizzata alla messa a punto di elettrocatalizzatori supportati su carboni ad elevata area superficiale, che consentano di superare i limiti attuali della tecnologia in termini di prestazioni (durata, resistenza agli inquinanti) e costi. Le principali azioni previste sono le seguenti: i) sviluppo di nuovi catalizzatori, basati su metalli non nobili supportati, in grado di promuovere le reazioni agli elettrodi in assenza di platino; ii) sviluppo di tecniche innovative per la deposizione tra cui quelle con laser ad impulsi (PLD, MAPLE), allo scopo di realizzare strati sottili di catalizzatore su opportune superfici (membrane, elettrodi).

La modalità di deposizione PLD ha il grande vantaggio di poter ottimizzare la quantità e le dimensioni particellari del catalizzatore, attraverso il controllo dei parametri che caratterizzano il laser (lunghezza d'onda, durata dell'impulso, fluenza) e alle condizioni di deposizione (preparazione del target, distanza target-substrato, irraggiamento selettivo del target, temperatura substrato, ecc.) che possono esser facilmente controllati e settati. La tecnica PLD classica prevede l'utilizzo di impulsi laser ripetuti ad alta energia della durata di qualche nanosecondo, focalizzati su di un target specifico. Ciò comporta l'evaporazione di atomi dalla superficie colpita che, in vuoto o a bassa pressione, possiedono un'energia cinetica adeguata a depositarsi su un substrato posto di fronte al target e parallelo ad esso. L'indiscusso vantaggio di tale tecnica risiede nel fatto che la stechiometria del target si conserva nel film depositato, permettendo l'ottenimento di film e strutture con eccellente aderenza al substrato, oltre a poter controllare la velocità di crescita del substrato e di produrre multi-layer e film drogati a seconda delle necessità.

Un'ulteriore tecnica di deposizione che si intende utilizzare è l'evaporazione mediante laser impulsato assistita da matrice (MAPLE) che permette un processo di ablazione laser più delicato. Nello specifico, l'interazione fra il laser e il materiale organico viene ridotta preparando un target ottenuto dissolvendo o sospendendo il materiale da depositare in un solvente volatile e ghiacciando la soluzione/sospensione risultante. Il solvente, in questo caso, assorbe la maggior parte della radiazione incidente evitando alterazioni fotochimiche indotte dal laser al materiale da depositare. In particolare, saranno sviluppate matrici da depositare sia in forma metallica, che sotto forma di inchiostro partendo da materiali meno pregiati e costosi rispetto al metallo puro, quali l'acido

esacloroplatinico. Tale reattivo sarà opportunamente ridotto usando strategie a basso impatto ambientale ed economiche, al fine di produrre agglomerati nanoparticellari, utili per la deposizione MAPLE. Inoltre, saranno sintetizzati e caratterizzati catalizzatori low-Pt e Pt-free per il processo ORR (Reazione Riduzione Ossigeno), basati su metalli non nobili supportati su carboni modificati da eteroatomi (N, S). Saranno utilizzati carboni nanostrutturati con un'elevata area superficiale e porosi da permettere una veloce diffusione dei gas. Tali obiettivi saranno perseguiti sviluppando ossidi inorganici sub-stechiometrici (per promuovere eventuali vacanze di ossigeno) a base di titanio, cerio e nickel da utilizzare come co-catalizzatori per il Pt nella catalisi di ORR, con l'obiettivo di minimizzare il contenuto di platino e ad aumentare l'efficienza del processo.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi di Napoli Federico II, finalizzata alla messa a punto delle metodiche di deposizione Laser più adatte ai diversi substrati; una collaborazione con l'Università di Roma La Sapienza, volta allo studio e sviluppo di catalizzatori PGM-free; una collaborazione con l'Università degli Studi di Napoli Parthenope, finalizzata all'ottimizzazione dei metodi di deposizione del platino su una matrice conduttiva, ed in particolare sulla formulazione ed ottimizzazione del sistema M/C, utilizzando differenti tipologie di carbon ink, e sperimentando miscele di metalli ad elevata attività catalitica con rapporti stechiometrici noti, in funzione dei diversi tipi di deposizione che saranno implementati con i diversi metodi descritti, con l'obiettivo di garantire le migliori performance dal punto di vista tecnologico economico ed ambientale per la produzione degli elettrodi per FC.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la messa a punto di elettrocatalizzatori supportati su carboni ad elevata area superficiale e ad elevate prestazioni. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.1.3.1 [M12]	Screening metodiche deposizione laser per deposizioni catalizzatori
M3.1.3.2 [M24]	Produzione di catalizzatori PGM-free per celle a combustibile ad elettrolita polimerico
M3.1.3.3 [M36]	Testing chimico fisico ed elettrochimico catalizzatori ed elettrodi
M3.1.3.4 [M42]	Testing elettrochimico celle a combustibile. Analisi prestazioni e durata a temperature

Output:

D3.1.3.1 [M12]	Rapporto tecnico "Produzione di catalizzatori per fuel cell via laser deposition"
D3.1.3.1 [M24]	Rapporto tecnico "Produzione di catalizzatori PGM-free per celle a combustibile"
D3.1.3.1 [M36]	Rapporto tecnico "Testing elettrochimico completo di catalizzatori ed elettrodi"
D3.1.3.1 [M42]	Rapporto tecnico "Testing elettrochimico completo celle a combustibile. Analisi prestazioni e durata"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.1 - LA 3.1.4

Gestione e validazione dell'ingegneria di stack di celle a combustibile a membrana polimerica

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Filippo Donato

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 142.087,22

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 488.180,91

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 372.546,91

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 215.182,22

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.217.997,26

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata alla gestione e validazione dell'ingegneria di stack di celle a combustibile a membrana polimerica mediante studi di modellistica, per garantire una corretta umidificazione e gestione della temperatura. Uno dei problemi nello sviluppo ed ottimizzazione di sistemi a celle a combustibile a membrana polimerica (PEMFC) è legato all'ingegneria di stack. Di particolare rilievo sono le problematiche legate ad una corretta geometria del flow-field (insieme di canali che veicola i gas), che deve essere tale da garantire una distribuzione uniforme dell'idrogeno all'anodo e dell'ossigeno al catodo in modo da evitare il formarsi di hot-spots che potrebbero danneggiare la cella.

L'acqua prodotta dalla reazione, che si forma al catodo ma che per fenomeni di crossover si trova in parte anche all'anodo, si mantiene sotto forma liquida per le PEMFC a bassa temperatura ma può trovarsi allo stato liquido anche con membrane ad alta temperatura se lo stack è esercito in pressione. È, pertanto, necessaria la rimozione dell'acqua generata per evitare allagamenti nello strato catalitico e nel GDL (Gas Diffusion Layer), al fine di prevenire tanto un effetto negativo sulle prestazioni, quanto il rischio di pregiudicare l'operatività del sistema.

I canali dentro i quali fluisce il gas vengono utilizzati per rimuovere l'acqua e fornire e distribuire reagenti al MEA; la parte di piatto tra un canale e l'altro è a contatto con il MEA ed ha l'importante funzione di trasportare la corrente prodotta e di trasferire il calore generato dalla reazione.

Lo scopo di questa linea di attività consiste nello sviluppare e validare modelli per la simulazione termica e fluidodinamica di stack al fine di poter progettare un flow field che ottimizzi gli aspetti descritti precedentemente. Si prenderanno a riferimento dei piatti per celle a combustibile con area attiva del MEA di 100 cm² e 400 cm². In particolare, le principali attività sono di seguito indicate:

- simulazione 3D fluidodinamica di una cella completa, tenendo conto di tutti i fenomeni coinvolti, quali la fluidodinamica nei canali anodici e catodici, l'influenza del flow-field, scambio termico, i flussi reagenti multicomponente e multifase, il flusso protonico locale, il flusso elettrico locale, il flusso di massa, il flusso elettrico in GDL tenendo conto del water management catodico;
- progettazione fluidodinamica del flow-field, tenendo in considerazione tipologia e geometria dei canali lato catodo e anodo, al variare delle principali condizioni operative lungo la curva di polarizzazione. Saranno prese in considerazione condizioni dead-end, ovvero a flusso passante con ricircolo, identificando il migliore compromesso tra densità di potenza ed efficienza globale della cella e dello stack;
- valutazione dell'efficacia dello scambio termico tra MEA e canali di raffreddamento dello stack. Si valuterà l'effetto del materiale considerato e del dimensionamento dei piatti bipolari sull'efficacia del trasporto di calore, in modo da impattare il meno possibile sul consumo energetico dovuto alla movimentazione del refrigerante. Sarà inoltre possibile valutare la differenza di temperatura tra MEA e refrigerante, in modo da poter valutare l'impatto sull'efficienza di conversione.

Per quel che concerne le geometrie del piatto, saranno valutate diverse soluzioni per la gestione della temperatura con sistemi di raffreddamento a liquido.

I dati provenienti dalle simulazioni fluidodinamiche saranno utilizzati anche per sviluppare un modello OD dello stack, che verrà poi integrato con il modello del BOP da sviluppare nella LA 3.1.5. Dopo una prima progettazione prototipale di stack, la geometria prodotta verrà realizzata sia con piatti metallici (LA 3.1.2) che con piatti in grafite e testata, in modo da raccogliere dati utili alla verifica dei codici di calcolo. La validazione verrà eseguita con dati sia in termini di prestazioni elettrochimiche che di gestione di umidità e calore.

A valle della validazione si provvederà a utilizzare gli strumenti numerici sviluppati, con l'obiettivo di migliorare ulteriormente le prestazioni ottenute.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze nella tematica di interesse, una collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata per il supporto alla definizione dei modelli CFD e alla progettazione dello stack.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la definizione, progettazione e realizzazione di stack prototipali di celle a combustibile a membrana polimerica. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.1.4.1 [M9]	Definizione specifiche dello stack
M3.1.4.2 [M18]	Progettazione geometria base di stack e dei relativi sistemi di gestione della temperatura e dell'umidità con caratterizzazione elettrochimica, meccanica e termofluidodinamica
M3.1.4.3 [M18]	Modello OD di simulazione stack tarato su risultati simulazioni 3D ed integrato con il modello del BOP realizzato in LA3.1.5
M3.1.4.4 [M18]	Definizione setup sperimentale per il testing dello stack
M3.1.4.5 [M21]	Componenti stack commissionati
M3.1.4.6 [M30]	Sistema pronto alla sperimentazione
M3.1.4.7 [M36]	Caratterizzazione sperimentale degli stack prodotti con piatto metallico e piatto in grafite e validazione dei modelli numerici
M3.1.4.8 [M42]	Verifica e simulazioni per ulteriore ottimizzazione delle geometrie testate

Output:

D3.1.4.1 [M12]	Rapporto tecnico "Definizione delle specifiche per stack di PEMFC ad alte prestazioni e validazione dell'approccio modellistico su geometria generale (zero-gradient)"
D3.1.4.2 [M24]	Rapporto tecnico "Progettazione geometria base di stack PEMFC e dei relativi sistemi di gestione della temperatura e dell'umidità con caratterizzazione elettrochimica, meccanica e termo-fluidodinamica"
D3.1.4.3 [M36]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale di stack PEMFC realizzati con piatto metallico e piatto in grafite e validazione della modellazione numerica di progetto"
D3.1.4.4 [M42]	Rapporto tecnico "Ottimizzazione mediante simulazione numerica di stack PEMFC a valle della sperimentazione su geometria prototipale"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.1 - LA 3.1.5

Sviluppo del Balance of Plant per sistemi basati su celle a combustibile a membrana polimerica

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 179.517,18

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 196.845,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 298.282,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 149.483,53

Costo totale LA (escluse spese generali): € 824.127,71

Descrizione attività:

La presente linea di attività è orientata allo sviluppo di un modello dedicato alla simulazione del Balance of Plant (BoP) di moduli basati su celle a combustibile a membrana polimerica.

Sebbene lo stack sia indiscutibilmente il componente principale e più rilevante del sistema caratterizzato dalla tecnologia delle celle a combustibile, l'importanza degli altri sottosistemi, generalmente indicati come BoP, è significativamente aumentata nel tempo. A tal riguardo basta prendere in considerazione le stime dell'incidenza del costo dello stack di celle a combustibile a membrana polimerica sul costo totale del sistema, per i veicoli leggeri ed alti volumi di produzione in relazione alla loro evoluzione negli ultimi anni. Nel 2016 il Department of Energy (DOE) statunitense stimava l'incidenza del costo dello stack sul costo totale del sistema pari a circa il 52%. La stessa stima effettuata nel 2020 all'interno del Hydrogen and Fuel Cells Program finanziato dal DOE si ferma al 41%. Tale stima è molto rilevante se si considera che la configurazione di riferimento prevede ora l'utilizzo di membrane ad alta temperatura, che non necessitano l'umidificazione dei gas in afflusso. Questo porta ovviamente ad una semplificazione del BoP e maggiori prestazioni richieste alla membrana.

Questo risultato riflette da una parte gli sforzi di ricerca e sviluppo effettuati con riferimento al componente meno maturo, ma anche la sua maggiore sensibilità alle economie di scala. Per volumi di produzione di nicchia, l'incidenza dello stack può facilmente superare il 70%.

Inoltre, ci sono implicazioni direttamente tecnologiche che sottolineano l'importanza di investire nella ricerca e sviluppo del BOP, che deve essere progettato in modo da limitare più possibile l'afflusso di contaminanti verso lo stack. Questo è, infatti, un aspetto chiave nel dimensionamento del sistema: più è alta la contaminazione dello stack, maggiore è il tasso di decadimento delle sue prestazioni. Tale aspetto porta come conseguenza un sovradimensionamento iniziale necessario a garantire le prestazioni ottimali fino a fine vita.

La progettazione e la scelta dei materiali per il BoP ed un corretto sistema di monitoraggio e controllo risultano, quindi, di grande rilevanza per tutto il sistema.

Il BOP si compone di un sistema di adduzione aria, un circuito combustibile, sistemi di raffreddamento, un sistema di monitoraggio e controllo e, per membrane a bassa temperatura, un sistema di umidificazione. Tra questi, il sistema di adduzione aria è considerato il sottosistema che maggiormente incide sul costo finale.

Per tutto ciò già evidenziato, è di particolare importanza poter mettere in correlazione le prestazioni dello stack con il comportamento dei sottosistemi elencati.

La presente linea di attività prevede lo sviluppo di un modello dedicato alla simulazione del BoP degli stack che verranno realizzati nella LA 3.1.4. Questo permetterà di interpretare al meglio le prestazioni del sistema realizzato. Inoltre, tale modello sarà utilizzato anche per individuare le specifiche del sistema di controllo da realizzare.

Il modello sviluppato in tale linea di attività dovrà interfacciarsi con il modello OD sviluppato per lo stack all'interno della LA 3.1.4, in modo da poter simulare il sistema completo.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con il Politecnico di Milano per il supporto alla definizione del modello di simulazione del modulo basato su celle a combustibile a

membrana polimerica, comprendente tutto il BoP ed una collaborazione con l'Università degli Studi di Napoli Federico II per il supporto alla progettazione e implementazione del sistema di controllo del BoP.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la realizzazione di un modello completo per il BOP da integrare al modello OD sviluppato per lo stack. Questo modello sarà di supporto tanto alla progettazione del sistema di controllo quanto all'analisi dei risultati sperimentali del sistema realizzato, con particolare riferimento ai test di risposta dinamica. In particolare, i risultati attesi sono di seguito descritti:

M3.1.5.1 [M18]	Modello OD del BoP completato, validato su dati di letteratura ed integrato con il modello di stack realizzato in LA 3.1.4
M3.1.5.2 [M21]	Definizione dei requisiti del BoP, sistema di controllo e delle procedure di test di risposta dinamica
M3.1.5.3 [M24]	Componenti BoP e sistema di controllo commissionati
M3.1.5.4 [M30]	Sistema pronto alla sperimentazione
M3.1.5.5 [M36]	Validazione modello OD completo su dati sperimentali per punti di progetto
M3.1.5.6 [M42]	Validazione modello OD completo su dati sperimentali di test di risposta dinamica

Output:

D3.1.5.1 [M24]	Rapporto tecnico "Sviluppo di un modello per la simulazione numerica di sistemi basati su celle a combustibili a membrana polimerica"
D3.1.5.2 [M42]	Rapporto tecnico "Validazione del modello per la simulazione numerica di sistemi a celle a combustibili a membrana polimerica su dati sperimentali a punto fisso e modelli di risposta dinamica"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.1 - LA 3.1.6

Sviluppo di componenti innovativi quali elettrodi con basso o assente contenuto di metalli preziosi e membrane avanzate per celle a combustibile polimeriche con elettrolita protonico ed anionico

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Irene Gatto

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 136.306,62

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 254.296,80

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 203.153,80

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 86.242,78

Costo totale LA (escluse spese generali): € 680.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è orientata allo sviluppo di celle a combustibile sia a membrana protonica (PEMFC) che anionica (AEMFC) e procederà con la sintesi, la caratterizzazione avanzata ed il modeling computazionale di membrane a scambio anionico ed elettrocatalizzatori (EC) di (riduzione di ossigeno) ORR e (ossidazione di idrogeno) HOR. Nella prima fase dell'attività, i due

componenti saranno sviluppati in parallelo, mentre nella seconda fase, i materiali sviluppati saranno testati in laboratorio in un dispositivo prototipale.

Verranno sviluppate membrane polimeriche a scambio anionico e/o in forma di gel, basate su liquidi ionici e polimeri altamente stabili che verranno selezionati in base alle loro performance e testati attraverso il modeling del trasporto anionico. Di tali membrane sarà eseguita un'analisi delle proprietà termiche e meccaniche, e della conduttività anionica, in particolare di OH⁻. La sintesi e la caratterizzazione di EC per l'ORR sarà indirizzata su materiali a base di (i) singoli atomi di Fe supportati su matrice carboniosa dopata con azoto e/o altri eteroatomi, (ii) leghe AgX e FeX (X = Co, Ni, Cu, Sn). La caratterizzazione sarà eseguita con tecniche HR-TEM, SEM, XRD, XPS, CV ecc. Verrà messo a punto un approccio computazionale multi-scala che sfrutterà protocolli di crescita basati su dinamiche reattive, previa messa a punto di un opportuno campo di forza; le prime esplorazioni verteranno sullo studio della struttura delle matrici carboniose utilizzate agli elettrodi, in funzione delle condizioni sperimentali di sintesi e della distribuzione e tendenza alla clusterizzazione degli atomi metallici.

In seguito, si procederà all'ottimizzazione della resistenza termica, chimica, meccanica e della conduttività anionica delle membrane. Verrà eseguito uno studio del trasporto di gas (O₂, H₂) per valutare il potenziale cross-over e verranno eseguiti test di performance utilizzando catalizzatori ed elettrodi commerciali. Sul fronte degli EC per la HOR, verranno sviluppati materiali a base di (i) singolo atomo di Pd e Ni supportato su matrice carboniosa dopata con azoto o altri eteroatomi, (ii) ossidi misti (es. CeO₂). I meccanismi catalitici promossi da singolo atomo metallico verranno simulati mediante metodi da principi primi al fine di individuare i sistemi più performanti e di ricavare regole generali di correlazione struttura/proprietà.

Nella seconda fase dell'attività, la ricerca si focalizzerà sullo studio di polimeri e/o liquidi ionici ancora più stabili/performanti e sull'ottimizzazione delle procedure di preparazione delle membrane. Verrà eseguito uno studio dell'effetto della presenza di CO₂ sulla formazione di carbonati ed una valutazione della stabilità. Saranno eseguiti i primi test in cella singola, con gli EC sviluppati nel progetto, ottimizzando prima, l'ink catalitico e poi realizzando dei MEA con due diversi approcci: CCM (applicazione dei EC direttamente sui lati della membrana) e CCS (applicazione dei EC direttamente sul GDL, Gas Diffusion Layer). Da un punto di vista modellistico, si effettuerà lo studio dei materiali catalitici per ORR per individuare candidati alternativi ai singoli atomi metallici in matrice. Verranno investigate nanoleghe metalliche, mirando all'individuazione dei siti di nucleazione e crescita, e all'ottimizzazione delle performance in funzione della composizione e dell'ordinamento chimico.

Infine, saranno investigati materiali innovativi quali membrane basate su polimeri di microporosità intrinseca (PIMs) o liquidi ionici polimerici (PILs), che potrebbero avere una più elevata conduttività anionica. Dei materiali più performanti sarà investigata la stabilità, così come la procedura ottimale per l'applicazione dello strato catalitico. Si procederà quindi al test in un dispositivo prototipale, dei migliori materiali sviluppati. Saranno monitorati i parametri di prestazione, densità di potenza e stabilità a potenza costante. Di tutti i materiali verrà eseguita un'analisi post test di degradazione.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la realizzazione di membrane e catalizzatori più performanti rispetto allo stato dell'arte. Nella prima fase di attività verranno raggiunti i seguenti risultati: sintetizzati catalizzatori catodici (ORR) per celle polimeriche con membrana a scambio protonico (PEM) e anionico (AEM); sviluppate membrane polimeriche a scambio anionico; messa a punto un approccio computazionale e modelling multi-scala; sintetizzati catalizzatori anodici (HOR) per celle con membrana a scambio anionico (AEM) e catalizzatori catodici (ORR) per celle con membrana a scambio cationico (PEM); identificati i meccanismi di ORR basati su

singolo atomo metallico in funzione della struttura dell'intorno. Nella seconda fase di attività, verranno raggiunti i seguenti risultati: preparati MEA utilizzando i catalizzatori anodici e catodici e le membrane sviluppati nel progetto; individuati i meccanismi e analizzata la performance dei meccanismi di ORR e HOR; testati MEA in celle a combustibile con H_2/O_2 e H_2/air (CO_2 free). In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.1.6.1 [M3]	Screening iniziale della letteratura scientifica sui materiali più promettenti per membrane AEM e catalizzatori per l'ORR
M3.1.6.2 [M3]	Sintesi di materiali di prima generazione non PGM per l'ORR. Sintesi di materiali AEM di prima generazione
M3.1.6.3 [M9]	Caratterizzazione completa dei materiali (chimico-fisica ed elettrochimica)
M3.1.6.4 [M12]	Mass Activity ORR ECs 0,05 A/mgEC @ 0.9 V vs. RHE (25 °C KOH O_2 sat. 0.1 M RRDE 1.600 rpm)
M3.1.6.5 [M12]	Messa a punto del protocollo multi-scala e della determinazione della struttura su scala nanometrica della matrice carboniosa in funzione delle condizioni di sintesi
M3.1.6.6 [M12]	Determinazione a livello atomistico la distribuzione e clusterizzazione degli atomi metallici in matrice
M3.1.6.7 [M15]	Sintesi di materiali di prima generazione per l'HOR (AEM) e ORR (PEM)
M3.1.6.8 [M18]	Caratterizzazione completa dei materiali (chimico-fisica ed elettrochimica)
M3.1.6.9 [M24]	Mass Activity HOR Corrente di scambio > 50 A/gPGM KOH 0,1 M RRDE 1.600 rpm
M3.1.6.10 [M24]	Catalizzatori con potenziali di onset ed a metà dell'onda ($E_{1/2}$) per ORR in RDE maggiori di 0,85 V e 0,7 V, rispettivamente, in ambiente acido
M3.1.6.11 [M30]	MEAs ottimizzati con L-PGM $P_{max} > 400$ mW cm^{-2} , Stabilità per 100 h
M3.1.6.12 [M36]	Individuati i meccanismi e analizzata la performance dei meccanismi di ORR promossi da piccoli cluster AgX e FeX ($X = Co, Ni, Cu, Sn$) in funzione della taglia/composizione/ordinamento chimico
M3.1.6.13 [M42]	Temperatura operativa / 80 °C, Carico di PGM / < 0,2 mg cm^{-2} ; Durabilità in condizioni operative stazionarie / h 500; Picco di densità di potenza (EC contenenti PGM) 2 kW·gPGM ⁻¹ ; Picco di densità di potenza ("PGM-free") / 0,2 W cm^{-2}

Output:

D3.1.6.1 [M12]	Rapporto tecnico "Sviluppo di una prima serie di membrane a scambio anionico"
D3.1.6.2 [M12]	Rapporto tecnico "Prima formulazione di catalizzatori non-PGM per ORR e loro caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica"
D3.1.6.3 [M12]	Rapporto tecnico "Determinazione della morfologia della matrice carboniosa dei catalizzatori"
D3.1.6.4 [M24]	Rapporto tecnico "Sviluppo di una seconda generazione di membrane a scambio anionico con più elevata conduttività"
D3.1.6.5 [M24]	Rapporto tecnico "Seconda formulazione di catalizzatori non-PGM per ORR e loro caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica"
D3.1.6.6 [M24]	Rapporto tecnico "Struttura atomistica dei migliori catalizzatori per ORR e HOR e delucidazione del meccanismo catalitico"
D3.1.6.7 [M36]	Rapporto tecnico "Sviluppo di una terza generazione di membrane a scambio anionico con più elevate conduttività"

- D3.1.6.8 [M36] Rapporto tecnico "Preparativa degli elettrodi e MEA ottimizzati e test in celle combustibile"
- D3.1.6.9 [M36] Rapporto tecnico "Individuazione di un candidato per ORR basato su nanolega e sua caratterizzazione: struttura del cluster, ordinamento chimico, meccanismo catalitico"
- D3.1.6.10 [M42] Rapporto tecnico "Sviluppo di una quarta generazione di membrane a scambio anionico con apposito strato catalitico (depositato sulla superficie) oppure predisposto per il montaggio tra due elettrodi esterni"
- D3.1.6.11 [M42] Rapporto tecnico "Prestazioni e stabilità dei MEA innovativi sviluppati in celle a combustibile"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.1 - LA 3.1.7

Sviluppo di nuove architetture di stack di celle a combustibile di tipo PEM ed AEM con elevata modularità

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Orazio Barbera

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 55.950,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 73.200,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 119.100,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 71.750,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 320.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è orientata allo sviluppo di nuove architetture di stack di celle a combustibile sia a membrana protonica (PEMFC) che anionica (AEMFC), ed in particolare sullo sviluppo di soluzioni modulari. La potenza degli stack, infatti, sarà scalabile con intervalli più piccoli rispetto allo stato dell'arte, (0,25 - 0,5 kW). In questo modo i sistemi avranno una maggiore scalabilità rispetto a mercato e stato dell'arte e i produttori potranno ampliare l'offerta. Gli stack innovativi saranno definiti ad "alta modularità". L'attività riguarderà lo sviluppo di un'architettura di stack utilizzando componenti commerciali, come il MEA.

Inizialmente, saranno identificate il maggior numero possibile di pubblicazioni e brevetti sulle attuali architetture di stack attraverso i principali siti web. Attraverso un'analisi di mercato, saranno individuati i principali attori e si avrà contezza di quanto disponibile in termini di potenza e scalabilità. Si analizzeranno i dati raccolti per verificare come le architetture individuate si pongono rispetto all'"alta modularità". Dall'analisi si verificherà se l'intervallo proposto è da modificare, su quali materiali puntare e quali tecniche di manifattura adottare.

Le conoscenze acquisite contribuiranno a selezionare i parametri fondamentali di sviluppo dello stack e almeno due differenti architetture ad "alta modularità". Il nuovo concetto prevedrà lo sviluppo di monocelle – modulo di piccola potenza (25 – 50 W) e area attiva (25 – 50 cm²) assemblabili tra loro, ottenendo celle ad area attiva scalabile. La modularità, quindi, sarà trasversale (piano dell'area attiva) e longitudinale (asse dello stack) con estrema scalabilità della potenza. Sarà posta attenzione alle modalità di assemblaggio e all'eventuale impiego di materiali a basso costo/riciclabili.

Fissati i “concept” dei dispositivi, se ne dimensioneranno le parti. Si valuteranno materiali alternativi a grafite e metallo per i piatti bipolari e modalità di manifattura e di assemblaggio delle parti. Si definirà una metodica che consenta, date le dimensioni del piatto bipolare, di stabilire il limite superiore di potenza per il quale può essere impiegata la stessa geometria senza malfunzionamenti. I materiali scelti determineranno le modalità di manifattura; le parti saranno prodotte sia per asportazione di truciolo sia per manifattura additiva. Si individuerà la modalità più opportuna per assemblare i moduli di piccola area e gli stack ad “alta modularità”.

I test dei prototipi saranno meccanici ed elettrochimici. Si valuterà la bontà delle soluzioni costruttive adottate, utilizzando i metodi più opportuni di caratterizzazione. Saranno condotti test elettrochimici di polarizzazione e stabilità secondo protocolli prestabiliti. Terminati i test, si verificherà l'integrità dei componenti.

I dati dei test serviranno ad un'analisi critica dei risultati e un confronto tra i prototipi sviluppati e tra questi ultimi e quanto offerto in letteratura/brevetti/mercato. L'analisi si concentrerà sul confronto delle prestazioni raggiunte e sulle qualità meccaniche dei componenti assemblati/costruiti con tecniche innovative (incollaggi, stampa 3D) e/o tradizionali.

Saranno simulati i costi della produzione in larga scala dei prototipi sviluppati, individuando anche possibili migliorie tecnologiche per il passaggio al livello commerciale. Si utilizzeranno modelli che includono: tecnologia di produzione, investimento iniziale, volumi di vendita e tempo di ritorno dell'investimento. I dati ottenuti dall'analisi post – test e dall'analisi economica permetteranno di valutare l'architettura più idonea al mercato. Si implementerà un apposito algoritmo, per avere un risultato di tipo oggettivo (es. trade-off analysis).

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di nuove architetture di stack di celle a combustibile sia a membrana protonica (PEMFC) che anionica (AEMFC). In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.1.7.1 [M6]	Analisi dello stato dell'arte
M3.1.7.2 [M12]	Comparativa con il concetto proposto di alta modularità
M3.1.7.3 [M18]	Differenti approcci al concetto di modularità proposto anche mediante progettazione assistita al calcolatore, evidenziando punti di forza e di debolezza delle soluzioni previste
M3.1.7.4 [M24]	Selezione e progettazione della nuova architettura di stack proposta
M3.1.7.5 [M30]	Realizzati uno o più prototipi di monocelle-moduli al fine di assemblare uno short stack costituito da almeno 3 celle singole ad alta modularità, insieme con i relativi sottosistemi atti a realizzare un dispositivo idoneo ai test elettrochimici
M3.1.7.6 [M36]	Short stack funzionante in grado di erogare una potenza specifica pari almeno a 300 mW/cm ² , attraverso test non funzionali e funzionali, mirati a dimostrare la validità del concetto proposto
M3.1.7.7 [M42]	Identificazione di criticità e le strategie di superamento delle stesse, emerse durante le fasi di assemblaggio, manifattura e test dello short stack ad alta modularità
M3.1.7.8 [M42]	Verifica dell'applicabilità su scala di mercato delle soluzioni individuate e gli sviluppi futuri per la sua implementazione
M3.1.7.9 [M42]	Ottenimento dell'architettura ritenuta più idonea dalla combinazione delle precedenti analisi

Output:

D3.1.7.1 [M12]	Rapporto tecnico "Analisi della letteratura scientifica, brevettuale e di mercato"
D3.1.7.2 [M12]	Rapporto tecnico "Analisi architetture di stack attuali e confronto col concetto di Alta modularità"
D3.1.7.3 [M24]	Rapporto tecnico "Individuazione di nuove architetture per l'applicazione del concetto di Alta modularità"
D3.1.7.4 [M24]	Rapporto tecnico "Design di unità con differenti architetture ad Alta modularità"
D3.1.7.5 [M36]	Rapporto tecnico "Manifattura e assemblaggio dei prototipi"
D3.1.7.6 [M36]	Rapporto tecnico "Test dei prototipi"
D3.1.7.7 [M42]	Rapporto tecnico "Analisi critica post-test dei prototipi"
D3.1.7.8 [M42]	Rapporto tecnico "Analisi economica"
D3.1.7.9 [M42]	Rapporto tecnico "Individuazione dell'architettura ad Alta modularità più idonea"

TRL (inizio-fine): 2-4

**WP3.2 - Ricerca e sviluppo di soluzioni avanzate di celle reversibili
basate su conduttori ionici e protonici**

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Obiettivi:

In un contesto di grande fermento internazionale per la produzione sostenibile di energia, le celle ad ossidi solidi (Solid Oxide Cells, SOC) rappresentano senza dubbio una delle tecnologie su cui si sta puntando molto a livello scientifico, tecnologico e di mercato. Il rinnovato interesse per l'idrogeno come vettore energetico colloca questa tecnologia in una posizione cardine, soprattutto per via della versatilità delle applicazioni in cui può essere sfruttata, dovuta principalmente alle altissime efficienze di conversione elettrochimica e all'ampia gamma di condizioni operative garantite dalla tipologia di materiali e dalle elevate temperature di esercizio.

Nel caso della generazione distribuita di potenza, le celle a combustibile ad ossidi solidi (Solid Oxide Fuel Cells, SOFCs) si stanno ormai affacciando sul mercato reale. Il loro intenso sviluppo negli ultimi anni ha portato alla crescita di diverse realtà industriali in tutta Europa, sebbene ancora su scala ridotta, che vanno dallo sviluppo e alla produzione delle singole celle fino alla realizzazione e commercializzazione di moduli cogenerativi di piccola taglia (qualche kW), per approdare alla realizzazione e integrazione di pilota di co- e tri- generazione distribuita di varia natura e di taglia di potenza più elevata (centinaia di kW).

Date le elevate temperature di esercizio, alcuni limiti relativi alla natura dei materiali e alla loro mutua interazione hanno posto l'accento sulla necessità di stravolgere l'architettura di cella, sia da un punto di vista dei materiali, sia da un punto di vista strutturale, al fine di limitare maggiormente i fenomeni di degrado tipici dell'architettura canonica delle SOC e aumentarne significativamente la durata. Su queste celle SOC di "nuova generazione" si stanno, quindi, concentrando molte delle attività a più basso TRL, soprattutto a livello di ricerca di base, ma con potenzialità applicative molto promettenti, come nel caso delle celle a conduttore protonico (per ioni H⁺), o come nel caso della produzione di celle monolitiche attraverso tecnica di stampa 3D.

Fra quelle che possono essere definite celle SOC di "nuova generazione" più interessanti, emergono sicuramente le celle a conduzione protonica. A differenza delle celle tradizionali, che si basano su elettroliti a stato solido conduttori di ioni O²⁻, come l'ossido di zirconio stabilizzato con ittrio (Yttria Stabilized Zirconia, YSZ), i quali mostrano una conducibilità adeguata a temperature di almeno 750°C, gli ossidi a conduzione protonica consentirebbero di ottenere le stesse prestazioni elettrochimiche a temperature nettamente inferiori, fino a 500°C. Questo consentirebbe da un lato di limitare l'impatto di tutti i processi di degrado attivati termicamente, allungando quindi il tempo di vita medio delle celle, e dall'altro permetterebbe l'utilizzo di materiali meno costosi per la loro integrazione nei moduli di potenza rispetto a quelli attualmente utilizzati (acciai speciali con ricoprimenti protettivi di ossidi di terre rare per alte temperature), riducendo quindi i costi di produzione. Inoltre, pur mantenendo la possibilità di operare sia come generatori di potenza che come elettrolizzatori ad alta temperatura, già presente nelle celle SOC commerciali, la particolare proprietà di essere conduttori protonici apre a queste celle di nuova generazione ulteriori interessanti possibilità applicative. Infatti, a seconda del potenziale applicato e delle condizioni operative, le celle a conduzione protonica possono agire da separatori, concentratori e compressori elettrochimici di idrogeno con una selettività non paragonabile ad altri sistemi noti, dato che la membrana conduttiva consente solo ed esclusivamente il passaggio di protoni H⁺. Nell'ottica di una possibile immissione di idrogeno prodotto per elettrolisi a partire dalle FER nella rete del gas

naturale già esistente, questo consentirebbe di estrarre l'idrogeno "in loco" e contemporaneamente realizzare un primo stadio di pressurizzazione, applicazione particolarmente accattivante nell'ambito della mobilità ad idrogeno. Per lo stesso motivo, possono anche agire da "reattori elettrochimici" per la co-elettrolisi di acqua e CO₂, per la sintesi di NH₃ o di idrocarburi pesanti finalizzate allo stoccaggio di idrogeno stagionale, o come reattori per l'upgrading del gas naturale e del bio-syngas.

WP3.2 - LA 3.2.1

Studio e sviluppo di materiali innovativi, nuove strutture e geometrie delle celle SOC attraverso tecniche di produzione alternative, con particolare attenzione verso le celle a conduzione protonica

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 700.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 300.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 299.900,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.599.900,00

Descrizione attività:

La linea di attività è orientata allo sviluppo e ottimizzazione di tecniche di produzione di materiali ceramici a conduzione protonica per realizzare celle ad ossidi solidi (Solid Oxide Cells, SOC) a conduzione protonica (Proton Conducting Cell, PCC).

Grazie alla ridotta temperatura di operazione ($T < 700^{\circ}\text{C}$) e all'ampia flessibilità nelle modalità operative, le celle PCC sono considerate le più promettenti tra le SOC di nuova generazione. In questo contesto, la linea di attività mira a sviluppare competenze e capacità tecniche in linea con l'evoluzione della tecnologia.

Le celle a conduzione protonica hanno alcuni limiti dettati dall'instabilità dei materiali costituenti, soprattutto dei materiali elettrolitici, nella fase di produzione ed integrazione con gli altri elementi costitutivi delle celle (anodo e catodo).

La linea di attività si prefigge l'obiettivo di studiare ed ottimizzare i parametri principali delle tecniche di fabbricazione delle celle, oltre ad esplorare la possibilità di applicare tecniche di deposizione fisica da fase vapore (PVD), quali RF (magnetron) sputtering e/o PED (pulsed electron deposition), per la realizzazione degli elettroliti a conduzione protonica. Il vantaggio di queste tecniche rispetto a quelle di stampa/formatura tradizionali (screen-printing e tape casting) risiede nel controllo accurato dello spessore che permette di depositare elettroliti solidi sottili per applicazione in SOC supportate da anodo. La tecnica PED ha l'ulteriore vantaggio di mantenere nel film la stessa stechiometria del target, ed è quindi molto utile per la deposizione di materiali a stechiometria complessa.

La linea di attività verrà articolata in diverse fasi, qui di seguito illustrate.

Nella prima fase, verranno sintetizzati e caratterizzati i principali materiali candidati al ruolo di elettroliti nelle celle protoniche, tra cui perovskiti della famiglia BaCeO₃ e BaZrO₃ drogate con opportuni elementi aliovalenti (Y³⁺; Sm³⁺, Ga³⁺) e la loro combinazione. I materiali verranno sintetizzati attraverso precipitazione, metodo sol-gel e combustione e densificati attraverso sintering ad alta temperatura, con lo scopo di valutarne composizione chimica, purezza, morfologia e proprietà conduttive e ottimizzando le condizioni sperimentali per produrre elettroliti validi per

l'integrazione in cella. Parallelamente, si procederà alla produzione del materiale costitutivo dell'anodo, che svolgerà anche il ruolo di supporto per le celle complete. Verranno prodotti materiali metallo-ceramici, la cui fase ceramica sarà la stessa dell'elettrolita selezionato, attraverso sintesi allo stato solido per miscelazione meccanica con NiO e ridotti in-situ.

In una seconda fase, si procederà alla realizzazione di semi-celle (anodo/elettrolita) con architettura planare anodo supportata. Le semi-celle verranno prodotte attraverso tape casting sequenziale del supporto anodico e dell'elettrolita. La preparazione e le proprietà degli slurries, così come le condizioni per il tape casting e per il sintering, verranno ottimizzate al fine di produrre semi-celle planari in cui anodo ed elettrolita siano efficacemente integrati. Al contempo, a partire dal substrato anodico, verrà esplorata la fattibilità e la convenienza di depositare lo strato di elettrolita attraverso sputtering a radiofrequenza e/o PED, sfruttando target di materiali elettrolitici precedentemente citati.

L'ultima fase coinvolgerà la realizzazione di celle complete, attraverso screen printing o deposizione spray di materiali catodici tipicamente utilizzati nelle celle ad ossidi solidi, sfruttando sia le semi-celle realizzate per tape casting sia quelle realizzate mediante tecniche fisiche da fase vapore. Le prestazioni elettrochimiche di entrambe le tipologie di celle verranno valutate attraverso test in-situ su specifici banchi sperimentali simulando condizioni operative realistiche, valutandone le prestazioni attraverso curve di polarizzazione, analisi di spettroscopia di impedenza e monitoraggio della stabilità nel tempo.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo e l'ottimizzazione di tecniche di produzione di materiali ceramici a conduzione protonica e la realizzazione di celle ad ossidi solidi a conduzione protonica. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- | | |
|----------------|--|
| M3.2.1.1 [M21] | Sintesi e produzione di almeno un materiale a conduzione protonica con caratteristiche elettrochimiche, chimiche e morfologiche adeguate all'integrazione in cella |
| M3.2.1.2 [M30] | Realizzazione di semi-celle (anodo/elettrolita) di dimensioni minime di almeno 2 cm ² , con architettura planare e anodo supportata attraverso tape-casting e sintering in condizioni ottimizzate, in cui l'integrazione dei due elementi risulti efficace in termini di stabilità chimica e meccanica, e con caratteristiche di conduzione protonica adeguate alla realizzazione di celle complete |
| M3.2.1.3 [M36] | Deposizione dell'elettrolita su substrato anodico attraverso sputtering a radiofrequenza e/o PED e valutazione dell'efficacia di tale(i) tecnica(che) per la produzione di elettroliti a conduzione protonica. Ottimizzazione delle condizioni di deposizione |
| M3.2.1.4 [M42] | Realizzazione di celle complete (anodo/elettrolita/catodo) tramite integrazione di opportuni materiali catodici attraverso screen-printing o deposizione spray su semi-celle prodotte tramite tape-casting, e analisi delle prestazioni elettrochimiche in ambiente rilevante |
| M3.2.1.5 [M42] | Realizzazione di celle complete (anodo/elettrolita/catodo) tramite integrazione di opportuni materiali catodici attraverso screen-printing o deposizione spray su semi-celle prodotte tramite sputtering a radiofrequenza, e analisi delle prestazioni elettrochimiche in ambiente rilevante |

Output:

D3.2.1.1 [M21]	Rapporto "Produzione e selezione dei materiali per la realizzazione di anodo ed elettrolita di celle PCC"
D3.2.1.2 [M30]	Rapporto "Integrazione dei materiali per la fabbricazione di semi-celle tramite tape casting e sintering"
D3.2.1.3 [M36]	Rapporto "Implementazione dello sputtering a radiofrequenza e/o PED per la deposizione dell'elettrolita sul supporto anodico"
D3.2.1.4 [M42]	Rapporto "Produzione di celle complete e analisi delle prestazioni in ambiente rilevante tramite tape-casting e screen printing"
D3.2.1.5 [M42]	Rapporto "Produzione di celle complete e sull'analisi prestazioni in ambiente rilevante tramite sputtering a e screen printing"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.2 – LA 3.2.2

Sviluppo di materiali innovativi per celle reversibili operanti ad alta temperatura con elettrolita ceramico protonico ed anionico e a conduzione ibrida e/o mista

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Francesca Liotta

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 125.523,40

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 190.685,22

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 168.894,96

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 138.896,42

Costo totale LA (escluse spese generali): € 624.000,00

Descrizione attività:

La linea di attività è orientata allo sviluppo di materiali e componenti innovativi per la produzione di una cella reversibile completa (rSOC) e, successivamente, alla loro integrazione in uno stack da tre-celle proof-of-concept di un dispositivo operante a temperature intermedie per il funzionamento reversibile. Verranno in primo luogo messe a punto le procedure di preparazione di elettrodi reversibili ed elettroliti innovativi. Tra le varie composizioni, saranno preparati elettrodi a base di SrFeO₃ drogata, perovskiti exolute altamente reversibili e ferrocobaltiti drogate con sovrapotenziali migliori dei classici LSM e LSFC. Gli elettroliti innovativi dovranno mostrare conducibilità migliori della YSZ. I materiali innovativi verranno preparati mediante procedure già consolidate nei nostri laboratori: gli elettrodi tramite solution combustion synthesis (SCS) e gli elettroliti mediante metodo sol-gel o reazioni allo stato solido. Questa fase di lavoro richiederà uno studio chimico-fisico ed elettrochimico. Si prevede una caratterizzazione strutturale dettagliata tramite analisi quantitativa con la metodologia Rietveld; studio delle proprietà redox tramite tecniche TPR/TPO; studio TPD di O₂; indagine elettrochimica approfondita dei vari materiali selezionati. I materiali elettrolitici verranno completamente caratterizzati dal punto di vista conduttimetrico, anche realizzando celle di concentrazione. Gli strati elettrodiici saranno caratterizzati mediante spettroscopia EIS e i dati saranno analizzati mediante il metodo DRT (distribution of relaxation times). Successivamente verranno messe a punto le metodiche di preparazione degli strati costituenti la cella elettrolitica completa (si produrranno celle elettrolitiche supportate di diametro finale pari a 25 mm) e di celle a larga area. In questa fase sarà determinante realizzare inchiostri e paste dei materiali, lo studio ed ottimizzazione di composizioni ad-hoc di inchiostri serigrafici per la produzione di layer elettrodiici innovativi con correlazione composizione/microstruttura/prestazioni di celle simmetriche costituite

da un elettrolita standard, utilizzando diversi additivi organici (quali additivi porizzanti, leganti, etc.); ottimizzazione del processo di produzione delle pastiglie di elettrolita (in termini di pressioni, temperature di sinterizzazione, etc.). Le informazioni acquisite in fase di testing permetteranno la modifica dei parametri serigrafici e delle composizioni utilizzate per la produzione degli strati elettrodici ed elettrolitici in un processo iterativo necessario all'ottimizzazione microstrutturale e composizionale della cella reversibile completa. Per raggiungere l'obiettivo di avere celle a larga area, sarà importante determinare la quantità opportuna di pore former e dovranno essere valutate le procedure di deposizione e di trattamento termico, con una ottimale adesione tra gli elementi (interlayers), morfologia ottimale e assenza di distorsioni. La fase successiva sarà improntata alla realizzazione di uno stack da 3-celle ed in questo contesto saranno valutati gli acciai idonei al funzionamento previsto, la tenuta gas e l'ottimale conduzione elettrica nelle condizioni operative. Infine, lo stack sarà valutato sperimentalmente in operando e a fine vita per studiare le caratteristiche di funzionamento e degrado. Sarà anche condotta un'analisi dei costi preliminare, secondo i principi della LCC, finalizzata a verificare lo stato di sviluppo della tecnologia in termini di applicazioni di mercato e individuarne le potenzialità rispetto all'obiettivo finale di produrre un dispositivo di piccole dimensioni (stack da 3 celle) in grado di operare reversibilmente a temperature intermedie basato su elettrodi reversibili a base di perovskiti.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di materiali e componenti innovativi per la produzione di una cella reversibile completa (RSOC). In particolare, i risultati attesi sono di seguito descritti:

- M3.2.2.1 [M3] Individuazione tramite studio bibliografico delle composizioni innovative più adatte alla produzione di elettrodi innovativi reversibili e di elettroliti con conduzione migliore della YSZ. Meeting inizio progetto
- M3.2.2.2 [M6] Preparazione di materiali innovativi adatti all'impiego come materiali elettrodici in celle reversibili, in particolare perovskiti a base di SrFeO_3
- M3.2.2.3 [M9] Screening delle proprietà elettrochimiche di base, (ie.: resistenza di polarizzazione) alle temperature di esercizio delle celle RSOC
- M3.2.2.4 [M12] Analisi comparativa dei risultati ottenuti con lo stato dell'arte internazionale, selezione di un set di materiali per la verifica sperimentale del concetto di funzionamento
- M3.2.2.5 [M15] Preparazione, caratterizzazione chimico fisica ed elettrochimica di i) elettrodi fuel a base di perovskiti exolute altamente reversibili; ii) elettroliti innovativi con conducibilità migliore della YSZ. Saranno preparate quantità adeguate per la realizzazione di almeno 3 celle a larga area
- M3.2.2.6 [M18] Studio proprietà redox, strutturali, microstrutturali ed elettrochimiche dei materiali a base di polveri a base di SrFeO_3 per la cella RSOC; attitudine degli elettrodi alla reversibilità del processo; resistenza all'avvelenamento dei sistemi a base di Sr da parte della CO_2
- M3.2.2.7 [M21] Preparazione e caratterizzazione chimico fisica ed elettrochimica di elettrodi a base di LSCF modificati. Saranno preparate quantità adeguate per la realizzazione di almeno 3 celle a larga area
- M3.2.2.8 [M24] Preparazione e determinazione delle proprietà conduttive delle membrane elettrolitiche innovative da utilizzare per la realizzazione della cella RSOC. Meeting metà progetto
- M3.2.2.9 [M27] Formulazione degli inchiostri per la deposizione serigrafica degli elettrodi.

- M3.2.2.10 [M30] Procedure di produzione di strati con materiali ottimizzati ai fini dell'assemblaggio in termini di composizione e microstruttura sia per gli elettrodi sia per l'elettrolita
- M3.2.2.11 [M33] Ottimizzazione delle procedure di deposizione degli inchiostri e di trattamento termico per ottimizzare l'adesione dello strato protettivo e l'anodo
- M3.2.2.12 [M36] Realizzazione e testing di celle singole a larga area
- M3.2.2.13 [M39] Cella RSOC ottimizzata operante in maniera reversibile, con caratteristiche funzionali e stabilità termomeccanica superiore rispetto allo stato dell'arte
Messa a punto dell'assemblaggio, del sealing elettrico e gas, il testing elettrochimico dello stack di 3 celle a larga area
- M3.2.2.14 [M42] Analisi chimico-fisica a fine vita delle celle elettrochimiche prodotte
- M3.2.2.15 [M42] Analisi economico-finanziaria finalizzata a definire una stima dei costi del sistema proposto e del suo posizionamento rispetto alle tecnologie concorrenti, e il possibile impatto socio-economico

Output:

- D3.2.2.1 [M3] Rapporto tecnico "Attività svolte per la definizione dello stato dell'arte aggiornato su elettrodi reversibili ed elettroliti innovativi"
- D3.2.2.2 [M6] Rapporto tecnico "Individuazione dei protocolli di sintesi di elettrodi a base di SrFeO_3 e di elettroliti a base di elettroliti innovativi"
- D3.2.2.3 [M9] Sintesi di almeno 6 polveri (quantità minima 500 mg) di SrFeO_3 drogate con diversa composizione chimica per la realizzazione di celle RSOC
- D3.2.2.4 [M12] Sintesi di almeno 2 polveri di materiali elettrolitici con diversa composizione chimica (quantità minima 500 mg) per la realizzazione di celle RSOC. Report/pubblicazione sui materiali preparati e loro caratterizzazione
- D3.2.2.5 [M15] Sintesi di almeno 5g di due polveri elettrodiche migliori selezionate tra quelle preparate nel primo anno e sintesi di almeno 5g della polvere elettrolitica migliore selezionata per la realizzazione della cella RSOC
- D3.2.2.6 [M18] Rapporto tecnico "Sintesi di almeno 200 gr di materiali selezionati per gli elettrodi, lato fuel"
- D3.2.2.7 [M21] Sintesi di almeno 200 gr di materiali selezionati come elettrolita a conduzione protonica e anionica per il funzionamento a temperature intermedie.
- D3.2.2.8 [M24] Rapporto tecnico "Sintesi di almeno 200 gr di materiali selezionati come elettrodi per ossigeno con sovrapotenziale adeguato agli scopi del progetto"
Report tecnico
- D3.2.2.9 [M27] Rapporto tecnico "Preparazione degli inchiostri serigrafici per la deposizione degli elettrodi"
- D3.2.2.10 [M30] Rapporto tecnico "Preparazione delle pastiglie di elettrolita per la realizzazione della cella RSOC"
- D3.2.2.11 [M33] Rapporto tecnico "Procedura per assemblaggio della RSOC"
- D3.2.2.12 [M36] Realizzazione di almeno 3 celle a larga area (25 cm^2) aventi una resistenza ohmica complessiva inferiore a $0,15 \Omega \text{ cm}^2$ a 700°C
- D3.2.2.13 [M39] Rapporto tecnico "Procedura di produzione ottimizzata della RSOC"
- D3.2.2.14 [M42] Rapporto tecnico "Prestazione elettrochimica della RSOC completa"
- D3.2.2.15 [M42] Rapporto tecnico "Dimostrazione di un degrado delle performance dello stack di celle a larga area che sia inferiore al 10% / 1.000 h misurato tramite curve

I-V e perdite di gas inferiore al 10% misurata tramite GC o analisi di pressione.
Analisi costi di sistema ed impatto socio-economico"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.2 – LA 3.2.3

Sviluppo di componenti quali elettrodi e membrane per celle reversibili polimeriche PEM ed AEM operanti a bassa temperatura per applicazioni di back-up power

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: John Jansen

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 76.287,38

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 155.553,68

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 139.158,84

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 109.000,10

Costo totale LA (escluse spese generali): € 480.000,00

Descrizione attività:

L'attività di ricerca è finalizzata alla realizzazione di membrane innovative polimeriche con lo scopo di ridurre i costi e migliorare le performance (conducibilità ionica a basse temperature, ridotto cross-over, facilità di assemblaggio della MEA, stabilità chimica e meccanica) rispetto ai materiali tradizionali (membrane a base di acido perfluorosulfonico e suoi derivati). Saranno sviluppati catalizzatori bifunzionali e saranno realizzati MEA per celle reversibili PEM e AEM. Questi saranno caratterizzati in cella singola e successivamente in uno short stack. Sarà condotta un'analisi dei parametri operativi del dispositivo (portate dei reagenti, pressione di esercizio, temperatura di funzionamento). Lo scopo sarà quello di correlare le prestazioni con i parametri analizzati.

I primi mesi saranno dedicati all'analisi dello stato dell'arte e alla scelta dei materiali più promettenti, basata anche sulla modellazione del trasporto di anioni o di protoni, seguito dalla preparazione delle prime membrane secondo le procedure sperimentali più robuste, e la progettazione di due celle rigenerative basate su tecnologia PEM e AEM. Saranno preparati i catalizzatori bifunzionali per celle PEM. L'attività sarà focalizzata all'analisi dello stato dell'arte delle membrane polimeriche e composite per PEM e AEM; sviluppo di nuove membrane polimeriche a scambio anionico o cationico e/o ion gel, basati su IL e polimeri altamente stabili; scelta dei materiali, basata anche sulla modellazione del trasporto di anioni e/o di protoni; sviluppo di nuove membrane composite a base di Nafion e suoi derivati via la selezione di filler (zeoliti e filler 2D) funzionalizzati con gruppi acidi e liquidi ionici (IL); studi di simulazione meccanici e fluidodinamici finalizzati alla realizzazione e alla scelta delle caratteristiche dei materiali da impiegare per la realizzazione delle celle impiegate per i test delle membrane e dei catalizzatori sviluppati; protocolli sperimentali delle attività di testing in situ da condurre nelle fasi successive; sviluppo catalizzatori bifunzionali per celle rigenerative PEM.

Verrà eseguita una caratterizzazione esaustiva delle membrane in termini di proprietà strutturali, termiche e funzionali (conducibilità ionica, crossover, stabilità termica e chimica). Verranno prodotte nuove membrane a base di polimeri aromatici attraverso procedure di sulfonazione (circolare, area da 5 cm² a 25 cm², tipicamente 8 cm² con bordo di almeno 1 cm per sigillare la cella). Studio del meccanismo di trasporto delle cariche ioniche e della correlazione formulazione-processo-struttura morfologica-performance elettrochimiche per le diverse membrane sviluppate. Seguirà l'analisi delle proprietà termiche e meccaniche e della conduttività anionica e protonica;

ottimizzazione delle membrane polimeriche a scambio ionico e/o ion gel basati su IL; sviluppo di membrane polimeriche alternative a base di polimeri aromatici opportunamente sulfonati, processi di sulfonazione, e membrane composite per PEM attraverso la selezione di filler funzionalizzati; studio del trasporto di gas (O_2 , H_2) per valutare il potenziale cross-over.

Realizzazione di due celle singole per applicazioni rigenerative. Sviluppo di catalizzatori bifunzionali per celle rigenerative polimeriche AEM. Realizzazione di MEA per applicazioni rigenerative AEM e PEM con membrane commerciali per testare successivamente i catalizzatori sviluppati.

Saranno perfezionate le membrane a base di liquidi ionici, a base di acido perfluorosulfonici e di polimeri aromatici, e le relative membrane composite. Verranno anche ottimizzate le procedure per il coating del catalizzatore, sia con catalizzatori commerciali che con catalizzatori innovative, e verrà effettuata la misura dell'efficacia delle nuove membrane in MEA in condizioni operative. In particolare, sarà effettuata la scelta di polimeri e IL ancora più stabili e più performanti. Studio della stabilità dei sistemi in condizioni operative attraverso l'assemblaggio di MEA con catalizzatori ed elettrodi commerciali. Ottimizzazione delle procedure di preparazione delle membrane e delle MEA. Ottimizzazione della fase di realizzazione di MEA da testare in cella singola con le nuove membrane sviluppate. Prove elettrochimiche per analizzare il comportamento della cella rigenerativa e confrontate con i MEA realizzati precedentemente. Prove a pressione superiore a quella atmosfera per analizzare il cross over del MEA a differenti correnti di lavoro. Saranno studiate l'influenza della temperatura di lavoro, delle portate dei fluidi e della pressione di esercizio sulle prestazioni del dispositivo.

Nell'ultima fase verranno esplorati ancora nuovi tipi di polimeri emergenti, come i polimeri a microporosità intrinseca e nuovi liquidi ionici polimerici, e vanno completate e/o ottimizzate le celle ed eseguiti i test di funzionamento dei migliori materiali sviluppati finora. Screening di materiali emergenti, come per esempio le membrane basate su polimeri di microporosità intrinseca (PIMs, Polymers of Intrinsic Microporosity) o liquidi ionici polimerici (PILs, Polymeric Ionic Liquids) con conduttività anionica potenzialmente più elevata.

Scale up dei componenti e realizzazione di due short-stack per applicazioni rigenerative basati su tecnologia PEM e AEM con potenza maggiore di 100 W e prestazioni attese 1,8 V/cella a 1 A cm^{-2} in modalità elettrolisi e 0,5 A cm^{-2} a 0,6 V/cella in modalità fuel cell.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di nuove membrane con costi ridotti e/o prestazioni elettrochimiche superiori a quelle a base di acido perfluorosulfonico. Saranno realizzati dei dispositivi per testare i materiali sviluppati sia in modalità elettrolisi che cella a combustibile. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- | | |
|----------------|---|
| M3.2.3.1 [M3] | Identificazione dei polimeri e dei filler per la realizzazione delle membrane composite |
| M3.2.3.2 [M9] | Identificazione delle procedure di funzionalizzazione dei filler |
| M3.2.3.3[M9] | Protocolli sugli studi sperimentali per la caratterizzazione delle membrane e catalizzatori in cella singola |
| M3.2.3.4[M12] | Selezione della metodologia di preparazione delle membrane: casting e/o sono-spray |
| M3.2.3.5[M12] | Studi di simulazioni meccaniche e fluidodinamiche per la realizzazione delle celle per testare le membrane e i catalizzatori sviluppati |
| M3.2.3.6[M12] | Preparazione di catalizzatori bifunzionali per celle PEM |
| M3.2.3.7 [M21] | Identificazione dei meccanismi di sulfonazione dei polimeri aromatici |
| M3.2.3.8 [M21] | Realizzazione delle celle di caratterizzazione dei MEA |

- M3.2.3.9[M24] Studio della struttura morfologica delle membrane a base di acido perfluorosulfonico e polimeri aromatici sulfonati
- M3.2.3.10 [M24] Panoramica delle proprietà di trasporto dei materiali finora sviluppati (es. crossover H_2 , O_2)
- M3.2.3.11 [M24] Preparazione di catalizzatori bifunzionali per celle AEM
- M3.2.3.12 [M24] Realizzazione di MEA per celle rigenerative AEM e PEM con i catalizzatori sviluppati
- M3.2.3.13 [M30] Studio delle potenzialità dei liquidi ionici quali additivi di membrane a base di acido perfluorosulfonico e polimeri aromatici, e relative membrane composite
- M3.2.3.14 [M33] Ottimizzazione della preparazione dei MEA con le membrane e i catalizzatori sviluppati
- M3.2.3.15 [M36] Caratterizzazione elettrochimica dei MEA preparati in cella singola
- M3.2.3.16 [M39] Caratterizzazione dei materiali di ultima generazione completata (proprietà chimico-fisiche, elettrochimiche e funzionali)
- M3.2.3.17 [M42] Completa analisi dell'effetto della temperatura sulle prestazioni dei dispositivi
- M3.2.3.18 [M42] Realizzazione di due short-stack rigenerativi basati su tecnologia PEM e AEM con potenza > 100 W e prestazioni attese 1,8 V/cella a 1 A cm⁻² in modalità elettrolisi e 0,5 A cm⁻² a 0,6 V/cella in modalità fuel cell

Output:

- D3.2.3.1 [M6] Rapporto tecnico "Inventario dei materiali più promettenti da utilizzare nella prima fase del progetto sulla base dello studio dello stato dell'arte"
- D3.2.3.2 [M9] Rapporto tecnico "Prima generazione di membrane a scambio anionico e cationico attraverso la selezione dei polimeri, fillers funzionalizzati e additivi (liquidi ionici) "
- D3.2.3.3 [M12] Rapporto tecnico "Studi di simulazioni meccaniche e fluidodinamiche delle celle rigenerative"
- D3.2.3.4 [M12] Rapporto tecnico "Protocolli sugli studi sperimentali per la caratterizzazione dei MEA"
- D3.2.3.5 [M12] Rapporto tecnico "Preparazione di catalizzatori bifunzionali per celle PEM"
- D3.2.3.6 [M18] Rapporto tecnico "Caratterizzazione esaustiva (chimica, termica, morfologica-strutturale, meccanica) delle membrane di prima generazione"
- D3.2.3.7 [M18] Rapporto tecnico "Proprietà funzionali e sulle proprietà di trasporto delle membrane di prima generazione"
- D3.2.3.8 [M24] Rapporto tecnico "Realizzazione della seconda generazione di membrane a scambio anionico o cationico con più elevate conduttività e con materiali alternativi di basso costo (polimeri aromatici opportunamente sulfonati) "
- D3.2.3.9 [M24] Rapporto tecnico "Sviluppo di catalizzatori bifunzionali per celle AEM"
- D3.2.3.10 [M24] Rapporto tecnico "Realizzazione delle celle singole rigenerative"
- D3.2.3.11 [M24] Realizzazione di MEA per celle rigenerative AEM e PEM con i catalizzatori sviluppati
- D3.2.3.12 [M30] Rapporto tecnico "Caratterizzazione esaustiva (chimica, termica, morfologica-strutturale, meccanica), sulle proprietà di trasporto (es. cross-over) e sulle prestazioni funzionali delle membrane di seconda generazione"
- D3.2.3.13 [M33] Rapporto tecnico "Ottimizzazione e caratterizzazione funzionale delle membrane electrode assembly, incluso la caratterizzazione delle prestazioni in cella singola delle MEA sviluppate"

- D3.2.3.14 [M36] Rapporto tecnico "Ottimizzazione della preparazione dei MEA con le membrane e i catalizzatori sviluppati"
- D3.2.3.15 [M36] Rapporto tecnico "Caratterizzazione elettrochimica dei MEA preparati in cella singola"
- D3.2.3.16 [M39] Rapporto tecnico "Ultima generazione di membrane a scambio anionico con apposito strato catalitico (depositato sulla superficie) oppure predisposto per il montaggio tra due elettrodi catalitici esterni"
- D3.2.3.17 [M42] Rapporto tecnico "Caratterizzazione dei materiali emergenti e potenzialmente di interesse (polimeri di microporosità intrinseca, nuovi PILs)"
- D3.2.3.18 [M42] Rapporto tecnico "Realizzazione di due short stack con potenza maggiore di 100 W"
- D3.2.3.19 [M42] Rapporto tecnico "Caratterizzazione funzionale degli short stack con i materiali sviluppati"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.3 - Ricerca e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Obiettivi:

Nel settore delle celle a combustibile polimeriche (PEMFC) è stato raggiunto un grado di sviluppo tale da consentirne l'applicazione alle autovetture (principalmente negli Stati Uniti e Asia) e agli autobus (maggiormente diffusi in Europa); tuttavia è ancora limitato l'uso delle tecnologie ad idrogeno in applicazioni di alta potenza quali mezzi di trasporto pesante, treni, navi e produzione stazionaria di energia elettrica a causa di alcune criticità, quali gli elevati costi di produzione dei componenti elettrochimici; gli investimenti per lo sviluppo delle infrastrutture di distribuzione e stoccaggio lungo tutta la filiera; la necessità di migliorare le performance e dell'affidabilità dei sistemi che utilizzano l'idrogeno.

La sfida più urgente per questa tecnologia è quella di ridurre i costi attraverso l'aumento dei volumi produttivi, il miglioramento e l'automatizzazione dei processi, ma soprattutto lo sviluppo di stack e moduli con prestazioni migliori. A tal fine è necessario sviluppare nuovi componenti più efficienti ed economici (ad esempio per incrementare la densità di potenza e la durabilità o migliorare la configurazione degli stack di celle). Il miglioramento dei componenti rappresenta la strategia chiave sia per aumentare la densità di potenza che per la durabilità a lungo termine delle celle PEM. Pertanto, l'innovazione che si intende raggiungere con il progetto riguarderà i principali componenti della MEA (membrana, strato catalizzatore, strato microporoso e mezzi di diffusione del gas), i piatti di distribuzione, i sistemi di raffreddamento e la loro integrazione al fine di ottenere le prestazioni richieste. Le attività proposte nel presente WP sono coerenti con il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza e con la strategia delineata dalla EU mediante il Next Generation EU Recovery Package che ha previsto importanti investimenti in ricerca e innovazione, allo scopo di creare e regolamentare il mercato delle nuove tecnologie a idrogeno. Il programma di investimento prevede l'installazione al 2024 di 6 GW di elettrolizzatori (per produrre 1 milione di tonnellate di idrogeno verde); al 2030 di 40 GW di elettrolizzatori (per produrre 10 milioni di tonnellate di idrogeno verde); e dal 2030 la produzione e l'utilizzazione di idrogeno su larga scala. A fronte di un'accresciuta disponibilità di idrogeno, è cruciale sviluppare contemporaneamente le tecnologie per gli usi finali dell'idrogeno nei settori maggiormente energivori e di maggiore impatto ambientale, quali il trasporto su gomma e quello navale. Infatti, le emissioni di gas serra dal settore del trasporto pesante su gomma e da quello navale contribuiscono in modo significativo al cambiamento climatico, all'inquinamento e agli impatti negativi sulla salute a causa dell'impiego di camion pesanti (Heavy Duty Vehicles) alimentati da motori diesel. Le grandi autonomie richieste oggi dalle applicazioni navali e dal trasporto su gomma possono essere raggiunte solo con sistemi propulsivi che utilizzano motori elettrici alimentati da celle a combustibile a bassa temperatura (celle polimeriche a scambio protonico) alimentate a idrogeno. Tali applicazioni richiedono una densità di potenza maggiore e una durata molto più lunga rispetto a quelle sviluppate e raggiunte per i veicoli leggeri, come recentemente indicato dal Department of Energy statunitense per i camion a lungo raggio a idrogeno di Classe 8.

L'European Green Deal stilato dalla Commissione Europea impone l'azzeramento delle emissioni nette di gas serra entro il 2050. Per raggiungere tale obiettivo è quindi necessario sviluppare rapidamente sistemi basati su tecnologie a emissioni zero. Le tecnologie dell'idrogeno e delle celle a combustibile hanno un grande potenziale per il raggiungimento degli obiettivi di

decarbonizzazione previsti, soprattutto nel settore della mobilità e, in particolare, in quello del trasporto pesante su gomma.

WP3.3 – LA 3.3.1

Sviluppo di soluzioni modulari per sistemi basati su celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Antonino Genovese

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 210.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 960.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 215.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 115.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.500.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo sviluppo di soluzioni modulari basate su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante. La richiesta di sistemi FC per la trazione è prevista in forte espansione in quei settori del trasporto terrestre, ferroviario e marittimo in cui risulterà non conveniente la sostituzione dei combustibili fossili con l'elettrificazione diretta. L'industria dovrà affrontare il tema della produzione di sistemi FC in grado di soddisfare le diverse esigenze dei settori del trasporto e quindi, a parità di tecnologia di FC, avere una gamma di prodotti che incontrino le varie esigenze progettuali. Questo potrebbe risultare dispendioso in termini di investimenti, di produzione e di gestione delle applicazioni sul campo. L'elettrificazione diretta attraverso le batterie ha dimostrato la capacità di scalabilità a partire dagli elementi base (moduli) con soluzioni di interfaccia verso il carico capaci di adattarsi in potenza e/o tensione attraverso la costruzione di profili serie/parallelo.

La disponibilità di prodotti modulari di taglia definita per le FC potrebbe offrire una scalabilità dei sistemi grazie alla capacità di incrementare la potenza disponibile con operazioni di parallelizzazione/serializzazione dei sistemi.

I vantaggi derivanti da questa soluzione riguardano:

- Migliore uniformità della densità di corrente senza il ricorso a MEA di dimensioni eccessive;
- Stack di dimensioni ridotte grazie alla flessibilità della configurazione serie/parallelo;
- Isolamento della tensione in uscita;

La flessibilità del sistema offre l'opportunità di accrescere la potenza in uscita ma anche la tensione nominale del sistema adattandolo a diversi contesti ove nasce l'esigenza di maggiori tensioni di lavoro per ridurre le correnti di carico. Inoltre, il vantaggio di un sistema modulare potrebbe incrementare l'efficienza di sistema operando in zone di massimo rendimento del sistema grazie alla gestione modulare.

In sintesi, l'attività verrà orientata all'identificazione di soluzioni che garantiscano la migliore modularità attraverso tecniche di parallelo/serie dei sistemi FC con interfaccia di convertitori. In particolare, l'attività sarà volta a:

- Individuazione dei limiti e vantaggi delle soluzioni modulari per l'accoppiamento delle FC;
- Interfacciamento dei sistemi FC per applicazioni nel trasporto pesante;
- Integrazione dei sistemi FC con i sistemi di accumulo nel caso di approccio modulare;
- Modelli di soluzioni modulari idonei alla verifica virtuale delle soluzioni;

- Soluzioni per il Controllo dei sistemi modulari al fine di migliorare l'efficienza complessiva di sistema;
- Test con modelli virtuali e/o con simulatori.

L'attività riguarderà lo studio e ottimizzazione di un sistema costituito dallo stack ed un sistema di alimentazione completo, che andrà poi accoppiato in serie/parallelo per ottenere le prestazioni volute. Inoltre, l'attività verterà anche sulla definizione di uno modulo base per lo stack che possono essere accoppiati in modo ottimale a diversi sistemi di alimentazione, standardizzati per correnti/tensioni predefinite.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze nella specifica tematica di interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi Roma Tre, finalizzata alla realizzazione di interfacce serie/parallelo di sistemi di conversione DC/DC per l'efficientamento della conversione attraverso tecniche di interleaving e/o team operation.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo e l'ottimizzazione di soluzioni modulari ad alta flessibilità basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante. Il raggiungimento di questi risultati porterà diversi vantaggi, in termini di semplificazione delle linee di produzione con riduzione delle taglie dei moduli, migliore prestazioni del sistema, facilità nella gestione delle configurazioni con possibilità di sopportare eventuali danni senza fuori servizi critici, ridotto rischio di presenza di punti critici sulla membrana per effetto di elevate densità di corrente, manutenzione semplificata dei moduli, standardizzazione del sistema in linea con la logica "plug and play". In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.3.1.1 [M12]	Definizione delle soluzioni modulari
M3.3.1.2 [M36]	Sistema di controllo del modulo sviluppato
M3.3.1.3 [M42]	Testing del modulo sviluppato

Output:

D3.3.1.1 [M12]	Rapporto tecnico "Moduli innovativi basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante"
D3.3.1.2 [M36]	Rapporto tecnico "Sistema di controllo per moduli innovativi basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante"
D3.3.1.3 [M42]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale di moduli innovativi basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.3 – LA 3.3.2

Sviluppo di soluzioni ibride basate su celle a combustibile per applicazioni off-road e logistiche

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Antonino Genovese

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 505.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 650.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 215.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 115.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.485.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo sviluppo di soluzioni ibride basate su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) per applicazioni off-road e logistiche. Il settore off-road e quello logistico stanno mostrando grande interesse per queste nuove applicazioni. In particolare, l'utilizzo di queste soluzioni nei settori della logistica e off-road garantisce una maggiore autonomia dei veicoli tipicamente utilizzati per la movimentazione delle merci in magazzini/impianti produttivi, mezzi da cantiere operanti in miniere/tunnel, mezzi operanti nei terminal portuali e per la raccolta rifiuti. Queste applicazioni sono caratterizzate da profili di lavoro più rivolti alla potenza che all'energia; pertanto, soluzioni ibride con supercapacitori risultano idonee. Nei transitori o durante le fasi di potenza la FC potrebbe rispondere non adeguatamente e l'introduzione di sistema a potenza pronta consentirebbe una migliore gestione dei veicoli durante i cicli di lavoro. Il beneficio atteso potrebbe essere una migliore durata della FC e una riduzione degli ingombri e dei pesi.

In sintesi, l'attività verrà orientata allo sviluppo di soluzioni con l'identificazione di:

- Profilo di ricarica dell'accumulo a minima sollecitazione della FC;
- Valutazioni sul minore stress della FC;
- Prospettiva di maggiore vita della FC;

Infine, l'attività sarà orientata all'integrazione di sistemi di accumulo elettrico a maggiore velocità di ricarica con sistemi di ricarica wireless dinamica lungo i percorsi di lavoro.

Le attività saranno indirizzate verso una integrazione tra sistemi a FC e sistemi di accumulo elettrico ad alta potenza quali supercapacitori e batterie ad elevata potenza. Si verificheranno le opzioni di interfacciamento diretto su bus DC e con interposizione di strutture di conversione elettriche. L'obiettivo principale sarà quello di minimizzare i costi e massimizzare l'efficienza complessiva dei veicoli in relazione ai cicli di lavoro. Si provvederà a contemplare la gestione della potenza della FC per fare fronte alle condizioni di SOC del SC e garantire il livello di energia necessario ad affrontare le richieste del carico.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi di Napoli Parthenope, finalizzata alla progettazione e modellazione di powertrain basati su celle a combustibile per il trasporto pesante in applicazioni industriali.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo e l'ottimizzazione di soluzioni ibride basate su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) per applicazioni off-road e logistiche, con l'obiettivo di minimizzare l'unità di potenza complessiva e lo sviluppo di metodologie di controllo per il miglioramento delle performance, in termini di minimo consumo, minimo stress per la FC, maggiore lifespan. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- | | |
|----------------|--|
| M3.3.2.1 [M12] | Definizione dei requisiti per diverse categorie di veicoli |
| M3.3.2.2 [M24] | Definizione delle soluzioni di interfaccia per le soluzioni sviluppate |
| M3.3.2.3 [M36] | Messa a punto di modelli di powertrain ibridi |
| M3.3.2.4 [M42] | Caratterizzazione delle prestazioni delle soluzioni sviluppate |

Output:

- | | |
|----------------|---|
| D3.3.2.1 [M12] | Rapporto tecnico "Powertrain ibridi per applicazioni off road e logistiche" |
| D3.3.2.2 [M24] | Rapporto tecnico "Soluzioni di interfaccia per l'ibridizzazione" |

D3.3.2.3 [M36]	Rapporto tecnico "Sviluppo modelli per powertrain ibridi"
D3.3.2.4 [M42]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale delle soluzioni sviluppate"

TRL (inizio-fine): 3-4

WP3.3 – LA 3.3.3

Sviluppo di modelli e della diagnostica per la valutazione delle performance di celle a combustibile

Realizzatore: ENEA

Responsabile LA: Antonino Genovese

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 205.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 315.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 315.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 105.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.140.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo sviluppo di modelli e di procedure per la valutazione delle prestazioni di sistemi basati su celle a combustibile. Tali sistemi sono caratterizzati da un decadimento delle prestazioni sia per azioni di invecchiamento dei materiali che per anomalie di funzionamento. Come per i sistemi di accumulo elettrico, la definizione di una funzione di *State of Health* (SoH) contribuisce ad individuare lo scostamento dalle prestazioni nominali ed eventualmente a ridurre il range delle caratteristiche di output per non danneggiare la cella stessa. Il mantenimento delle caratteristiche di operatività dei sistemi a celle a combustibile richiederà lo sviluppo di modelli di SoH dei sistemi, al fine di valutare la vita utile prima di operare una sostituzione o eseguire interventi di ripristino di parti e componenti.

Questo consentirà di migliorare l'affidabilità di sistema riducendo i tempi di fuori servizio oltre ad incrementare la vita dei sistemi stessi, attraverso una loro diversa gestione.

Lo sviluppo di metodologie per la diagnostica sullo SoH sarà oggetto di ricerca specialmente in quegli elementi caratteristici del funzionamento della cella, che ne possono influenzare le caratteristiche o accelerare il degrado o il fuori servizio (ad esempio, la determinazione della distribuzione della corrente sull'area della membrana).

Queste azioni potranno essere portate avanti sia sviluppando tool dedicati e/o hardware corredati dall'utilizzo di sensori anche di tipologia innovativa.

A tal proposito, le attività riguarderanno l'identificazione delle capacità di predire un probabile fault prima che la sua occorrenza provochi conseguenze sulla disponibilità della FC. Inoltre, sarà sviluppato un tool dedicato alla valutazione di un set di regolazioni del sistema FC capace di rispondere alla domanda di potenza in modo efficiente all'evolvere del SoH. La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi di Salerno, finalizzata alla progettazione e sviluppo di metodologie di diagnostica per monitorare e aumentare la vita utile dei sistemi FC.

Risultati attesi

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di modelli e procedure per la valutazione delle prestazioni di sistemi basati su celle a combustibile. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.3.3.1 [M12]	Definizione delle soluzioni su cui applicare le analisi
M3.3.3.2 [M24]	Definizione del modello di circuito equivalente per la rappresentazione dello SoH
M3.3.3.2 [M36]	Definizione della metodologia di determinazione dello SoH
M3.3.3.2 [M42]	Caratterizzazione e validazioni sperimentale delle soluzioni sviluppate

Output:

D3.3.3.1 [M12]	Rapporto tecnico "Soluzioni per la determinazione dello SoH di sistemi PEM FC"
D3.3.3.2 [M24]	Rapporto tecnico "Modelli per la rappresentazione delle PEM FC e dello SoH"
D3.3.3.3 [M36]	Rapporto tecnico "Metodologie di diagnostica per la valutazione dello SoH"
D3.3.3.4 [M42]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale e validazione dei modelli e metodologie sviluppati"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.3 – LA 3.3.4

Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile ad alta temperatura alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH₃, LOHC) per applicazioni nel settore marittimo

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 227.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 340.500,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 340.500,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 227.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.135.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo studio e all'ottimizzazione di configurazioni impiantistiche innovative basate sulla tecnologia delle celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC) alimentate da carrier alternativi (NH₃ e/o LOHCs) per applicazioni nel trasporto marittimo.

Le celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC) sono considerate la tecnologia innovativa più interessante per la generazione di potenza grazie alle elevate efficienze di conversione e all'elevata flessibilità sul tipo di combustibile di alimentazione, aspetto questo che le rende particolarmente adatte per l'alimentazione diretta con i carrier di idrogeno alternativi, come l'ammoniaca o i LOHCs (Liquid Organic Hydrogen Carriers); infatti, grazie alle elevate temperature di esercizio (700-1.000°C) le celle SOFC sono in grado di realizzare la conversione interna del combustibile in idrogeno senza la necessità di dispositivi dedicati esterni (reattori di cracking e di reforming). Pertanto, l'utilizzo delle SOFC può semplificare l'architettura dei sistemi energetici, ma la gestione termica è più complessa e le prestazioni devono essere verificate. Diverse questioni riguardanti l'integrazione di sistema, la durabilità, l'efficienza e la sicurezza delle SOFC alimentate con vettori liquidi richiedono

ulteriori attività di ricerca e sviluppo soprattutto se queste tecnologie devono essere applicate per la propulsione delle navi.

In particolare, le attività di ricerca riguarderanno:

- Individuazione dei profili di missione (in porto ed in navigazione) in base al tipo di nave;
- Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari (scambiatori, sistemi di accumulo, etc.) per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico innovativo, tenendo conto di tutte le problematiche relative alla sicurezza, al peso e al volume;
- Definizione di diverse configurazioni impiantistiche in base alla tipologia di nave e del profilo di missione;
- Sviluppo di modelli numerici per l'analisi del comportamento e la valutazione delle prestazioni dei singoli componenti. Nello specifico, il modello della cella SOFC consentirà di prevedere le prestazioni al variare del tipo di *hydrogen carrier* per diverse condizioni operative quali temperatura di esercizio, fattore di utilizzo del combustibile, ecc. I parametri elettrochimici della cella che possono anche essere considerati parametri di fitting, saranno calcolati o assegnati utilizzando i dati disponibili in letteratura e seguendo due criteri: a) la coerenza fisica con i fenomeni elettrochimici che si verificano nella cella e le caratteristiche chimiche dei componenti della cella, b) la migliore corrispondenza dei dati numerici con le misure sperimentali. L'accuratezza dei modelli sarà verificata attraverso la validazione con dati sperimentali disponibili nella letteratura scientifica,
- Sviluppo di modelli *system-level* in grado di definire le condizioni operative ottimali e di valutare le prestazioni delle configurazioni impiantistiche definite in termini di efficienza, densità di potenza ed emissioni. Il BOP di ciascuna configurazione sarà sviluppato considerando il tipo di carrier di idrogeno e i vincoli per il suo utilizzo in termini di gestione del calore, regolazione della pressione, portate massiche e composizione e caratteristiche dei flussi di alimentazione degli stack;
- Analisi della gestione termica degli stack. Questo aspetto verrà analizzato sviluppando strategie di ottimizzazione incentrate sul recupero energetico e criteri di progettazione ad alta efficienza, nonché sui vincoli di massa e volume;
- Caratterizzazione sperimentale del e performance elettrochimiche di sistemi SOFC di varia taglia alimentati con alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH₃, LOHC).

La presente linea di attività contribuirà a:

- Aumentare la comprensione e colmare la lacuna esistente nella conoscenza dell'utilizzo dei carrier di idrogeno nel settore marittimo;
- Caratterizzare il comportamento e definire le prestazioni di short stacks SOFC alimentati direttamente con hydrogen carriers in un ampio range di funzionamento.
- Definire le soluzioni tecnologicamente più idonee, in termini di componenti, processi e configurazioni per l'introduzione di carrier di idrogeno a bordo delle navi favorendo la transizione verso l'economia dell'idrogeno nel settore marittimo.
- Dimostrare la fattibilità tecnica e i vantaggi ambientali legati all'impiego di celle a combustibile ad alta temperatura direttamente alimentate con ammoniaca e LOHC, come sistemi di propulsione per applicazione navale.
- Definire architetture e configurazioni di sistema ottimali per il raggiungimento di efficienze complessive nel range 45-55 %.
- Fornire nuovi concetti di progettazione per l'integrazione di sistema secondo approcci funzionali ed economici considerando architetture modulari, scalabili e adattabili.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi di

Salerno, finalizzata allo studio e definizione di modelli in grado di definire le condizioni operative ottimali e di valutare le prestazioni delle configurazioni impiantistiche ipotizzate.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività saranno ottenuti attraverso modelli di simulazione e valutazioni sperimentali su scala di laboratorio relativi a componenti chiave per l'implementazione degli hydrogen carriers nella propulsione marittima. Tali risultati potranno fornire un utile riferimento per la progettazione, lo sviluppo e la gestione di sistemi ingegneristici complessi come quelli installati a bordo delle navi. I risultati di queste attività saranno disponibili in termini di indicatori di prestazione come il consumo di combustibile, l'efficienza energetica del sistema e le emissioni. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.3.4.1 [M12]	Identificazione dei profili di missione di casi studio identificati
M3.3.4.2 [M24]	Definizione del layout del sistema SOFC
M3.3.4.3 [M30]	Definizione della modello del sistema integrato
M3.3.4.4 [M42]	Configurazioni ottimali di sistemi integrati basati su unità SOFC alimentate con carriers di idrogeno

Output:

D3.3.4.1 [M12]	Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico innovativo basato su tecnologia SOFC ed alimentato con carrier di idrogeno"
D3.3.4.2 [M24]	Rapporto tecnico "Definizione delle configurazioni impiantistiche in base alla tipologia di nave, al profilo di missione e al carrier di idrogeno"
D3.3.4.3 [M42]	Rapporto tecnico "Report tecnico sui risultati delle attività di modellazione relative ai componenti e al sistema integrato per le configurazioni ottimali individuate"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.3 – LA 3.3.5

Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile a bassa temperatura alimentate a idrogeno puro o carrier alternativi (NH₃, LOHC) per applicazioni nel trasporto marittimo, ferroviario e aeronautico

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 178.400,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 267.600,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 267.600,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 178.400,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 892.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo studio e all'ottimizzazione di configurazioni impiantistiche innovative basate sulla tecnologia delle celle a combustibile a membrana polimerica (PEM FC) nel settore marittimo, ferroviario e aeronautico. Le celle a combustibile PEMFC sono considerate la tecnologia innovativa più matura per l'impiego come sistema di potenza nel settore

dei trasporti grazie alla dinamica veloce, alle elevate efficienze di conversione, all'alta densità di potenza e zero emissioni se alimentate direttamente con idrogeno puro. L'alimentazione indiretta con *hydrogen carrier* come ammoniaca (NH₃) e LOHCs (liquid organic hydrogen carriers) richiede l'installazione di sistemi di fuel processing (cracking di NH₃ e reforming dei LOHCs) e di clean-up per assicurare elevata purezza.

Per la specifica applicazione del settore marittimo, verranno studiate per il sistema propulsivo sia configurazioni che prevedono l'alimentazione diretta con idrogeno puro, sia configurazioni più complesse basate sull'alimentazione indiretta con NH₃ e LOHCs. Particolare attenzione verrà posta al sistema di accumulo e di generazione di idrogeno tenendo conto sia di peso e ingombro sia dell'efficienza di conversione del sistema di fuel processing.

Nel settore ferroviario, l'obiettivo riguarderà la definizione di un sistema di powertrain ibrido PEMFC/batteria per la sostituzione dell'unità di potenza diesel-elettrico attualmente installata sulle locomotive circolanti sulle reti non elettrificate. L'architettura ibrida consentirà di contenere le taglie e ridurre i costi.

Per quanto riguarda il settore aeronautico, verranno considerati i velivoli a corto raggio e studiati sistemi PEMFC alimentati con idrogeno puro sia come APU (auxiliary power unit), secondo l'approccio "more electric aircraft", sia come unità propulsive secondo l'approccio "all electric aircraft". Lo studio sarà incentrato sull'ottimizzazione dell'energia specifica del sistema energetico.

In particolare, le attività di ricerca riguarderanno:

- Definizione e analisi dei profili di missione per i diversi campi di applicazione in ambito mobilità (nave, treno ed aereo);
- Selezione dei componenti e definizione delle configurazioni impiantistiche dei sistemi con celle PEMFC alimentate con idrogeno puro per il settore navale tenendo conto delle criticità relative al peso, al volume e alla sicurezza a bordo;
- Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari (scambiatori, cracker/reformer, etc) per assicurare il funzionamento ottimale dei sistemi con celle PEMFC alimentate con hydrogen carriers e definizione delle relative configurazioni impiantistiche per il settore navale tenendo conto delle criticità relative alla produzione di idrogeno a bordo;
- Selezione dei componenti e definizione delle configurazioni impiantistiche dei sistemi con celle PEMFC alimentate con idrogeno puro per il settore ferroviario, tenendo conto delle criticità relative al peso, al volume e alla sicurezza a bordo;
- Selezione dei componenti e definizione delle configurazioni impiantistiche dei sistemi con celle PEMFC alimentate con idrogeno puro per il settore aeronautico per realizzazioni APU e applicazione propulsiva tenendo conto delle criticità relative all'ottimizzazione dell'energia specifica;
- Sviluppo di modelli di simulazione e ottimizzazione per l'analisi e la valutazione delle prestazioni del sistema energetico al variare delle condizioni operative e del tipo di alimentazione. In ambito navale, l'utilizzo di hydrogen carrier richiederà lo sviluppo di modelli termochimici per la simulazione dell'unità di fuel processing. Il BOP di ciascuna configurazione sarà sviluppato considerando il tipo di combustibile e i vincoli per il suo utilizzo. La gestione termica degli stack e del sistema integrato verrà analizzata sviluppando strategie di ottimizzazione incentrate sul recupero energetico. I risultati saranno disponibili in termini di indicatori come consumo di combustibile, energia specifica ed emissioni;
- Valutazioni tecnico-economiche sulle possibili soluzioni individuate.

La presente linea di attività contribuirà a:

- Aumentare la comprensione e la conoscenza sull'impiego di idrogeno e di carrier di idrogeno nel settore marittimo, ferroviario e aeronautico;

- Dimostrare la fattibilità tecnica di sistemi propulsivi con celle a combustibile PEM, alimentate in modo diretto con idrogeno puro e in modo indiretto con ammoniaca e LOHCs, per applicazioni navali;
- Dimostrare la fattibilità tecnica di sistemi propulsivi con celle a combustibile PEM, alimentate con idrogeno puro, per applicazioni ferroviarie;
- Dimostrare la fattibilità tecnica di celle a combustibile PEM, alimentate con idrogeno puro, sia come sistemi APU che come sistemi di propulsione per applicazioni aeronautiche;
- Definire le configurazioni tecnologicamente più idonee, in termini di componenti e processi, per realizzare sistemi con celle a combustibile PEM così da favorire la transizione verso l'economia dell'idrogeno nel settore marittimo, ferroviario e aeronautico;
- Definire architetture e configurazioni di sistema ottimali per il raggiungimento di efficienze complessive > 40%;
- Fornire nuovi concetti di progettazione per l'integrazione di sistema secondo approcci funzionali ed economici considerando architetture modulari, compatte e leggere.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi di Trieste, finalizzata allo studio e definizione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile a bassa temperatura alimentate a idrogeno puro o carrier alternativi per applicazioni nel trasporto marittimo.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività consentiranno di definire l'architettura di sistema ottimale, di stimare le efficienze di conversione, di valutare la fattibilità economica delle soluzioni basate sulle tecnologie ad idrogeno così da fornire tutti gli strumenti necessari per avviare il processo di decarbonizzazione in ambito marittimo, ferroviario e aeronautico. I modelli numerici sviluppati potranno fornire un utile supporto alla progettazione e alla gestione di sistemi ingegneristici complessi come quelli che si rendono necessari per le applicazioni propulsive. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.3.5.1 [M12]	Identificazione dei profili di missione di casi studio identificati
M3.3.5.2 [M24]	Layouts dei sistemi PEMFC alimentati a idrogeno o LOHC per applicazioni navali
M3.3.5.3 [M27]	Layout del sistema PEMFC/batteria alimentato a idrogeno per applicazioni ferroviarie
M3.3.5.4 [M30]	Layouts dei sistemi PEMFC alimentati a idrogeno per applicazioni aeronautiche
M3.3.5.5 [M30]	Configurazioni ottimali di sistemi integrati basati su unità PEMFC alimentate con idrogeno e carriers di idrogeno per applicazioni navali
M3.3.5.6 [M33]	Configurazioni ottimali di sistemi integrati basati su unità PEMFC alimentate con idrogeno e carriers di idrogeno per applicazioni ferroviarie
M3.3.5.7 [M36]	Configurazioni ottimali di sistemi integrati basati su unità PEMFC alimentate con idrogeno e carriers di idrogeno per applicazioni aeronautiche

Output:

D3.3.5.1 [M24]	Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione e al carrier di idrogeno per applicazioni navali"
----------------	--

D3.3.5.2 [M27]	Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione per applicazioni ferroviarie"
D3.3.5.3 [M30]	Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC (APU e unità propulsiva) e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione per applicazioni aeronautiche"
D3.3.5.4 [M36]	Rapporto tecnico "Sviluppo dei modelli numerici, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni navali"
D3.3.5.5 [M39]	Rapporto tecnico "Sviluppo dei modelli, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni ferroviarie"
D3.3.5.6 [M42]	Rapporto tecnico "Sviluppo dei modelli numerici, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni aeronautiche"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.3 – LA 3.3.6

Sviluppo di celle a combustibile per applicazioni on-board e in aree portuali e validazione in stack prototipali

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Laura Andaloro

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 107.145,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 203.787,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 158.787,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 90.281,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 560.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo sviluppo di celle a combustibile per applicazioni on-board e in aree portuali e successiva validazione in stack prototipali. Partendo dalle esperienze pregresse, l'attività focalizzerà l'attenzione sui risultati ottenuti nelle precedenti attività per validarne i risultati e identificare lo stato di fatto ed i target a cui puntare. A tal fine si realizzerà una cella singola di piccola area (circa 25-30 cm²) che consentirà di testare le prestazioni elettriche. Parallelamente si valuteranno e confronteranno in laboratorio MEA aventi carichi di catalizzatore e spessore della membrana diversi. Si svolgerà uno studio preliminare di valutazione delle proprietà di infiammabilità dei materiali. In seguito, l'attività prevederà l'up-grade da cella singola a short-stack di bassa potenza (300-500 W) basato su un'area di cella più ampia (200-300 cm²). Si effettuerà un pre-dimensionamento dello short-stack per definire l'area attiva di cella e tutti i parametri di funzionamento in grado di garantire un'efficienza energetica pari al 62%. Si definirà quindi il design e il volume d'ingombro dello short-stack. Si valuteranno i materiali dei componenti dello short stack supportando la scelta dei materiali tramite lo studio sui materiali svolto nell'anno precedente. Si valuteranno le tecnologie di produzione dei componenti di stack (fresatura, stampaggio,

fotoincisione) e si realizzerà lo short-stack da 3 e 5 kW. Sono previsti, quindi, test statici (di tenuta) ed elettrochimici sullo short-stack per validare le scelte effettuate o proporre eventuali scelte alternative. Inoltre, presso il laboratorio di sloshing-INM, si eseguiranno prove di moti forzati 6DOF, che simuleranno i moti di una piattaforma galleggiante in mare formato, eventualmente scalati per riprodurre velocità e accelerazioni massime. Cio' al fine di avere un feedback delle prestazioni dello short-stack anche dal punto di vista meccanico. In una seconda fase si valuterà la possibilità di ripetere simili test su una piattaforma oscillante 2DOF/3DOF, progettata ad-hoc e direttamente implementata presso il laboratorio elettrochimico dell'ITAE, valutando l'eventuale influenza dei moti sui parametri fisico-chimici, e non solo meccanici, dello stack stesso. Successivamente, l'attività prevederà il dimensionamento e lo sviluppo di uno stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW, basato sulla geometria dello short-stack già realizzato. I materiali saranno quelli identificati precedentemente. Infine, si realizzerà lo stack finale e si svolgeranno test finalizzati a valutare le performance operative in aria arricchita, ovvero con una percentuale di ossigeno > 25%. Non si esclude la possibilità di andare via via aumentando la percentuale di ossigeno per valutare e confrontare le prestazioni in diverse condizioni. Anche in questo caso si intende sottoporre lo stack finale ai test di moto forzato.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività consentiranno di sviluppare celle a combustibile per applicazioni on-board e in aree portuali. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.3.6.1 [M9]	Validare i risultati raggiunti in precedenti progetti e confrontarli con lo stato dell'arte
M3.3.6.2 [M12]	Identificare i materiali che dovranno essere impiegato per lo sviluppo dello short-stack previsto nell'anno successivo
M3.3.6.3 [M15]	Definire il pre-dimensionamento di uno short-stack con potenza compresa tra 300 e 500 W
M3.3.6.4 [M18]	Identificare tutti parametri operativi in grado di garantire un'efficienza energetica maggiore o uguale al 62% operando in aria arricchita (> 25% di ossigeno)
M3.3.6.5 [M21]	Individuare le tecnologie di produzione dei componenti dello stack (fresatura, stampaggio, fotoincisione)
M3.3.6.6 [M24]	Realizzare uno short-stack con potenza compresa tra 300 e 500 W
M3.3.6.7 [M27]	Test statici ed elettrochimici sullo short-stack per validare le scelte effettuate o eventualmente proporre scelte alternative
M3.3.6.8 [M30]	Prove di moti forzati sullo short-stack
M3.3.6.9 [M36]	Dimensionamento finale di uno stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW
M3.3.6.10 [M36]	Sviluppo dello stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW
M3.3.6.11 [M39]	Test statici ed elettrochimici sullo stack finale rivolti a valutare le performance operative in aria arricchita (ossigeno > 25%)
M3.3.6.12 [M42]	Prove di moti forzati sullo stack finale

Output:

D3.3.6.1 [M12]	Rapporto tecnico "Risultati ottenibili nell'ambito dell'utilizzo di aria arricchita al catodo sulla base delle esperienze pregresse del CNR ITAE. Valutazione di diversi MEA da poter impiegare"
D3.3.6.2 [M18]	Rapporto tecnico "Pre-dimensionamento dello short-stack. Prototipo di short-stack di bassa potenza (300-500 W)"

- | | |
|----------------|---|
| D3.3.6.3 [M24] | Rapporto tecnico “Test statici (di tenuta), elettrochimici e di moti forzati sullo short-stack” |
| D3.3.6.4 [M36] | Rapporto tecnico “Dimensionamento e allo sviluppo di uno stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW. Prototipo di stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW” |
| D3.3.6.5 [M42] | Rapporto tecnico “Test (statici, elettrochimici e di moti forzati, eventualmente accoppiati) eseguiti sullo stack finale da 3 - 5 kW di potenza” |

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.3 – LA 3.3.7

Sviluppo di stack innovativi SOFC alimentati con carrier liquidi di idrogeno, quali glicole ed ammoniac, come proof-of-concept per applicazioni in aviazione includendo le applicazioni in droni

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Marco Ferraro

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 63.700,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 121.222,63

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 164.401,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 50.676,37

Costo LA (escluse spese generali): € 400.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività è finalizzata allo sviluppo di stack innovativi SOFC alimentati con carrier liquidi di idrogeno per diverse applicazioni. Uno degli aspetti su cui sono fortemente concentrati gli sforzi a livello governativo e industriale per ridurre gli impatti ambientali e migliorare le prestazioni sicuramente la gestione dell’energia a bordo dei velivoli: il management energetico coinvolge infatti tutti gli aspetti legati alla generazione, all’accumulo, alla distribuzione e al consumo di energia a bordo velivolo. Inserendosi in questo preciso contesto, il progetto si propone di impostare, valutare, analizzare e sviluppare architetture propulsive elettriche ibride (SOFC/Batterie/supercap) per applicazioni UAV e Aviazione Generale che permettano di ottimizzare le prestazioni in termini di gestione dell’energia a bordo velivolo. Al giorno d’oggi la maggior parte dei velivoli General Aviation sono equipaggiati con motori ad architettura tradizionale, raffreddati ad aria e alimentati a benzina avio (contenente piombo). Gli impatti ambientali così come la disponibilità del combustibile rappresentano per l’industria e i governi un motivo di preoccupazione (si tenga conto delle forti pressioni per eliminare la presenza del piombo nei combustibili) e ci si sta quindi orientando allo sviluppo di soluzioni alternative. Considerando il mercato americano, la benzina avio è stata individuata come la prima sorgente singola di emissioni di piombo sul territorio degli United States da parte della U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (il piombo è una sostanza neurotossica che danneggia in modo rilevante la salute e per il quale non esiste un livello di esposizione considerabile come sicuro). Per ovviare a questa problematica, sono in fase di sviluppo sistemi propulsivi per applicazioni aeronautiche che prevedono lo sviluppo di architetture “more electrical”. Una delle soluzioni consiste nell’utilizzo di sistemi a celle a combustibile alimentati ad idrogeno: tale approccio permette infatti di sfruttare appieno l’evoluzione tecnologica condotta su questo tipo di propulsore in ambito automotive e di uniformare il combustibile utilizzato in aeronautica (le celle a combustibile possono, infatti, essere alimentate con combustibili o certificati, es. glicole). Ad oggi le

PEFC alimentate ad idrogeno offrono un'interessante piattaforma propulsiva sia per velivoli appartenenti all'Aviazione Generale, sia per velivoli UAV con potenze fino a circa 300 kW. Tuttavia, la necessità di accumulare e utilizzare idrogeno a bordo e la necessità di dotare tutte le infrastrutture aeroportuali (anche di piccole dimensioni) delle necessarie infrastrutture per i rifornimenti a terra limitano le potenzialità offerte dai sistemi a celle a combustibile. Le SOFC, con le loro implicite capacità di essere alimentate da un ampio range di combustibili offrono la possibilità di sviluppare sistemi per l'Aviazione Generale che possano essere alimentati con combustibili "verdi" (es. ammoniaca verde) o già certificati per uso aeronautico (es. glicole). Vi sono oggi due sfide da affrontare: il miglioramento tecnologico del dispositivo e la sua integrazione in prodotti a specifica industriale. La realizzazione di prodotti destinati al mercato prevede una attenta valutazione dei target di efficienza e di costo una puntuale individuazione degli sviluppi tecnologici, di processo e normativi necessari a promuovere la penetrazione di sistemi SOFC in applicazioni aerospaziali; tutto ciò richiede una estesa fase di sviluppo di prototipi di SOFC capaci di operare con diversi combustibili (fuel flexibility) e a diverse condizioni di carico elettrico. L'obiettivo principale del progetto consiste nella valutazione e nella verifica dell'efficacia di architetture ibride avanzate (SOFC/Batterie/Supercap) multifuel per applicazioni aeronautiche (UAV e GA), la realizzazione di un dimostratore tecnologico a banco.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività consentiranno di sviluppare architetture ibride avanzate (SOFC/Batterie/Supercap) multifuel per applicazioni aeronautiche (UAV e GA) e di realizzare un dimostratore tecnologico a banco. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- | | |
|----------------|--|
| M3.3.7.1 [M9] | Caratterizzazione button-cell SOFC alimentate con ammoniaca, glicole, toluene, bioalcoli con le seguenti configurazioni anodo/elettrolita/catodo (spessore, μm): Celle planari: Ni-YSZ/Ni-YSZ/YSZ/LSMYSZ; Celle planari: Ni-YSZ (1.000)/Ni-YSZ(7)/ZrO ₂ -based oxide(7)/Perovskite-typeoxide(30); Celle planari: Ni-GDC(40)/ScSZ(165)/LSMScSZ(45) |
| M3.3.7.2 [M12] | Analisi termodinamica e cinetica delle reazioni e individuazione delle migliori condizioni operative per la realizzazione dello stack a scala kW |
| M3.3.7.3 [M15] | Analisi degli eco-profilo delle singole celle SO per la definizione di linee guida per l'eco-design del prototipo finale |
| M3.3.7.4 [M18] | Caratterizzazione di catalizzatori strutturati (su supporto ceramico e/o metallico) a base Ni, Fe, e Cu per il pre-reforming di ammoniaca, glicole, toluene, bioalcoli |
| M3.3.7.5 [M24] | Analisi degli eco-profilo dei catalizzatori strutturati per la definizione di linee guida per l'eco-design del prototipo finale |
| M3.3.7.6 [M30] | Sviluppo e caratterizzazione di un prototipo di stack SOFC con potenza elettrica nel range 1-3 kW e alimentato con diversi combustibili liquidi (ammoniaca, glicole, toluene, bioalcoli) |
| M3.3.7.7 [M33] | Sviluppo di un pre-reformer con catalizzatori strutturati base Ni, Fe, o CU per essere accoppiato allo stack SOFC 1-3 kW |
| M3.3.7.8 [M36] | Sviluppo di un modello matematico basato su Reti Neurali e Machine Learning per il controllo ottimale del sistema e la riduzione del degrado e l'incremento della vita utile |
| M3.3.7.9 [M42] | Analisi degli ecoprofilo dello stack SOFC e del prereformer. Eco-design del sistema integrato Stack SOFC/pre-reformer |

M3.3.7.10 [M42] Sviluppo del sistema integrato stack SOFC-prereformer-batterie e caratterizzazione con alimentazione multifuel: il prototipo sarà dotato di sistema di controllo ed integrato ad un pacco batterie o supercap per essere caratterizzato in condizioni operative e missioni d'uso "aeronautiche"

Output:

D3.3.7.1 [M9] Rapporto tecnico "Caratterizzazione button-cell SOFC alimentate con ammoniac, glicole, toluene, bioalcoli e Analisi termodinamica e cinetica delle reazioni e individuazione delle migliori condizioni operative per la realizzazione dello stack a scala kW"

D3.3.7.2 [M12] Rapporto tecnico "Analisi degli eco-profilo delle singole celle SO per la definizione di linee guida per l'eco-design del prototipo finale"

D3.3.7.3 [M18] Rapporto: "Caratterizzazione di catalizzatori strutturati (su supporto ceramico e/o metallico) a base Ni, Fe, e Cu per il pre-reforming di ammoniac, glicole, toluene, bioalcoli"

D3.3.7.4 [M24] Rapporto tecnico "Analisi degli eco-profilo dei catalizzatori strutturati per la definizione di linee guida per l'eco-design del prototipo finale"

D3.3.7.5 [M30] Prototipo di stack SOFC con potenza elettrica nel range 1-3 kW e alimentato con diversi combustibili liquidi (ammoniac, glicole, toluene, bioalcoli)

D3.3.7.6 [M36] Prototipo pre-reformer con catalizzatori strutturati base Ni, Fe, o CU per essere accoppiato allo stack SOFC 1-3 kW

D3.3.7.7 [M39] Rapporto tecnico "Sviluppo di un modello matematico basato su Reti Neurali e Machine Learning per il controllo ottimale del sistema e la riduzione del degrado e l'incremento della vita utile"

D3.3.7.8 [M39] Rapporto tecnico "Analisi degli eco-profilo dello stack SOFC e del prereformer. Eco-design del sistema integrato Stack SOFC/pre-reformer"

D3.3.7.9 [M42] Prototipo sistema integrato stack SOFC-prereformer-batterie e caratterizzazione con alimentazione multifuel

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.4 - Ricerca e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile alimentate con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionali, per applicazioni stazionarie e per comunità energetiche locali

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Obiettivi:

In un contesto di grande fermento internazionale per l'utilizzo di idrogeno, lo sviluppo di celle a combustibile che siano in grado di utilizzare miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionali, risulta di rilevante importanza soprattutto in una fase di transizione che porterà all'utilizzo di idrogeno puro in tutti i sistemi.

Nel caso della generazione distribuita di potenza, le celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFCs) si stanno ormai affacciando sul mercato reale. Il loro intenso sviluppo negli ultimi anni ha portato alla crescita di diverse realtà industriali in tutta Europa, sebbene ancora su scala ridotta, che vanno dallo sviluppo e alla produzione delle singole celle fino alla realizzazione e commercializzazione di moduli cogenerativi di piccola taglia (qualche kW), per approdare alla realizzazione e integrazione di pilota di co- e tri- generazione distribuita di varia natura e di taglia di potenza più elevata (centinaia di kW).

WP3.4 - LA 3.4.1

Studio parametrico dei principali meccanismi di degrado legati all'utilizzo di miscele di gas non convenzionali in sistemi SOFC

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 500.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 330.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 264.930,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.294.930,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività si propone di sviluppare metodologie sperimentali in grado di determinare con precisione la natura dei fenomeni di degrado relativi a celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC) alimentate con miscele di gas non convenzionali in presenza di contaminanti, che possono risultare dannosi per cella. L'obiettivo specifico della linea di attività è quello di individuare, per ciascun tipo di contaminante, le interazioni dei singoli contaminanti con i processi fisico-chimici che avvengono in cella e le mutue interazioni nella compresenza di contaminanti, e definire limiti di tolleranza per le principali specie chimiche nocive.

Per raggiungere i sopracitati obiettivi, si farà ricorso ad un'estensiva campagna sperimentale dove verranno investigati i meccanismi di degrado dei principali contaminanti (organici ed inorganici, odorizzanti) tipicamente contenuti in: a) gas provenienti dalla gassificazione di biomasse, b) gas provenienti dalla digestione anaerobica di rifiuti organici, c) miscele idrogeno-gas naturale (qualità gas di rete, odorizzato).

In entrambi i casi si farà ricorso a due campagne sperimentali su campioni di diversa scala.

Una prima campagna sperimentale, strutturata sull'analisi di celle di ridotte dimensioni (area attiva 2 cm^2) alimentate con miscele di gas con concentrazioni tipiche delle varie miscele non convenzionali identificate, avrà come scopo quello di identificare con precisione l'impatto dei contaminanti (perdite di performance per accumulazione o istantanee), forniti in diverse concentrazioni, singoli e in compresenza, sui fenomeni chimico fisici che determinano le prestazioni finali delle celle in condizioni di esercizio rappresentative in termini di temperatura, carico elettrico e durata. A tal fine, si farà ricorso ad indagine parametrica ad ampio spettro alla quale verrà applicata la spettroscopia di impedenza elettrochimica (EIS), riconosciuta come la tecnica elettrochimica con la più alta sensibilità, i cui risultati verranno ulteriormente processati attraverso tecniche di deconvoluzione di processi avanzati quali l'analisi della distribuzione dei tempi di rilassamento (DRT). Questa prima campagna porterà all'individuazione dei processi maggiormente impattati ed i possibili limiti di tolleranza per ciascun contaminante.

L'analisi elettrochimica sarà coadiuvata, ove possibile, con procedure di caratterizzazione post-test (con tecniche quali - ad esempio - SEM-EDX, XRD, TGA, Raman, BET, etc.) per osservare l'eventuale interazione del contaminante con la microstruttura/morfologia del materiale dell'elettrodo anodico e della cella nel suo insieme.

I risultati della prima campagna verranno sfruttati in una seconda fase sperimentale, dove campioni di celle SOFC di dimensioni realistiche (100 cm^2), verranno testati riproducendo le condizioni reali per l'applicazione con syngas o biogas (carico elettrico, fattore di utilizzo del gas combustibile), e nelle quali verranno inseriti i contaminanti in concentrazioni analoghe a quelle determinate nella prima fase sperimentale. In questa campagna si valuteranno, in condizioni scalate, come le condizioni di operazione reali (in termini di fattori di utilizzo del gas combustibile simili alle applicazioni industriali e presenza di gradienti termici, chimici, meccanici ed elettrochimici all'interno della cella stessa) incidano (positivamente o negativamente) sulla tolleranza delle SOFC per tali contaminanti. Attraverso analisi elettrochimiche, di composizione di gas e di caratterizzazione post-test si quantificheranno le eventuali perdite di prestazioni in test di lunga durata, il meccanismo di interazione tra contaminanti ed elementi di cella. Infine, si valuterà, a livello di cella SOFC di dimensioni realistiche (100 cm^2), la natura reversibile o irreversibile del degrado mediante rigenerazione con combustibile pulito a seguito dei test di lunga durata.

La linea di attività prevede, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze negli specifici settori di interesse, una collaborazione con il Politecnico di Torino, finalizzata allo studio dell'effetto dei contaminanti nei sistemi basati su celle a combustibile SOFC ed una collaborazione con l'Università degli Studi di Cassino, finalizzata allo sviluppo e validazione di un modello matematico tridimensionale, in grado di descrivere la distribuzione di pressione, velocità, temperatura e concentrazione di prodotti e reagenti all'interno di una cella.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di metodologie sperimentali in grado di determinare con precisione la natura dei fenomeni di degrado di SOFC alimentate con miscele di gas non convenzionali ed in presenza di contaminanti. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- M3.4.1.1 [M6] Individuazione delle principali specie chimiche considerate nocive per le SOFC e prodotte da: a) processi di gassificazione di biomasse, b) processi di digestione anaerobica dei rifiuti organici, c) miscele idrogeno-gas naturale (qualità gas di rete, odorizzato)
- M3.4.1.2 [M9] Sviluppo di una procedura per l'identificazione e la quantificazione dei meccanismi di contaminazione a carico delle principali specie contaminanti

- M3.4.1.3 [M21] Determinazione dei livelli di tolleranza per almeno: a) 3 dei principali contaminanti nei gas da digestione anaerobica, b) 3 dei principali contaminanti nei gas da gassificazione di biomasse, c) 3 dei principali contaminanti in miscele idrogeno-gas naturale (qualità gas di rete, odorizzato)
- M3.4.1.4 [M30] Determinazione e quantificazione dell'impatto della mutua compresenza delle specie contaminanti individuate sui processi chimico-fisici dei campioni SOFC
- M3.4.1.5 [M42] Quantificazione dell'impatto delle condizioni reali di operazione sui meccanismi di contaminazione e analisi della reversibilità dei fenomeni di degrado

Output:

- D3.4.1.1 [M12] Rapporto tecnico "Individuazione dei principali contaminanti presenti nei combustibili prodotti da: a) digestione anaerobica, b) gassificazione di biomasse, c) miscele di idrogeno-gas naturale (gas naturale di rete, odorizzato)"
- D3.4.1.2 [M30] Rapporto tecnico "Procedura sperimentale per l'identificazione e la quantificazione dei meccanismi di contaminazione e indicazioni delle linee guida sui limiti di tolleranza"
- D3.4.1.3 [M42] Rapporto tecnico "Impatto dei contaminanti in condizioni realistiche e analisi della reversibilità dei fenomeni di degrado"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP3.4 - LA 3.4.2

Sviluppo di stack innovativi SOFC con caratteristiche di "fuel flexibility" alimentati con miscele di idrogeno e gas naturale per applicazioni stazionarie CHP- combined heat and power

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Massimiliano Lo Faro

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 30.975,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 92.675,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 117.475,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 118.875,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 360.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività si propone di semplificare i dispositivi elettrochimici basati su celle ad ossido solido (SOFC) che operano a condizioni termodinamiche e cinetiche favorevoli per poter essere flessibili e compatti. Tuttavia, i dispositivi attuali richiedono l'accoppiato ad i) un processore chimico che trasforma i biocombustibili in syngas, e ad ii) un purificatore a carboni attivi per l'eliminazione di inquinanti o odorizzanti a base di zolfo. Questi due apparati aggiuntivi rappresentano la fase di pretrattamento del combustibile che oltre a rendere costoso l'impianto e complessa la sua gestione, non danno sufficiente sicurezza e flessibilità d'uso oltreché essere causa di una minore efficienza dell'intero sistema di generazione di potenza. Pertanto, al fine di promuovere la diffusione su larga scala di questi dispositivi per la generazione di potenza è indispensabile dimostrare un prototipo SOFC che sia al contempo privo di complessità di gestione

(semplice), flessibile all'impiego di combustibile e senza eccessivi apparati aggiuntivi che ne compromettano la compattezza, il trasporto e l'installazione.

Presso il CNR sono in fase di studio materiali e componenti SOFC che hanno dimostrato la possibilità di realizzare celle a combustibile alimentate con miscele di gas contenenti idrogeno, syngas e biocombustibili a basso peso molecolare (biogas, bioetanolo e glicerolo) senza l'impiego di acqua ed in grado di effettuare l'ossidazione del combustibile direttamente in cella. Lo stesso approccio ha dimostrato di poter aumentare la resistenza delle celle commerciali all'avvelenamento da H₂S almeno entro i limiti imposti dal quadro normativo in tema di odorizzazione dei combustibili. Oltre alla indubbia semplificazione dell'intero sistema, questo approccio ha in linea di principio dei risvolti vantaggiosi anche in termini di efficienza poiché può essere alimentato con combustibili organici puri, come carrier di idrogeno, direttamente alla cella, ovvero offrire un maggiore contenuto energetico disponibile per essere convertito in potenza elettrica.

Si propone dunque di impiegare nuove formulazioni anodiche da integrare a celle commerciali in modo da promuovere una semplificazione (chemical processing) e purificazione del combustibile direttamente nell'alloggiamento anodico. Tale approccio può avvantaggiarsi delle condizioni ossidative derivanti dalla presenza di ossigeno ionico e dal meccanismo "shuttle" che attraverso una sequenza di reazioni chimiche consente l'ossidazione efficace del combustibile e la produzione di energia elettrica.

A partire da questi risultati ottenuti con celle di piccola dimensione (2 cm²), si intende dimostrare uno stack da almeno 3 celle come proof-of-concept di un dispositivo alimentato con idrogeno e biocombustibili allo scopo di valutare l'effettiva scalabilità per sistemi di cogenerazione di potenza e calore, ed eventualmente anche poligenerativi. L'approccio proposto consiste nell'impiego di strati protettivi anodici a base di perovskite exsolute o leghe di Ni in combinazione con uno scaffold ceramico a conduzione ionica da utilizzare in combinazione con celle commerciali.

L'attività prevede uno studio dettagliato dello stato dell'arte in relazione ai più promettenti materiali elettrocatalitici, alle più avanzate architetture di celle e alle metodiche di sintesi più efficaci. A valle di questa attività di studio, saranno selezionati e prodotti i materiali più promettenti. Si procederà con la realizzazione ed il testing di celle di piccole dimensioni per definire un protocollo di misure, determinare le caratteristiche chimico fisiche ed elettrochimiche delle celle multifuel e definire le prospettive di scalabilità su dispositivi di dimensioni pratiche. In seguito, si procederà con la realizzazione di celle a larga area con caratteristiche adatte per una successiva realizzazione di un mini-stack. Infine, l'attività si concluderà con la validazione di un ministack operante in condizioni multifuel e la valutazione del bilancio energetico.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano: analisi comparativa dei risultati ottenuti con lo stato dell'arte internazionale, selezione di un set di materiali per la verifica sperimentale del concetto di funzionamento; Sviluppo di celle prototipali di piccola dimensione con utilizzo dei materiali selezionati il primo anno. Sviluppo di anodi per l'utilizzo diretto di biocarburanti in quantità adeguate alla realizzazione di almeno 3 celle a larga area. Lo scale up della preparativa materiali riguarderà la definizione del protocollo per la produzione in batch significativi. La procedura dovrà garantire ripetibilità delle proprietà del prodotto; Realizzazione e testing di celle singole a larga area. In queste attività rientrano la preparazione di inchiostri e l'ottimizzazione delle procedure di deposizione e di trattamento termico per ottimizzare l'adesione tra lo strato protettivo e l'anodo; Realizzazione dello stack a partire da celle commerciali ricoperte con strato funzionale in grado da aumentare flessibilità all'uso di multifuel e resistenza all'avvelenamento da H₂S. Messa a punto dell'assemblaggio, del sealing elettrico e gas, e successivo testing elettrochimico e analisi chimico-fisica del dispositivo e dei materiali a fine vita. Il test dello stack in condizioni di laboratorio produrrà

i dati necessari a definire il bilancio energetico del sistema. I dati sperimentali saranno confrontati con i dati teorici attesi valutando le efficienze di produzione in configurazione CHP. Questa attività include l'analisi bilanci energetici e disegno di massima del sistema di recupero energetico per il CHP. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.4.2.1 [M3]	Individuazione tramite studio bibliografico delle composizioni anodiche innovative resistenti alla deposizione di carbone e all'avvelenamento di H ₂ S
M3.4.2.2 [M12]	Selezione di stechiometrie anodiche con proprietà superiori rispetto al riferimento commerciale costituito da Ni-YSZ
M3.4.2.3 [M15]	Nuove strategie sintetiche per l'ottenimento di polveri anodiche con purezza stechiometrica e strutturale
M3.4.2.4 [M21]	Slurries anodici ottimizzati per il coating di celle commerciali
M3.4.2.5 [M24]	Celle innovative planari per operare in condizioni multifuel e resistenti a H ₂ S
M3.4.2.6 [M33]	Scale-up procedura di fabbricazione celle a larga
M3.4.2.7 [M36]	Celle a larga area operanti in presenza di multifuel
M3.4.2.8 [M39]	Selezione migliori sealant compressivi per housing ferritici
M3.4.2.9 [M42]	Ministack da 3 celle
M3.4.2.10 [M42]	Determinazione delle caratteristiche elettriche di un ministack operante in condizioni multifuel

Output:

D3.4.2.1 [M12]	Rapporto tecnico "Review comparativa stato dell'arte internazionale sui materiali in via di sviluppo e loro caratterizzazione"
D3.4.2.2 [M12]	Rapporto tecnico "Metodologie e protocolli per la sintesi di laboratorio e la caratterizzazione delle fasi selezionate"
D3.4.2.3 [M24]	Batch di almeno 200 gr di catalizzatori anodici selezionati con proprietà di tolleranza H ₂ S superiore a 80 ppm e contenuto di C e S inferiore all'1% in peso valutato mediante analisi CHNS-O, dopo 1.000 ore di test in presenza di biocombustibile
D3.4.2.4 [M36]	Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di almeno 3 celle SOFC a larga area (25 cm ²) aventi una resistenza ohmica complessiva inferiore a 0,15 Ωcm ² a 750 °C"
D3.4.2.5 [M42]	Dimostrazione di un degrado inferiore al 10% / 1.000 h, misurato tramite curve I-V e perdite di gas inferiore al 10% misurata tramite GC o analisi di pressione. Bilancio energetico e disegno esecutivo dell'impianto CHP

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.4 - LA 3.4.3

Valutazione di soluzioni basate su celle a combustibile e accumulo di idrogeno in un sistema energetico locale

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Carlo Sandroni

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 240.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 202.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 732.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività si propone di valutare l'integrazione di soluzioni basate su semplificare celle a combustibile e accumulo di idrogeno in un sistema energetico locale. La produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile è uno dei pilastri su cui si fonda il processo di transizione ecologica e attraverso il quale sarà possibile il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione posti a livello nazionale ed internazionale. Inoltre, la decarbonizzazione di alcuni settori, come quello dei trasporti, della climatizzazione ambientale o della produzione di energia termica per usi di processo, spesso si basa, a sua volta, sull'elettrificazione e sullo sfruttamento di energia da fonte rinnovabile. Tuttavia, la disponibilità di queste fonti è spesso caratterizzata da forte aleatorietà spesso con dinamiche su orizzonti temporali stagionali. Ciò rende necessario lo sviluppo e l'impiego su larga scala tecnologie di accumulo di medio/lungo termine, che rendono possibile il soddisfacimento del fabbisogno energetico e il bilanciamento dell'intero sistema. In questo contesto, l'utilizzo del vettore idrogeno e la sua integrazione con quelli elettrico, termico e gas è una delle strade più promettenti per incrementare il tasso di utilizzo delle fonti rinnovabili. Infatti, l'eccesso di produzione di energia elettrica può essere utilizzato per la produzione di idrogeno verde attraverso opportuni dispositivi di conversione. Questo gas è stoccato per essere successivamente riconvertito in energia elettrica o termica e/o utilizzato, in loco o altrove tramite l'immissione nelle reti di trasporto del gas, per la decarbonizzazione di quei processi o settori difficili da elettrificare. L'attività di ricerca è volta ad analizzare la fattibilità tecnico-economica dello sfruttamento del vettore idrogeno o di sue miscele con biogas in contesti rurali o isolati caratterizzati da una debole o assente interconnessione al sistema di trasmissione nazionale o alla rete gas, e dove la dipendenza dai combustibili fossili è più accentuata. In particolare, si indagherà la fattibilità tecnico economica dell'utilizzo di celle a combustibile per la produzione combinata di energia elettrica e termica, alimentate a idrogeno e potenzialmente anche a biometano, e la sua integrazione in una micro-grid multi-vettore. Si svilupperanno metodologie per il dimensionamento ottimo di questi sistemi, con l'obiettivo di minimizzare, sull'intero orizzonte di funzionamento, l'utilizzo di fonti fossili, attraverso la massimizzazione dello sfruttamento di risorse rinnovabili locali. Sarà sviluppato un prototipo software in grado di simulare, con dettaglio orario e per un orizzonte temporale annuale, il funzionamento di questi sistemi e le loro interazioni, stimando i flussi di energia elettrica e termica e della disponibilità di idrogeno. Questo software consentirà di stimare gli impatti economici e ambientali sia legati all'utilizzo di una certa tecnologia che alle modalità di approvvigionamento o produzione dell'idrogeno e alle logiche con cui essa è integrata all'interno del sistema. Questo strumento sarà utilizzato per dimensionare i sistemi di conversione da installare nell'ambito di un progetto pilota dimostrativo in cui saranno impiegate diverse tecnologie, come ad esempio elettrolizzatori, celle a combustibile, sistemi di stoccaggio, che possano consentire il soddisfacimento del fabbisogno di un piccolo distretto energetico. L'obiettivo del dimostratore è quello di costruire un know-how consolidato circa il dimensionamento, analisi tecnico-economica e ambientale, la gestione ed esercizio di questi sistemi e la loro integrazione con le tecnologie di generazione esistenti. I risultati di questa attività saranno utili a verificare il potenziale e i benefici ottenibili tramite l'adozione di queste tecnologie. In particolare, potranno essere tratte best practices per la loro applicazione a diversi tipi di esigenze e saranno forniti utili indirizzi agli organi istituzionali competenti per lo sviluppo di politiche volte a stimolarne la diffusione.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano lo sviluppo di un prototipo software in grado di simulare, con dettaglio orario e per un orizzonte temporale annuale, il funzionamento di

questi sistemi e le loro interazioni, stimando i flussi di energia elettrica e termica e della disponibilità di idrogeno. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.4.3.1 [M6]	Indagine sui sistemi commerciali o pre-commerciali basati su celle a combustibile per la produzione combinata di energia elettrica e calore
M3.4.3.2 [M12]	Sviluppo di modellistica per la simulazione e il controllo di sistemi di cogenerazione basati su celle a combustibile
M3.4.3.3 [M18]	Individuazione di un impianto pilota su cui validare le soluzioni
M3.4.3.4 [M24]	Implementazione delle soluzioni progettate nell'impianto pilota individuato
M3.4.3.5 [M30]	Sperimentazione del sistema con varie miscele idrogeno-biogas + logiche di controllo per la gestione dell'accumulo stagionale
M3.4.3.6 [M36]	Analisi dei risultati sperimentali ottenuti

Output:

D3.4.3.1 [M12]	Rapporto tecnico "Simulazione tecnico-economica di un impianto di cogenerazione basato su fuel cell"
D3.4.3.2 [M24]	Rapporto tecnico "Individuazione e allestimento di un dimostratore di soluzioni di cogenerazione basate su fuel cell"
D3.4.3.3 [M36]	Rapporto tecnico "Sperimentazione di un impianto pilota di cogenerazione basato su fuel cell"
D3.4.3.4 [M42]	Rapporto tecnico "Analisi di scalabilità e replicabilità dei risultati ottenuti sugli impianti di cogenerazione basati su fuel cell considerati"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.4 - LA 3.4.4

Analisi delle problematiche di sicurezza relative all'utilizzo di celle a combustibile

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Giovanna Manzini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 10.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 30.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 25.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 22.400,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 87.400,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività si propone di valutare le problematiche di sicurezza relative all'utilizzo di celle a combustibile. Attualmente le applicazioni dell'idrogeno ed, in particolare, delle celle a combustibile stanno diventando rilevanti in ambito locale. Tale attività si pone l'obiettivo di valutare i rischi relativi alla presenza delle celle a combustibile (e.g. thermal runaway, fughe di idrogeno) in contesti applicativi reali, attraverso la messa a punto di metodologie per l'analisi dei problemi di sicurezza relativi ad installazioni concentrate o distribuite aventi celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili.

La messa in sicurezza di installazioni quali le suddette presenta problematiche non ancora risolte in molti casi. La scarsità di tali applicazioni e le particolarità dei sistemi in oggetto comportano, infatti, una scarsità di conoscenze specifiche e applicative che risulta ancor più rilevante nel caso di esempi di impianti a livello locale. Una corretta e completa profilatura di rischio potrebbe concorrere

utilmente alla gestione del processo di fornitura, posa ed installazione, compresi gli eventuali aspetti autorizzativi, di tali sistemi.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano l'identificazione di casistiche affrontate e dalle metodologie sviluppate per l'analisi dei problemi di sicurezza relativi ad installazioni concentrate o distribuite aventi celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.4.4.1 [M6]	Casi accidentali: identificazione e analisi della normativa tecnica e di legge di interesse per il settore
M3.4.4.2 [M12]	Casi accidentali: identificazione e analisi di casi che hanno comportato problematiche di sicurezza di rilievo
M3.4.4.3 [M18]	Metodi di analisi: descrizione delle procedure e modalità messe a punto per l'analisi di sicurezza dei casi di interesse
M3.4.4.4 [M24]	Metodi di analisi: sviluppo e affinamento procedure per l'analisi di sicurezza
M3.4.4.5 [M30]	Metodi di analisi: supporto allo sviluppo della normativa tecnica del settore in tema di analisi di sicurezza
M3.4.4.6 [M36]	Metodi di analisi: sviluppo guida tecnica del settore in tema di analisi di sicurezza
M3.4.4.7 [M42]	Metodi di analisi: completamento e validazione guida tecnica del settore in tema di analisi di sicurezza

Output:

D3.4.4.1 [M6]	Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Normativa tecnica e di legge"
D3.4.4.2 [M18]	Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Analisi di sicurezza di casi tipici"
D3.4.4.3 [M30]	Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Supporto allo sviluppo della normativa tecnica"
D3.4.4.4 [M42]	Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Una guida tecnica"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.5 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e sistemi innovativi di celle a combustibile, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

Realizzatore: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Obiettivi

Per la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno su larga scala il quadro evolutivo deve favorire lo sviluppo di una filiera integrata definendo priorità di azione che non sono solo di tipo puramente tecnologico. Dovranno, infatti, essere definite regole chiare e di agevole applicazione, sarà necessario individuare standard e procedure che consentano di validare e immettere sul mercato i nuovi prodotti, bisognerà formare per tempo nuove figure professionali che possano sostenere il mercato non appena sarà pronto a partire. L'obiettivo principale del WP è di proporre possibili soluzioni per il superamento di alcune delle suddette barriere mettendo a disposizione infrastrutture e laboratori di ricerca per la conduzione di attività sperimentali di tipo pre-normativo, per la definizione di standard, per il metering, effettuare analisi di tipo tecnico-economico, per supportare la formazione di figure professionali.

WP3.5 - LA 3.5.1

***Realizzazione di un testing-hub per caratterizzare e validare le prestazioni di dispositivi SOCs, prototipali o commerciali, inclusi i relativi sistemi ausiliari e di controllo.
Stesura di protocolli sperimentali da scala di laboratorio a scala di sistema***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 1.165.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 1.000.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 100.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 2.465.000,00

Descrizione attività:

La presente linea di attività si prefigge lo scopo di progettare e realizzare una hall tecnologica interamente asservita alla qualifica di celle a combustibile ad ossidi solidi dalla scala prototipale fino a quella pre-commerciale. L'attività sarà dedicata alla definizione di protocolli sperimentali per la caratterizzazione e validazione delle prestazioni di dispositivi basati sulle tecnologie delle celle ad ossidi solidi *Solide Oxide Cell* (SOC), prototipali o commerciali, inclusi i relativi sistemi ausiliari e di controllo. Considerato il livello di maturità tecnologica raggiunto dalle SOC e dato il momento particolarmente favorevole per una loro prossima penetrazione nel mercato, sia nella produzione di potenza ma soprattutto nella generazione di idrogeno da fonti energetiche rinnovabili (FER), l'interesse industriale si sta sempre più orientando allo sviluppo e realizzazione di nuovi concept basati su questa tecnologia volti a migliorare le prestazioni in relazione alle applicazioni richieste legate alla produzione e uso finale dell'idrogeno. Per tale motivo, risulta rilevante la necessità congiunta da parte di industria e ricerca di testare nuovi concept con procedure sistematiche ed affidabili. Le attività che verranno eseguite saranno, dunque, finalizzate alla realizzazione di un

ambiente in cui poter provare in condizioni di esercizio rilevanti, prototipi di SOC's realizzati a partire da materiali innovativi così come da materiali e/o processi di produzione non convenzionali, ma anche moduli di celle commerciali che necessitino di essere qualificati in condizioni di esercizio non convenzionali. Il testing hub, dunque, permetterà di caratterizzare a più livelli le celle SOC; in particolare, sarà possibile:

- monitorare in operando tutti i parametri operativi di moduli SOC, valutando prestazioni elettriche, gradienti di temperatura e pressione, portate di gas in ingresso e in uscita;
- effettuare una completa caratterizzazione elettrochimica (curve di polarizzazione, spettroscopia di impedenza, analisi ed elaborazione dei dati di impedenza mediante diverse tecniche, quali ad esempio DRT, ECM, etc.) in operando di celle che operino sia in modalità diretta SOFC che in modalità inversa SOEC;
- effettuare analisi in operando dei gas in ingresso e in uscita dalle SOC tramite analisi cromatografiche sia batch nel caso di misurazioni puntuali che on line per misurazioni su test di lunga durata, andando ad effettuare campionamenti localizzati anche all'interno della cella in operando utilizzando set-up sperimentali realizzati ad-hoc;
- controllare da remoto e in maniera semi-automatica tutte le stazioni di prova, grazie a un software di controllo ad hoc che permetta di monitorare performance e criticità in tempo reale per interventi tempestivi sulle prove in corso;
- condurre test dinamici che possano simulare profili di carico reali, sia in termini di condizioni di carico elettrico (sia in SOFC che in SOEC), sia in termini di variazioni delle correnti gassose in ingresso alle celle.

La realizzazione del testing hub ha come scopo ultimo quello di creare un ambiente di testing per celle ad ossidi solidi, con adeguate caratteristiche di flessibilità e rappresentatività delle diverse tecnologie. Per questo motivo, oltre a garantire un'elevata flessibilità nell'esecuzione delle prove sperimentali, sarà anche possibile avere un elevato grado di flessibilità in termini di geometrie e dimensioni delle celle testate. Le stazioni sperimentali, infatti, saranno in grado di ospitare prototipi di celle di piccola taglia (*button cell*) con superficie attiva di pochi centimetri quadrati e pochi W di potenza, fino a raggiungere stack al livello pre-commerciale della taglia di 1 kW. Una volta messo in esercizio, il testing hub permetterà di definire dei protocolli di test armonizzati per la qualifica delle prestazioni di celle ad ossidi solidi, con un elevato grado di ripetibilità. Questo effetto sarà dovuto alla: i) riduzione di molteplici aleatorietà sperimentali grazie all'elevato grado di automazione; ii) elevata flessibilità delle stazioni sperimentali che comporranno l'ossatura della struttura sperimentale; iii) ridondanza delle apparecchiature di misura che potranno essere usate sia in parallelo (più test contemporaneamente) sia in serie (effettuando più misure con strumenti diversi). Per la progettazione e la realizzazione degli ambienti del testing hub, inclusi i servizi tecnologici, i sistemi di sicurezza e le linee gas, ci si avvarrà della consulenza di aziende specializzate nel settore, al fine di assicurare i necessari livelli di ingegnerizzazione ed il rispetto delle normative tecniche (in particolare sicurezza, antiincendio, impianti atex, etc.) vigenti.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la progettazione e realizzazione di una hall tecnologica dedicata alla qualifica di celle ad ossidi solidi dalla scala prototipale fino a quella pre-commerciale. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- | | |
|----------------|--|
| M3.5.1.1 [M6] | Definizione delle specifiche tecniche dei principali strumenti e attrezzature del testing hub |
| M3.5.1.2 [M12] | Progettazione definitiva ed esecutiva degli ambienti dedicati alla realizzazione del testing hub |
| M3.5.1.3 [M24] | Installazione e collaudo degli strumenti e attrezzature scelti |

M3.5.1.4 [M42] Completamento della prima campagna di testing

Output:

D3.5.1.1 [M24] Rapporto tecnico "Realizzazione e adeguamento degli ambienti dedicati ad ospitare il testing hub"

D3.5.1.2 [M36] Rapporto tecnico "Collaudo e prime attività del testing hub"

D3.5.1.3 [M42] Rapporto tecnico "Risultati della prima campagna sperimentale condotta"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.5 - LA 3.5.2

***Realizzazione di un testing-hub per caratterizzare e validare le prestazioni di dispositivi PEM, prototipali o commerciali, inclusi i relativi sistemi ausiliari e di controllo.
Stesura di protocolli sperimentali da scala di laboratorio a scala di sistema***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 114.026,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 841.004,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 536.964,74

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 102.122,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.594.116,74

Descrizione attività:

Questa linea di attività ha come obiettivo la realizzazione ed ottimizzazione di una hall tecnologica interamente asservita alla qualifica di celle a combustibile a membrana polimerica (PEM FC), dalla scala prototipale fino a quella pre-commerciale. IL testing hub sarà realizzato per permettere l'esecuzione di procedure di prova per le celle a combustibile PEM, disponendo delle attrezzature necessarie e specializzate derivate sia dai propri sviluppi che dalle attrezzature commerciali.

La struttura dell'hub sarà costituita da due distinte sezioni specifiche. La prima dedicata alla ricerca e sviluppo di componenti (catalizzatori, elettrodi, membrane, MEAs, piatti bipolari) e singole celle; in particolare, tale sezione sarà dedicata alla caratterizzazione elettrochimica e prove accelerate di stress e durabilità, sia di singole celle che di piccoli stack. In quest'area si effettueranno analisi di tipo elettrochimico, termico e fluidodinamico, al fine di fornire una validazione sperimentale di supporto alle attività di calcolo, modeling e sviluppo di modelli matematici svolte nelle LA specifiche. Una seconda sezione sarà, invece, dedicata alla ricerca e sviluppo di stack di celle PEM e sistemi collegati. In quest'area avverrà la caratterizzazione, sperimentazione e validazione di stack e sistemi di celle PEM, anche in assetto rigenerativo. In particolare, sarà curato ed ottimizzato il Balance of Plants (BoP) per la gestione dello stack, funzionante sia in modalità fuel cells (produzione di energia elettrica) sia in modalità elettrolisi (produzione di idrogeno e ossigeno).

Le sezioni saranno, quindi, attrezzate per poter effettuare differenti tipi di prove su componenti, celle PEFCs e stack rigenerativi: la prima sezione sarà attrezzata stazioni di testing con potenza fino a 150 W. La seconda sezione sarà attrezzata con un banco di prova per stack con media potenza fino a 5 kW analisi di stack fino a 50 celle anche di sistemi rigenerativi. Le stazioni consentiranno test in pressione per celle e stack (fino a 3 bar in modalità fuel cells, fino a 60 bar in modalità elettrolisi). Misura della tensione per cella. Possibilità di funzionamento flussante e dead end. Sistema di

controllo automatico che consenta test di lunga durata e di vita accelerata. Simulazione di profili di carichi variabili.

Il testing-hub sarà utilizzato in collegamento alle linee di attività LA1.1.1, LA1.1.2, LA1.1.3, LA1.1.4, LA1.1.5, LA3.1.1, LA3.1.2, LA3.1.3, LA3.1.4 e LA3.1.5.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la progettazione e realizzazione di una hall tecnologica dedicata alla qualifica di celle a membrana polimerica, dalla scala prototipale fino a quella pre-commerciale. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.5.2.1 [M9]	Progettazione testing-hub bassa potenza
M3.5.2.2 [M15]	Realizzazione testing-hub bassa potenza
M3.5.2.3 [M21]	Progettazione testing-hub rigenerativo
M3.5.2.4 [M27]	Realizzazione testing-hub rigenerativo
M3.5.2.5 [M42]	Definizione di protocolli sperimentali per prove su celle PEM

Ouput:

D3.5.2.1 [M24]	Rapporto tecnico "Prototipo testing-hub bassa potenza"
D3.5.2.2 [M36]	Rapporto tecnico "Prototipo testing-hub rigenerativo"
D3.5.2.3 [M42]	Rapporto tecnico "Protocolli sperimentali per prove su celle PEM"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.5 - LA 3.5.3

Protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali e componenti per celle a combustibile a bassa ed alta temperatura e relativa validazione in laboratorio

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Antonino Salvatore Aricò

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 41.250,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 41.250,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 68.200,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 25.300,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 176.000,00

Descrizione attività:

L'obiettivo di questa attività è di definire protocolli di caratterizzazione e test per la valutazione delle prestazioni, delle caratteristiche di durata ed economicità dei componenti di fuel cells di nuova concezione e di diversa tipologia per applicazioni ad alta e bassa temperatura. Le attività saranno indirizzate a valutare un set di metodologie di caratterizzazione ex situ per materiali funzionali quali elettroliti e catalizzatori per celle a combustibile. Per gli elettroliti, queste includeranno la standardizzazione delle metodologie per la resistenza specifica, misure di conducibilità nel piano e attraverso il piano e in funzione della temperatura. Verranno specificati protocolli accelerati di invecchiamento per valutare la stabilità. Per i catalizzatori, l'attività riguarderà la specifica del carico e le proprietà per lo sviluppo degli assemblati elettrodi-elettrolita, l'identificazione delle proprietà fisico-chimiche più appropriate mediante tecniche e metodologie di caratterizzazione per lo studio della struttura, della superficie, della morfologia e delle proprietà chimiche. La caratterizzazione ex situ e lo screening dei materiali funzionali includono anche test elettrochimici condotti in semicella.

Per le prove elettrochimiche ex situ, l'attività è rivolta alla definizione di protocolli di misura per voltammetria ciclica, curve di polarizzazione e spettroscopia di impedenza. Saranno sviluppati protocolli per la determinazione di parametri elettrocatalitici caratteristici quali superficie attiva, Tafel slope, densità di corrente di scambio, coefficiente di trasferimento di carica, resistenza di trasferimento di carica, ecc. Sarà importante l'identificazione di test accelerati supportati da analisi ex situ post-operation, per valutare la degradazione della fase attiva del catalizzatore e dell'eventuale supporto del catalizzatore.

Per gli assemblati elettrodi-elettrolita, oltre alle caratteristiche ex-situ saranno sviluppati protocolli specifici per le misure di polarizzazione, stabilità, analisi del cross over e test accelerati per valutare la durata.

Saranno successivamente sviluppati protocolli per la valutazione degli stack di celle a combustibile. In particolare, saranno delineate procedure di test per quanto riguarda le misure di polarizzazione, durata e comportamento dinamico con riferimento alle differenti applicazioni. Saranno messe a punto procedure di diagnostica elettrochimica con l'utilizzo della spettroscopia di impedenza complessa. Si svilupperanno procedure per la valutazione della stabilità dei piatti bipolari e saranno individuate le caratteristiche richieste agli stack per le varie applicazioni.

Nella fase finale dell'attività, si affronterà lo sviluppo di protocolli per la validazione di sistemi di celle a combustibile per le diverse applicazioni insieme a procedure rigorose per determinare l'efficienza, la stabilità e il comportamento dinamico in condizioni operative.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la definizione di protocolli di caratterizzazione e test per la valutazione delle prestazioni, delle caratteristiche di durata ed economicità dei componenti di fuel cells di nuova concezione e di diversa tipologia per applicazioni ad alta e bassa temperatura. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

- | | |
|----------------|---|
| M3.5.3.1 [M12] | Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per catalizzatori ed elettroliti per celle a combustibile ad alta e bassa temperatura |
| M3.5.3.2 [M24] | Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per assemblati di elettrodi ed elettroliti celle a combustibile ad alta e bassa temperatura |
| M3.5.3.3 [M36] | Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per stack di celle a combustibile per applicazioni specifiche |
| M3.5.3.4 [M42] | Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per sistemi di celle a combustibile per applicazioni specifiche |

Ouput:

- | | |
|----------------|---|
| D3.5.3.1 [M12] | Rapporto tecnico "Prototipo testing-hub bassa potenza" |
| D3.5.3.2 [M15] | Rapporto tecnico "Protocolli di test per catalizzatori ed elettroliti per celle a combustibile ad alta e bassa temperatura" |
| D3.5.3.3 [M24] | Rapporto tecnico "Protocolli di test per assemblati di elettrodi ed elettroliti celle a combustibile ad alta e bassa temperatura" |
| D3.5.3.4 [M36] | Rapporto tecnico "Protocolli di test per stack di celle a combustibile per applicazioni specifiche" |
| D3.5.3.5 [M42] | Rapporto tecnico "Protocolli di test per sistemi di celle a combustibile per applicazioni specifiche" |

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.5 - LA 3.5.4

Analisi di sostenibilità ed eco-design di tecnologie a celle a combustibile

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Alessandro Agostini

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 63.791,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 103.793,97

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 105.293,97

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 64.920,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 337.798,94

Descrizione attività:

Questa linea di attività ha come obiettivo la valutazione della sostenibilità delle tecnologie sviluppate nelle linee di attività di questo WP, al fine di caratterizzarle dal punto di vista economico, ambientale e sociale, e identificare le soluzioni più sostenibili per la costruzione e utilizzo dei sistemi basati sulla tecnologia delle celle a combustibile, confrontandole con tecnologie alternative già presenti sul mercato.

L'Unione Europea, nel suo cammino verso una riduzione delle emissioni di gas serra e aumento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico, si è posta l'ambizioso obiettivo di raggiungere almeno una quota del 40% della produzione di energia da fonti rinnovabili entro il 2030. In questo scenario di cambiamento, l'idrogeno è considerato un importante vettore energetico, che può essere utilizzato per lo stoccaggio di energie rinnovabili e ha un grande potenziale in applicazioni stazionarie e mobili.

L'attuazione di un'economia dell'idrogeno presenta ancora diverse sfide dal punto di vista della maturità tecnologica (TRL), e sistemica (IRL, Integration Readiness Level e MRL, Manufacturing Readiness Level), lo sviluppo delle tecnologie dell'idrogeno deve essere guidato in modo che le tecnologie stesse siano desiderabili e accettabili dalla società.

Occorre quindi un approccio di eco-design nello sviluppo delle tecnologie di produzione dell'idrogeno affinché queste superino la cosiddetta "valle della morte" dello sviluppo tecnologico e vengano adottate dalla società su larga scala. Ciò che rende le tecnologie desiderabili dalla società è la loro sostenibilità. Sostenibilità da intendere inclusiva di tutti i pillars, economico, sociale ed ambientale.

A tal fine, in questa linea di attività verranno elaborate valutazioni della sostenibilità delle tecnologie delle celle a combustibile, al fine di caratterizzarle dal punto di vista economico, ambientale e sociale, e identificare le soluzioni più sostenibili per la loro produzione e utilizzo, confrontandole con tecnologie alternative presenti sul mercato.

L'analisi dell'impatto ambientale seguirà un approccio basato sull'analisi del ciclo di vita (LCA) e comprenderà una prospettiva "dalla culla al cancello". Le categorie di impatto ambientale esaminate includeranno il cambiamento climatico, il consumo di risorse (fossili o abiotiche), emissioni di PM, eutrofizzazione, creazione di ozono fotochimico, riduzione dello strato di ozono e altre categorie di impatto per le quali i metodi di valutazione dell'impatto e la qualità dei dati saranno considerati sufficientemente solidi da trarre conclusioni significative. Il software utilizzato sarà Gabi.

La sostenibilità sociale delle tecnologie sviluppate verrà valutata applicando la metodologia raccomandata da UNEP per la social LCA. La quantificazione dell'impatto sociale verrà elaborata in modo quantitativo per quanto possibile con l'utilizzo del Social Hotspot DataBase integrato in Simapro.

Verrà eseguita un'analisi di sensitività sui parametri che influenzano maggiormente i risultati, unitamente all'analisi delle combinazioni di sistemi più performanti con un apposito approccio all'eco-design. La LCA verrà eseguita utilizzando il software commerciale Gabi.

La sostenibilità economica delle celle a combustibile sviluppate dalle altre linee di attività di questo WP verrà valutata attraverso l'elaborazione di indicatori economici quali il costo livellato dell'idrogeno (LCoH), ed il valore attuale netto (NPV), il tasso di ritorno interno (IRR), quando tali valutazioni saranno possibili in riguardo alla maturità della tecnologia e della relativa filiera ed i dati saranno resi disponibili dai responsabili delle altre linee di attività di questo WP.

I risultati verranno presentati in comparazione a tecnologie alternative e/o convenzionali.

Risultati attesi:

I risultati attesi della presente linea di attività riguardano la valutazione della sostenibilità delle tecnologie sviluppate, caratterizzandole in funzione degli impatti economico, ambientale e sociale. In particolare, i risultati attesi sono di seguito dettagliati:

M3.5.4.1 [M12]	Metodologia, software e gestione dati
M3.5.4.2 [M24]	Raccolta dati, valutazione preliminare della sostenibilità di alcune tecnologie di celle a combustibile
M3.5.4.3 [M36]	Prima valutazione della sostenibilità delle celle a combustibile
M3.5.4.4 [M42]	Valutazione finale della sostenibilità delle FC

Output:

D3.5.4.1 [M12]	Rapporto "Definizione del quadro metodologico da adottare per LCA, SLCA e analisi tecnico-economica"
D3.5.4.2 [M12]	Rapporto "Validazione della metodologia e della suite informatica, risultati preliminari per alcune tecnologie di celle a combustibile"
D3.5.4.3 [M36]	Rapporto "Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di celle a combustibile sviluppate e della loro operazione"
D3.5.4.4 [M42]	Rapporto "Valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di celle a combustibile sviluppate"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP3.5 - LA 3.5.5

Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie per l'uso dell'idrogeno nelle celle a combustibile. Organizzazione di Summer School tematiche

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Claudia Bassano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 80.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 82.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 332.000.00

Descrizione attività:

La transizione energetica richiede indubbiamente investimenti, oltre che nello sviluppo tecnologico, anche nelle azioni culturali rivolte ai cittadini, dai più giovani che stanno crescendo in un mondo sempre più sostenibile, ai ragazzi che devono decidere quale percorso di studi intraprendere, fino agli adulti cui dev'essere fornita l'opportunità di aggiornare/riqualificare le proprie competenze.

La presente attività ha dunque, come scopo principale, la formazione, oltre che la comunicazione e la diffusione degli obiettivi e delle attività del progetto e dei risultati ottenuti, al fine di garantire il massimo impatto nei diversi settori interessati (ricerca, industria, decisori politici e società civile).

Le attività di formazione saranno promosse attraverso diversi canali, quali incontri tematici o workshop. Saranno organizzati percorsi formativi, con cicli di incontri e lezioni sia teoriche/virtuali sia in presenza presso i laboratori dei diversi Centri di Ricerca dell'ENEA. In particolare, si metteranno a disposizione le infrastrutture della Hydrogen demo Valley (in fase di realizzazione presso il C.R. ENEA Casaccia) e della Smart Grid (in fase di realizzazione presso il C.R. ENEA di Portici) finanziate nell'ambito di Mission Innovation, promuovendo visite guidate indirizzate sia ad esperti dell'industria e del settore normativo, sia a studenti di diverso ordine e grado, al fine di formare nuovi operatori per la gestione delle nuove tecnologie.

Infine, si prevede di organizzare annualmente presso il C.R. ENEA della Casaccia una "Summer School" dedicata ai temi afferenti alla filiera dell'idrogeno indirizzata a laureati, Italiani e stranieri, che hanno iniziato un percorso di specializzazione, come dottorandi, post-doc, e ricercatori.

Sono ricomprese nella presente LA anche tutte le azioni connesse alla divulgazione e condivisione dei risultati anche con i co-realizzatori, al fine massimizzare la sinergia tra i diversi ambiti di sviluppo. In particolare, le attività afferenti alla LA3.5.5 saranno focalizzate sull'utilizzo dell'idrogeno con celle a combustibile.

Si prevede di attivare, in considerazione di consolidate e riconosciute competenze ed esperienze sulla tematica di specifico interesse, una collaborazione con l'Università degli Studi di Perugia, per l'organizzazione di Master universitari e corsi specifici sul tema delle tecnologie delle celle a combustibile, in considerazione dell'esperienza consolidata sulla tematica in oggetto.

Risultati attesi:

M3.5.5.1 [M9]	Definizione programmi di formazione
M3.5.5.2 [M12]	Organizzazione della prima Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi
M3.5.5.3 [M24]	Organizzazione della seconda Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi
M3.5.5.4 [M36]	Organizzazione della terza Summer School ed altri eventi formativi/divulgativi

Output:

D3.5.5.1 [M12]	Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 1° anno"
D3.5.5.2 [M24]	Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 2° anno"
D3.5.5.3 [M36]	Rapporto tecnico o "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 3° anno"
D3.5.5.4 [M42]	Rapporto tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sui temi del trasporto e accumulo di idrogeno"

TRL (inizio-fine): n.a.

Sviluppo di programmi di formazione per portare ad una filiera integrata di competenze e per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore delle celle a combustibile

Co realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Alessandra Sanson

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 52.809,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 36.850,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 55.232,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 95.109,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 240.000,00

Descrizione attività:

Per un corretto sviluppo dell'economia dell'idrogeno è necessario favorire la formazione di figure professionali di filiera sul settore, da tecnici diplomati a laureati fino a responsabili di settori privati interessati all'introduzione delle diverse tecnologie. Per questo motivo l'attività prevede sviluppo di programmi di formazione (corsi, workshop e giornate formative) lungo tutti i vari stadi dell'educazione scolastica per portare ad una filiera integrata di competenze che vadano sia dalla formazione tecnica (istituti superiori), che Universitaria per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica. Sono previsti quindi corsi per diplomati, laureati e studenti in dottorato, così come momenti di formazione per personale proveniente dal settore privato. L'attività di formazione prevede inoltre l'istituzione di dottorati industriali e il reclutamento di specifico personale mediante borse ed assegni di ricerca per essere formato ed al contempo poter collaborare al progetto di ricerca nel settore produzione di idrogeno aperta a vari tipi di laureati in discipline scientifiche ed eventualmente anche economiche per attività specifiche quali life cycle analysis e cost-assessment. Saranno emanati dei bandi specifici che includeranno le recenti normative in termini di parità di genere e di accesso alla formazione delle figure professionali. Il fine della formazione è consentire di acquisire le competenze necessarie sulle nuove tecnologie di produzione di idrogeno per potersi efficacemente proporre alle aziende che operano in campo energetico e nel mercato della ricerca. A questo scopo verranno studiati programmi di formazione specifici per le diverse fasce di età e esperienza che permettano la formazione delle diverse figure professionali necessarie al settore.

L'attività di formazione è aperta a vari tipi di laureati in discipline scientifiche ed eventualmente anche economiche per attività specifiche quali life cycle analysis e cost-assessment. Nei programmi di formazione per studenti laureati in discipline scientifiche si renderà necessaria al primo anno una prima fase didattica durante la quale saranno trattati i contenuti di base della Chimica, dell'Elettrochimica, della Fisica, dei Reattori Chimici e dei Fenomeni di Trasporto che sono essenziali alla comprensione degli argomenti previsti nella successiva fase di alta formazione che si articolerà negli anni successivi attraverso la collaborazione diretta alle attività progettuali. Ciò permetterà il raggiungimento di una certa uniformità nel "background" culturale dei formandi. Un approccio simile sarà adottato per i laureati nelle discipline economiche. I contenuti prevedono non solo i fondamenti dell'elettrochimica, dei processi catalitici, della caratterizzazione chimico-fisica ma anche nozioni specifiche sulle tecnologie delle celle a combustibile.

Saranno trattati in particolare i materiali funzionali, l'elettrolisi, i processi di reforming e gassificazione, i processi catalitici etc. Sarà inoltre trattata con i formandi la "programmazione e gestione dei progetti di Ricerca". I seminari saranno svolti da esperti provenienti da diversi istituti del CNR

CNR coinvolti nel progetto e saranno organizzati seminari che prevederanno possibilmente anche rappresentanti del mondo universitario ed industriale.

Negli anni successivi il training dei formandi riguarderà le attività specifiche di progetto e si consentirà loro di acquisire competenze dirette sull'uso delle tecniche di caratterizzazione chimico-fisica, catalitica, elettrochimica e si darà loro la possibilità di partecipare allo sviluppo dei prototipi e dei sistemi. Un aspetto rilevante riguarderà la possibilità di dare ai formandi l'opportunità di presentare le loro attività nelle conferenze più importanti del settore.

Per i dottorati industriali si stabiliranno convenzioni con università specifiche al fine di consentire ai formandi di acquisire il titolo alla fine del loro percorso di formazione.

Programmi specifici saranno sviluppati per diplomati che permettano una formazione più pratica mentre per il personale privato verranno inseriti anche nozioni più generali legati all'economia dell'idrogeno e alle politiche e normative connesse.

Risultati attesi:

M3.5.6.1 [M12]	Selezione e stipula di almeno 4 contratti per dottorati industriali o assegnisti
M3.5.6.2 [M12]	Nozioni di base e specifiche su celle a combustibile fornite ai formandi
M3.5.6.3 [M24]	Realizzazione di programmi definiti per studenti diplomati con competenze tecnico scientifico ed economiche
M3.5.6.4 [M24]	Coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile, a partire da processi elettrochimici, catalitici etc.
M3.5.6.5 [M36]	Prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
M3.5.6.6 [M36]	Realizzazione di programmi definiti per laureati e studenti di dottorato con competenze tecnico scientifico ed economiche
M3.5.6.7 [M42]	Realizzazione di programmi definiti per personale proveniente dal settore privato
M3.5.6.8 [M42]	Prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile

Output:

D3.5.6.1 [M12]	Rapporto tecnico sui contratti per dottorati industriali o assegnisti
D3.5.6.2 [M12]	Rapporto tecnico riguardo le nozioni di base e specifiche nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile fornite ai formandi
D3.5.6.3 [M24]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per diplomati in materie tecnico scientifiche ed economiche
D3.5.6.4 [M24]	Rapporto tecnico sul coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile, a partire da processi elettrochimici, catalitici etc.
D3.5.6.5 [M36]	Realizzazione di almeno un corso di formazione per laureati e studenti di dottorati in materie tecnico scientifiche ed economiche
D3.5.6.6 [M36]	Rapporto tecnico sulla prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite

- D3.5.6.7 [M42] Rapporto tecnico sulla prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile
- D3.5.6.8 [M42] Realizzazione di almeno un corso di formazione per personale del settore privato

TRL (inizio-fine): n.a.

Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto (Obiettivo 3)

Obiettivo 3 – Celle a combustibile Responsabile ENEA			
WP (5)/LA (27)	Resp.	Titolo Deliverable	
WP3.1 - Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurne i costi (n° 7 LA) TRL 2-4	ENEA		
WP3.1 – LA 3.1.1 Sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura TRL 2-4	ENEA	D3.1.1.1 [M12] D3.1.1.2 [M24] D3.1.1.3 [M36] D3.1.1.4 [M42]	Rapporto tecnico "Produzione di precursori materiali polimerici per elettrofilatura" Rapporto tecnico "Processi di elettrofilatura membrane a conduzione protonica" Rapporto tecnico "Caratteristiche chimico fisiche di base membrane a conduzione protonica per alte temperature" Rapporto tecnico "Caratterizzazione elettrochimica celle a combustibile ad alta temperatura"
WP3.1 – LA 3.1.2 Sviluppo di rivestimenti a base di carbonio mediante tecniche di deposizione chimica e fisica da fase vapore e spruzzatura al plasma per applicazione in piatti bipolari in acciaio, titanio o leghe di alluminio TRL 2-4	ENEA	D3.1.2.1 [M12] D3.1.2.2 [M24] D3.1.2.3 [M42]	Rapporto tecnico "Studio dei rivestimenti a base di carbonio: caratterizzazione chimico-fisica dei rivestimenti ottenuti mediante sputtering a radiofrequenza e PECVD" Rapporto tecnico "Studio dei rivestimenti a base di carbonio ottenuti mediante plasma spray e PED: caratterizzazione elettrochimica dei rivestimenti ottenuti con le varie tecniche di deposizione e confronto con i rivestimenti commerciali" Rapporto tecnico "Prestazioni e durabilità delle celle a combustibile con i piatti bipolari rivestiti in laboratorio"
WP3.1 – LA 3.1.3 Sviluppo di elettrocatalizzatori basati su metalli e leghe di metalli M/C ad elevata area superficiale TRL 2-4	ENEA	D3.1.3.1 [M12] D3.1.3.2 [M24] D3.1.3.3 [M36] D3.1.3.4 [M42]	Rapporto tecnico "Produzione di catalizzatori per fuel cell via laser deposition" Rapporto tecnico "Produzione di catalizzatori PGM-free per celle a combustibile" Rapporto tecnico "Testing elettrochimico completo di catalizzatori ed elettrodi" Rapporto tecnico "Testing elettrochimico completo celle a combustibile. Analisi prestazioni e durata"
WP3.1 - LA 3.1.4 Gestione e validazione dell'ingegneria di stack di celle a combustibile a membrana polimerica TRL 2-3	ENEA	D3.1.4.1 [M12] D3.1.4.2 [M24] D3.1.4.3 [M36] D3.1.4.4 [M42]	Rapporto tecnico "Definizione delle specifiche per stack di PEMFC ad alte prestazioni e validazione dell'approccio modellistico su geometria generale (zero-gradient)" Rapporto tecnico "Progettazione geometria base di stack PEMFC e dei relativi sistemi di gestione della temperatura e dell'umidità con caratterizzazione elettrochimica, meccanica e termo-fluidodinamica" Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale di stack PEMFC realizzati con piatto metallico e piatto in grafite e validazione della modellazione numerica di progetto" Rapporto tecnico "Ottimizzazione mediante simulazione numerica di stack PEMFC a valle della sperimentazione su geometria prototipale"

<p>WP3.1 - LA 3.1.5</p> <p>Sviluppo del Balance of Plant per sistemi basati su celle a combustibile a membrana polimerica</p> <p>TRL 2-3</p>	<p>ENEA</p>	<p>D3.1.5.1 [M24] Rapporto tecnico "Sviluppo di un modello per la simulazione numerica di sistemi basati su celle a combustibili a membrana polimerica"</p> <p>D3.1.5.2 [M42] Rapporto tecnico "Validazione del modello per la simulazione numerica di sistemi a celle a combustibili a membrana polimerica su dati sperimentali a punto fisso e modelli di risposta dinamica"</p>
<p>WP3.1 - LA 3.1.6</p> <p>Sviluppo di componenti innovativi quali elettrodi con basso o assente contenuto di metalli preziosi e membrane avanzate per celle a combustibile polimeriche con elettrolita protonico ed anionico</p> <p>TRL 2-4</p>	<p>CNR</p>	<p>D3.1.6.1 [M12] Rapporto tecnico "Sviluppo di una prima serie di membrane a scambio anionico"</p> <p>D3.1.6.2 [M12] Rapporto tecnico "Prima formulazione di catalizzatori non-PGM per ORR e loro caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica"</p> <p>D3.1.6.3 [M12] Rapporto tecnico "Determinazione della morfologia della matrice carboniosa dei catalizzatori"</p> <p>D3.1.6.4 [M24] Rapporto tecnico "Sviluppo di una seconda generazione di membrane a scambio anionico con più elevata conduttività"</p> <p>D3.1.6.5 [M24] Rapporto tecnico "Seconda formulazione di catalizzatori non-PGM per ORR e loro caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica"</p> <p>D3.1.6.6 [M24] Rapporto tecnico "Struttura atomistica dei migliori catalizzatori per ORR e HOR e delucidazione del meccanismo catalitico"</p> <p>D3.1.6.7 [M36] Rapporto tecnico "Sviluppo di una terza generazione di membrane a scambio anionico con più elevate conduttività"</p> <p>D3.1.6.8 [M36] Rapporto tecnico "Preparativa degli elettrodi e MEA ottimizzati e test in celle combustibile"</p> <p>D3.1.6.9 [M36] Rapporto tecnico "Individuazione di un candidato per ORR basato su nanolega e sua caratterizzazione: struttura del cluster, ordinamento chimico, meccanismo catalitico"</p> <p>D3.1.6.10 [M42] Rapporto tecnico "Sviluppo di una quarta generazione di membrane a scambio anionico con apposito strato catalitico (depositato sulla superficie) oppure predisposto per il montaggio tra due elettrodi esterni"</p> <p>D3.1.6.11 [M42] Rapporto tecnico "Prestazioni e stabilità dei MEA innovativi sviluppati in celle a combustibile"</p>
<p>WP3.1 - LA 3.1.7</p> <p>Sviluppo di nuove architetture di stack di celle a combustibile di tipo PEM ed AEM con elevata modularità</p> <p>TRL 2-4</p>	<p>CNR</p>	<p>D3.1.7.1 [M12] Rapporto tecnico "Analisi della letteratura scientifica, brevettuale e di mercato"</p> <p>D3.1.7.2 [M12] Rapporto tecnico "Analisi architetture di stack attuali e confronto col concetto di Alta modularità"</p> <p>D3.1.7.3 [M24] Rapporto tecnico "Individuazione di nuove architetture per l'applicazione del concetto di Alta modularità"</p> <p>D3.1.7.4 [M24] Rapporto tecnico "Design di unità con differenti architetture ad Alta modularità"</p> <p>D3.1.7.5 [M36] Rapporto tecnico "Manifattura e assemblaggio dei prototipi"</p> <p>D3.1.7.6 [M36] Rapporto tecnico "Test dei prototipi"</p> <p>D3.1.7.7 [M42] Rapporto tecnico "Analisi critica post-test dei prototipi"</p> <p>D3.1.7.8 [M42] Rapporto tecnico "Analisi economica"</p> <p>D3.1.7.9 [M42] Rapporto tecnico "Individuazione dell'architettura ad Alta modularità più idonea"</p>
<p>WP3.2 - Ricerca e sviluppo di soluzioni avanzate di celle reversibili basate su conduttori ionici e protonici</p>	<p>ENEA</p>	

(n° 3 LA) TRL 2-4		
WP3.2 - LA 3.2.1 Studio e sviluppo di materiali innovativi, nuove strutture e geometrie delle celle SOC attraverso tecniche di produzione alternative, con particolare attenzione verso le celle a conduzione protonica TRL 2-3	ENEA	D3.2.1.1 [M21] Rapporto "Produzione e selezione dei materiali per la realizzazione di anodo ed elettrolita di celle PCC" D3.2.1.2 [M30] Rapporto "Integrazione dei materiali per la fabbricazione di semi-celle tramite tape casting e sintering" D3.2.1.3 [M36] Rapporto "Implementazione dello sputtering a radiofrequenza e/o PED per la deposizione dell'elettrolita sul supporto anodico" D3.2.1.4 [M42] Rapporto "Produzione di celle complete e analisi delle prestazioni in ambiente rilevante tramite tape-casting e screen printing" D3.2.1.5 [M42] Rapporto "Produzione di celle complete e sull'analisi prestazioni in ambiente rilevante tramite sputtering a e screen printing"
WP3.2 – LA 3.2.2 Sviluppo di materiali innovativi per celle reversibili operanti ad alta temperatura con elettrolita ceramico protonico ed anionico e a conduzione ibrida e/o mista TRL 2-4	CNR	D3.2.2.1 [M3] Rapporto tecnico "Attività svolte per la definizione dello stato dell'arte aggiornato su elettrodi reversibili ed elettroliti innovativi" D3.2.2.2 [M6] Rapporto tecnico "Individuazione dei protocolli di sintesi di elettrodi a base di SrFeO ₃ e di elettroliti a base di elettroliti innovativi" D3.2.2.3 [M9] Sintesi di almeno 6 polveri (quantità minima 500 mg) di SrFeO ₃ drogate con diversa composizione chimica per la realizzazione di celle RSOC D3.2.2.4 [M12] Sintesi di almeno 2 polveri di materiali elettrolitici con diversa composizione chimica (quantità minima 500 mg) per la realizzazione di celle RSOC. Report/pubblicazione sui materiali preparati e loro caratterizzazione D3.2.2.5 [M15] Sintesi di almeno 5g di due polveri elettrodiche migliori selezionate tra quelle preparate nel primo anno e sintesi di almeno 5g della polvere elettrolitica migliore selezionata per la realizzazione della cella RSOC D3.2.2.6 [M18] Rapporto tecnico "Sintesi di almeno 200 gr di materiali selezionati per gli elettrodi, lato fuel" D3.2.2.7 [M21] Sintesi di almeno 200 gr di materiali selezionati come elettrolita a conduzione protonica e anionica per il funzionamento a temperature intermedie. D3.2.2.8 [M24] Rapporto tecnico "Sintesi di almeno 200 gr di materiali selezionati come elettrodi per ossigeno con sovrapotenziale adeguato agli scopi del progetto" Report tecnico D3.2.2.9 [M27] Rapporto tecnico "Preparazione degli inchiostri serigrafici per la deposizione degli elettrodi" D3.2.2.10 [M30] Rapporto tecnico "Preparazione delle pastiglie di elettrolita per la realizzazione della cella RSOC" D3.2.2.11 [M33] Rapporto tecnico "Procedura per assemblaggio della RSOC" D3.2.2.12 [M36] Realizzazione di almeno 3 celle a larga area (25 cm ²) aventi una resistenza ohmica complessiva inferiore a 0,15 Ωcm ² a 700 °C D3.2.2.13 [M39] Rapporto tecnico "Procedura di produzione ottimizzata della RSOC" D3.2.2.14 [M42] Rapporto tecnico "Prestazione elettrochimica della RSOC completa"

		D3.2.2.15 [M42]	Rapporto tecnico "Dimostrazione di un degrado delle performance dello stack di celle a larga area che sia inferiore al 10% / 1.000 h misurato tramite curve I-V e perdite di gas inferiore al 10% misurata tramite GC o analisi di pressione. Analisi costi di sistema ed impatto socio-economico"
WP3.2 – LA 3.2.3 Sviluppo di componenti quali elettrodi e membrane per celle reversibili polimeriche PEM ed AEM operanti a bassa temperatura per applicazioni di back-up power TRL 2-4	CNR	D3.2.3.1 [M6]	Rapporto tecnico "Inventario dei materiali più promettenti da utilizzare nella prima fase del progetto sulla base dello studio dello stato dell'arte"
		D3.2.3.2 [M9]	Rapporto tecnico "Prima generazione di membrane a scambio anionico e cationico attraverso la selezione dei polimeri, fillers funzionalizzati e additivi (liquidi ionici) "
		D3.2.3.3 [M12]	Rapporto tecnico "Studi di simulazioni meccaniche e fluidodinamiche delle celle rigenerative"
		D3.2.3.4 [M12]	Rapporto tecnico "Protocolli sugli studi sperimentali per la caratterizzazione dei MEA"
		D3.2.3.5 [M12]	Rapporto tecnico "Preparazione di catalizzatori bifunzionali per celle PEM"
		D3.2.3.6 [M18]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione esaustiva (chimica, termica, morfologica-strutturale, meccanica) delle membrane di prima generazione"
		D3.2.3.7 [M18]	Rapporto tecnico "Proprietà funzionali e sulle proprietà di trasporto delle membrane di prima generazione"
		D3.2.3.8 [M24]	Rapporto tecnico "Realizzazione della seconda generazione di membrane a scambio anionico o cationico con più elevate conduttività e con materiali alternativi di basso costo (polimeri aromatici opportunamente sulfonati) "
		D3.2.3.9 [M24]	Rapporto tecnico "Sviluppo di catalizzatori bifunzionali per celle AEM"
		D3.2.3.10 [M24]	Rapporto tecnico "Realizzazione delle celle singole rigenerative"
		D3.2.3.11 [M24]	Realizzazione di MEA per celle rigenerative AEM e PEM con i catalizzatori sviluppati
		D3.2.3.12 [M30]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione esaustiva (chimica, termica, morfologica-strutturale, meccanica), sulle proprietà di trasporto (es. cross-over) e sulle prestazioni funzionali delle membrane di seconda generazione"
		D3.2.3.13 [M33]	Rapporto tecnico "Ottimizzazione e caratterizzazione funzionale delle membrane electrode assembly, incluso la caratterizzazione delle prestazioni in cella singola delle MEA sviluppate"
		D3.2.3.14 [M36]	Rapporto tecnico "Ottimizzazione della preparazione dei MEA con le membrane e i catalizzatori sviluppati"
		D3.2.3.15 [M36]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione elettrochimica dei MEA preparati in cella singola"
		D3.2.3.16 [M39]	Rapporto tecnico "Ultima generazione di membrane a scambio anionico con apposito strato catalitico (depositato sulla superficie) oppure predisposto per il montaggio tra due elettrodi catalitici esterni"
		D3.2.3.17 [M42]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione dei materiali emergenti e potenzialmente di interesse (polimeri di microporosità intrinseca, nuovi PILs)"
		D3.2.3.18 [M42]	Rapporto tecnico "Realizzazione di due short stack con potenza maggiore di 100 W"
		D3.2.3.19 [M42]	Rapporto tecnico "Caratterizzazione funzionale degli short stack con i materiali sviluppati"
WP3.3 - Ricerca e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni	ENEA		

nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione (n° 7 LA) TRL 2-4			
WP3.3 – LA 3.3.1 Sviluppo di soluzioni modulari per sistemi basati su celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante TRL 2-3	ENEA	D3.3.1.1 [M12] D3.3.1.2 [M36] D3.3.1.3 [M42]	Rapporto tecnico "Moduli innovativi basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante" Rapporto tecnico "Sistema di controllo per moduli innovativi basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante" Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale di moduli innovativi basati su celle a combustibile polimeriche (PEM FC) ad alta potenza per l'applicazione del trasporto pesante"
WP3.3 – LA 3.3.2 Sviluppo di soluzioni ibride basate su celle a combustibile per applicazioni off-road e logistiche TRL 3-4	ENEA	D3.3.2.1 [M12] D3.3.2.2 [M24] D3.3.2.3 [M36] D3.3.2.4 [M42]	Rapporto tecnico "Powertrain ibridi per applicazioni off road e logistiche" Rapporto tecnico "Soluzioni di interfaccia per l'ibridizzazione" Rapporto tecnico "Sviluppo modelli per powertrain ibridi" Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale delle soluzioni sviluppate"
WP3.3 – LA 3.3.3 Sviluppo di modelli e della diagnostica per la valutazione delle performance di celle a combustibile TRL 2-3	ENEA	D3.3.3.1 [M12] D3.3.3.2 [M24] D3.3.3.3 [M36] D3.3.3.4 [M42]	Rapporto tecnico "Soluzioni per la determinazione dello SoH di sistemi PEM FC" Rapporto tecnico "Modelli per la rappresentazione delle PEM FC e dello SoH" Rapporto tecnico "Metodologie di diagnostica per la valutazione dello SoH" Rapporto tecnico "Caratterizzazione sperimentale e validazione dei modelli e metodologie sviluppati"
WP3.3 – LA 3.3.4 Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile ad alta temperatura alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH ₃ , LOHC) per applicazioni nel settore marittimo TRL 2-3	ENEA	D3.3.4.1 [M12] D3.3.4.2 [M24] D3.3.4.3 [M42]	Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico innovativo basato su tecnologia SOFC ed alimentato con carrier di idrogeno" Rapporto tecnico "Definizione delle configurazioni impiantistiche in base alla tipologia di nave, al profilo di missione e al carrier di idrogeno" Rapporto tecnico "Report tecnico sui risultati delle attività di modellazione relative ai componenti e al sistema integrato per le configurazioni ottimali individuate"
WP3.3 – LA 3.3.5 Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile a bassa temperatura alimentate a idrogeno puro o carrier alternativi (NH ₃ , LOHC) per applicazioni nel trasporto marittimo, ferroviario e aeronautico TRL 2-3	ENEA	D3.3.5.1 [M24] D3.3.5.2 [M27] D3.3.5.3 [M30]	Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione e al carrier di idrogeno per applicazioni navali" Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione per applicazioni ferroviarie" Rapporto tecnico "Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC (APU e unità propulsiva) e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione per applicazioni aeronautiche"

		D3.3.5.4 [M36] Rapporto tecnico "Sviluppo dei modelli numerici, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni navali" D3.3.5.5 [M39] Rapporto tecnico "Sviluppo dei modelli, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni ferroviarie" D3.3.5.6 [M42] Rapporto tecnico "Sviluppo dei modelli numerici, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni aeronautiche"
WP3.3 – LA 3.3.6 Sviluppo di celle a combustibile per applicazioni on-board e in aree portuali e validazione in stack prototipali TRL 2-4	CNR	D3.3.6.1 [M12] Rapporto tecnico "Risultati ottenibili nell'ambito dell'utilizzo di aria arricchita al catodo sulla base delle esperienze pregresse del CNR ITAE. Valutazione di diversi MEA da poter impiegare" D3.3.6.2 [M18] Rapporto tecnico "Pre-dimensionamento dello short-stack. Prototipo di short-stack di bassa potenza (300-500 W)" D3.3.6.3 [M24] Rapporto tecnico "Test statici (di tenuta), elettrochimici e di moti forzati sullo short-stack" D3.3.6.4 [M36] Rapporto tecnico "Dimensionamento e allo sviluppo di uno stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW. Prototipo di stack avente potenza compresa tra 3 e 5 kW" D3.3.6.5 [M42] Rapporto tecnico "Test (statici, elettrochimici e di moti forzati, eventualmente accoppiati) eseguiti sullo stack finale da 3 - 5 kW di potenza"
WP3.3 – LA 3.3.7 Sviluppo di stack innovativi SOFC alimentati con carrier liquidi di idrogeno, quali glicole ed ammoniaca, come proof-of-concept per applicazioni in aviazione includendo le applicazioni in droni TRL 2-3	CNR	D3.3.7.1 [M9] Rapporto tecnico "Caratterizzazione button-cell SOFC alimentate con ammoniaca, glicole, toluene, bioalcoli e Analisi termodinamica e cinetica delle reazioni e individuazione delle migliori condizioni operative per la realizzazione dello stack a scala kW" D3.3.7.2 [M12] Rapporto tecnico "Analisi degli eco-profilo delle singole celle SO per la definizione di linee guida per l'eco-design del prototipo finale" D3.3.7.3 [M18] Rapporto: "Caratterizzazione di catalizzatori strutturati (su supporto ceramico e/o metallico) a base Ni, Fe, e Cu per il pre-reforming di ammoniaca, glicole, toluene, bioalcoli" D3.3.7.4 [M24] Rapporto tecnico "Analisi degli eco-profilo dei catalizzatori strutturati per la definizione di linee guida per l'eco-design del prototipo finale" D3.3.7.5 [M30] Prototipo di stack SOFC con potenza elettrica nel range 1-3 kW e alimentato con diversi combustibili liquidi (ammoniaca, glicole, toluene, bioalcoli) D3.3.7.6 [M36] Prototipo pre-reformer con catalizzatori strutturati base Ni, Fe, o CU per essere accoppiato allo stack SOFC 1-3 kW D3.3.7.7 [M39] Rapporto tecnico "Sviluppo di un modello matematico basato su Reti Neurali e Machine Learning per il controllo ottimale del sistema e la riduzione del degrado e l'incremento della vita utile" D3.3.7.8 [M39] Rapporto tecnico "Analisi degli ecoprofilo dello stack SOFC e del prereformer. Eco-design del sistema integrato Stack SOFC/pre-reformer" D3.3.7.9 [M42] Prototipo sistema integrato stack SOFC-prereformer-batterie e caratterizzazione con alimentazione multifuel
WP3.4 - Ricerca e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile alimentate con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e	ENEA	

feedstock non convenzionali, per applicazioni stazionarie e per comunità energetiche locali (n° 4 LA) TRL 2-4			
WP3.4 - LA 3.4.1 Studio parametrico dei principali meccanismi di degrado legati all'utilizzo di miscele di gas non convenzionali in sistemi SOFC TRL 2-3	ENEA	D3.4.1.1 [M12] D3.4.1.2 [M30] D3.4.1.3 [M42]	Rapporto tecnico "Individuazione dei principali contaminanti presenti nei combustibili prodotti da: a) digestione anaerobica, b) gassificazione di biomasse, c) miscele di idrogeno-gas naturale (gas naturale di rete, odorizzato)" Rapporto tecnico "Procedura sperimentale per l'identificazione e la quantificazione dei meccanismi di contaminazione e indicazioni delle linee guida sui limiti di tolleranza" Rapporto tecnico "Impatto dei contaminanti in condizioni realistiche e analisi della reversibilità dei fenomeni di degrado"
WP3.4 - LA 3.4.2 Sviluppo di stack innovativi SOFC con caratteristiche di "fuel flexibility" alimentati con miscele di idrogeno e gas naturale per applicazioni stazionarie CHP- combined heat and power TRL 2-4	CNR	D3.4.2.1 [M12] D3.4.2.2 [M12] D3.4.2.3 [M24] D3.4.2.4 [M36] D3.4.2.5 [M42]	Rapporto tecnico "Review comparativa stato dell'arte internazionale sui materiali in via di sviluppo e loro caratterizzazione" Rapporto tecnico "Metodologie e protocolli per la sintesi di laboratorio e la caratterizzazione delle fasi selezionate" Batch di almeno 200 gr di catalizzatori anodici selezionati con proprietà di tolleranza H ₂ S superiore a 80 ppm e contenuto di C e S inferiore all'1% in peso valutato mediante analisi CHNS-O, dopo 1000 ore di test in presenza di biocombustibile Rapporto tecnico "Protocollo di produzione di almeno 3 celle SOFC a larga area (25 cm ²) aventi una resistenza ohmica complessiva inferiore a 0,15 Ωcm ² a 750 °C" Dimostrazione di un degrado inferiore al 10% / 1000 h, misurato tramite curve I-V e perdite di gas inferiore al 10% misurata tramite GC o analisi di pressione. Bilancio energetico e disegno esecutivo dell'impianto CHP
WP3.4 - LA 3.4.3 Valutazione di soluzioni basate su celle a combustibile e accumulo di idrogeno in un sistema energetico locale TRL 2-4	RSE	D3.4.3.1 [M12] D3.4.3.2 [M24] D3.4.3.3 [M36] D3.4.3.4 [M42]	Rapporto tecnico "Simulazione tecnico-economica di un impianto di cogenerazione basato su fuel cell" Rapporto tecnico "Individuazione e allestimento di un dimostratore di soluzioni di cogenerazione basate su fuel cell" Rapporto tecnico "Sperimentazione di un impianto pilota di cogenerazione basato su fuel cell" Rapporto tecnico "Analisi di scalabilità e replicabilità dei risultati ottenuti sugli impianti di cogenerazione basati su fuel cell considerati"
WP3.4 - LA 3.4.4 Analisi delle problematiche di sicurezza relative all'utilizzo di celle a combustibile TRL 2-4	RSE	D3.4.4.1 [M6] D3.4.4.2 [M18] D3.4.4.3 [M30] D3.4.4.4 [M42]	Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Normativa tecnica e di legge" Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Analisi di sicurezza di casi tipici" Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Supporto allo sviluppo della normativa tecnica" Rapporto tecnico "Sicurezza dei sistemi a celle a combustibile presso utenze civili o assimilabili - Una guida tecnica"

WP3.5 - Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e sistemi innovativi di celle a combustibile, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali (n° 6 LA) TRL 2-4	ENEA		
WP3.5 - LA 3.5.1 Realizzazione di un testing-hub per caratterizzare e validare le prestazioni di dispositivi SOC, prototipali o commerciali, inclusi i relativi sistemi ausiliari e di controllo. Stesura di protocolli sperimentali da scala di laboratorio a scala di sistema TRL 2-4	ENEA	D3.5.1.1 [M24] D3.5.1.2 [M36] D3.5.1.3 [M42]	Rapporto tecnico "Realizzazione e adeguamento degli ambienti dedicati ad ospitare il testing hub" Rapporto tecnico "Collaudo e prime attività del testing hub" Rapporto tecnico "Risultati della prima campagna sperimentale condotta"
WP3.5 - LA 3.5.2 Realizzazione di un testing-hub per caratterizzare e validare le prestazioni di dispositivi PEM, prototipali o commerciali, inclusi i relativi sistemi ausiliari e di controllo. Stesura di protocolli sperimentali da scala di laboratorio a scala di sistema TRL 2-4	ENEA	D3.5.2.1 [M24] D3.5.2.2 [M36] D3.5.2.3 [M42]	Rapporto tecnico "Prototipo testing-hub bassa potenza" Rapporto tecnico "Prototipo testing-hub rigenerativo" Rapporto tecnico "Protocolli sperimentali per prove su celle PEM"
WP3.5 - LA 3.5.3 Protocolli di test armonizzati per la valutazione di materiali e componenti per celle a combustibile a bassa ed alta temperatura e relativa validazione in laboratorio TRL 2-4	CNR	D3.5.3.1 [M12] D3.5.3.2 [M15] D3.5.3.3 [M24] D3.5.3.4 [M36] D3.5.3.5 [M42]	Rapporto tecnico "Prototipo testing-hub bassa potenza" Rapporto tecnico "Protocolli di test per catalizzatori ed elettroliti per celle a combustibile ad alta e bassa temperatura" Rapporto tecnico "Protocolli di test per assemblati di elettrodi ed elettroliti celle a combustibile ad alta e bassa temperatura" Rapporto tecnico "Protocolli di test per stack di celle a combustibile per applicazioni specifiche" Rapporto tecnico "Protocolli di test per sistemi di celle a combustibile per applicazioni specifiche"
WP3.5 - LA 3.5.4 Analisi di sostenibilità ed eco-design di tecnologie a celle a combustibile TRL 2-4	ENEA	D3.5.4.1 [M12] D3.5.4.2 [M12] D3.5.4.3 [M36] D3.5.4.4 [M42]	Rapporto "Definizione del quadro metodologico da adottare per LCA, SLCA e analisi tecnico-economica" Rapporto "Validazione della metodologia e della suite informatica, risultati preliminari per alcune tecnologie di celle a combustibile" Rapporto "Valutazione della sostenibilità delle tecnologie di celle a combustibile sviluppate e della loro operazione" Rapporto "Valutazione finale della sostenibilità delle tecnologie di celle a combustibile sviluppate"

<p>WP3.5 - LA 3.5.5</p> <p>Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie per l'uso dell'idrogeno nelle celle a combustibile. Organizzazione di Summer School tematiche</p> <p>TRL n.a.</p>	<p>ENEA</p>	<p>D3.5.5.1 [M12] Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 1° anno"</p> <p>D3.5.5.2 [M24] Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 2° anno"</p> <p>D3.5.5.3 [M36] Rapporto tecnico o "Attività di formazione su tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno - 3° anno"</p> <p>D3.5.5.4 [M42] Rapporto tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sui temi del trasporto e accumulo di idrogeno"</p>
<p>WP3.5 - LA3.5.6</p> <p>Sviluppo di programmi di formazione per portare ad una filiera integrata di competenze e per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore delle celle a combustibile</p> <p>TRL n.a.</p>	<p>CNR</p>	<p>D3.5.6.1 [M12] Rapporto tecnico sui contratti per dottorati industriali o assegnisti</p> <p>D3.5.6.2 [M12] Rapporto tecnico riguardo le nozioni di base e specifiche nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile fornite ai formandi</p> <p>D3.5.6.3 [M24] Realizzazione di almeno un corso di formazione per diplomati in materie tecnico scientifiche ed economiche</p> <p>D3.5.6.4 [M24] Rapporto tecnico sul coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile, a partire da processi elettrochimici, catalitici etc.</p> <p>D3.5.6.5 [M36] Realizzazione di almeno un corso di formazione per laureati e studenti di dottorati in materie tecnico scientifiche ed economiche</p> <p>D3.5.6.6 [M36] Rapporto tecnico sulla prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite</p> <p>D3.5.6.7 [M42] Rapporto tecnico sulla prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 4 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative nell'ambito dello sviluppo di celle a combustibile</p> <p>D3.5.6.8 [M42] Realizzazione di almeno un corso di formazione per personale del settore privato</p>

Obiettivo 4 - Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno

L'Obiettivo 4 è costituito da 3 WPs e da 16 LA.

I WPs sono articolati come di seguito descritto:

- WP4.1 (che conta 4 LA) è incentrato sullo sviluppo e l'implementazione di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Saranno analizzati casi d'uso e scenari energetici, al fine di fornire prodotti della ricerca che coprano un adeguato numero di ambiti applicativi.
Principali argomenti trattati: interfacciamento dei dispositivi a idrogeno per erogazione di servizi ancillari alle reti energetiche (dispositivi, intelligenza artificiale, energy management); interoperabilità ed integrazione di dispositivi per la generazione, l'accumulo e l'utilizzo di idrogeno; gestione di sistemi energetici locali multi-vettore.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.
- WP4.2 (che conta 4 LA) riguarda la sperimentazione e validazione di una infrastruttura basata sull'idrogeno in scala microgrid con l'obiettivo di condurre valutazioni in termini di sicurezza ed efficienza di esercizio, sostenibilità ambientale, servizi erogabili, gestione integrata con altre reti energetiche.
Principali argomenti trattati: integrazione su scala microrete nei diversi ambiti applicativi (studio sperimentale in emulazione di configurazioni multisetoriali e multivettore); interfaccia tra tecnologie a idrogeno e microreti (studio sperimentale in scala di laboratorio); gestione di dispositivi a idrogeno per microreti; rete locale sperimentale di un sistema energetico integrato multivettore.
TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.
- WP4.3 (che conta 8 LA) si pone l'obiettivo di fornire strumenti, standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie emergenti, componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno, e di supportare la formazione di figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione e sviluppo di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti.
Principali argomenti trattati: test e validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo; modelli predittivi e analisi dati; sistemi per l'identificazione dei siti ottimali; modellistica (rappresentazione digitale) delle reti di gas per valutare impatto del trasporto e distribuzione di idrogeno; protocolli di test armonizzati per la validazione di infrastrutture a idrogeno; processi di gestione delle infrastrutture a idrogeno e integrazione con altri vettori energetici; formazione di figure professionali (smart management, erogazione di servizi ancillari, interoperabilità con altri sistemi e reti, infrastrutture a idrogeno).
TRL iniziale: 2, TRL finale: 5.

WP4.1 - Ricerca, sviluppo e implementazione di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Test e applicazioni

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

L'integrazione delle infrastrutture ad idrogeno nelle reti energetiche risulta essenziale per ottimizzare la gestione del sistema energetico nel suo complesso. A tal fine si rende necessario il ricorso a tecnologie che abilitino la gestione avanzata delle infrastrutture ad idrogeno sia per garantire l'interoperabilità con gli altri sistemi e reti, sia per potenziare lo sfruttamento della flessibilità delle infrastrutture ad idrogeno nel sistema energetico integrato rendendolo competitivo con un sistema convenzionale. Negli ultimi anni, la ricerca nel settore dell'idrogeno si è prevalentemente focalizzata sugli aspetti tecnologici connessi alla generazione e all'accumulo del vettore e solo recentemente sono stati intrapresi studi volti ad indagare le problematiche connesse alla sua integrazione. A partire da tali premesse, il WP4.1 si pone l'obiettivo di analizzare tali aspetti, proponendo soluzioni software di smart management che abilitino l'interconnessione delle infrastrutture ad idrogeno nel sistema energetico consentendone l'esercizio ottimale.

Il raggiungimento di tale obiettivo richiede una approfondita indagine preliminare legata alla molteplicità di utilizzi del vettore idrogeno, per ciascuna delle quali sarà richiesto lo sviluppo di soluzioni di smart management specifiche del contesto applicativo e peculiari delle funzioni erogate. È evidente, infatti, che l'esercizio di infrastrutture che utilizzino in maniera diretta idrogeno, anche per miscelazione con altri combustibili, richiede algoritmi di smart management completamente diversi da quelli necessari per gestire l'utilizzo di idrogeno come stoccaggio energetico a lungo termine. Analogamente, l'erogazione di servizi ancillari alla rete richiede una programmazione diversa da quella prevista per l'integrazione delle infrastrutture ad idrogeno nel settore residenziale (es. in microreti o comunità energetiche). Pertanto, a valle di una definizione puntuale dei campi di indagine, si procederà ad una selezione dei casi d'uso e degli scenari energetici da investigare e, successivamente, all'implementazione degli algoritmi di smart management. Questi ultimi, in particolare, opereranno sull'infrastruttura agendo a livello di interfaccia o di sistema, in funzione del campo applicativo definito dallo scenario e dal caso d'uso.

I tre soggetti coinvolti, ENEA, RSE e CNR, procederanno in maniera coordinata e complementare, focalizzando l'attenzione ciascuno su particolari casi d'uso e scenari energetici, al fine di fornire, quali output, prodotti della ricerca che coprano un ampio e significativo numero di ambiti applicativi ed evitando duplicazioni della ricerca. Più nello specifico, RSE focalizzerà maggiormente l'attenzione sullo sviluppo degli algoritmi per sistemi multi-vettore, mentre ENEA e CNR si concentreranno su entrambe le applicazioni per il management a livello di interfaccia e sistemico, ma operando su ambiti applicativi diversi.

WP4.1 – LA4.1.1

Progettazione e test di dispositivi e apparati per l'interfacciamento, la gestione e la protezione di sistemi basati su idrogeno con capacità di erogazione di servizi ancillari alle reti energetiche

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Giovanna Adinolfi

Mese inizio: 1 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 136.900,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 217.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 215.600,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 68.500,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 638.000,00

Descrizione attività:

Un aspetto cruciale per l'integrazione degli apparati basati su idrogeno nelle reti energetiche è costituito dalla necessità di progettare e realizzare opportuni sistemi di interfaccia. Si tratta di convertitori che effettuano una regolazione per ottenere livelli di tensione e corrente adeguati allo specifico generatore H₂ based. Tali sistemi di interfaccia devono essere progettati con stringenti specifiche tecniche in termini non solo di efficienza, ma anche di affidabilità e controllo. E', infatti, tramite un controllore, collocato a livello dell'interfaccia, che gli apparati ad idrogeno diventano in grado di rispondere a comandi esterni. In tal modo le apparecchiature H₂ based possono fornire servizi ancillari alle reti energetiche. Bisogna, inoltre, aggiungere che sono necessari dispositivi per la protezione da eventuali guasti che si possono presentare sulla rete.

Alla luce di tali premesse, l'obiettivo principale della attività LA4.1.1 consiste nello studio e progettazione di sistemi di interfaccia, gestione e protezione di apparati basati sull'idrogeno per le reti energetiche di ultima generazione. Esso viene perseguito considerando diversi ambiti applicativi (come, per esempio, le comunità energetiche e gli aggregatori) caratterizzati anche da generazione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

In tali contesti, la possibilità di identificare il miglior match tra il generatore in ingresso (anche basato su RES) e gli apparati di produzione di idrogeno (o quello tra il generatore di energia elettrica basato su idrogeno e la rete elettrica o il carico da alimentare in uscita) rappresenta un aspetto cruciale ai fini dell'integrazione tra le tecnologie e del conseguimento di soddisfacenti livelli prestazionali. Nella LA4.1.1, sarà condotta una fase di studio delle topologie circuitali che risultano più idonee alla specifica applicazione sulla base delle caratteristiche della rete e delle peculiarità degli apparati di (generazione idrogeno - accumulo idrogeno - produzione energia elettrica da idrogeno). Sulla base di tale analisi preliminare saranno definite le specifiche dei convertitori di interfaccia e si procederà con la progettazione del relativo stadio di potenza. Successivamente, si procederà a valutare le funzionalità del sistema di controllo che dovranno garantire non solo l'interoperabilità tra la rete energetica e il sistema (generazione idrogeno - accumulo idrogeno - produzione energia elettrica), ma anche il coordinamento online e da remoto dei diversi apparati basati su idrogeno in modo da fornire servizi ancillari alla rete.

Bisogna evidenziare che il controllore invierà comandi ai diversi sottosistemi e si coordinerà con il dispositivo di controllo a bordo dei singoli apparati basati su idrogeno (sviluppato nella LA4.1.2) al fine di garantirne un funzionamento performante in relazione allo specifico ambito applicativo.

A titolo di esempio, il controllore riceverà dati e informazioni sulla rete e sugli apparati H₂ based, ma anche sulle condizioni meteorologiche e di carico al fine di poter comandare attuatori e unità di generazione/carico/accumulo per il soddisfacimento di specifiche operative, anche in risposta a richieste di servizi da parte della rete o dei generatori RES.

In seguito alla progettazione dello stadio di potenza e di controllo si procederà alla realizzazione dei sistemi di interfaccia. Test sperimentali e campagne di misura per la verifica delle funzionalità dello stadio di potenza e di controllo di tali convertitori saranno condotti presso i laboratori del C.R. ENEA di Portici.

Sarà, inoltre, progettato, simulato e realizzato un interruttore a stato solido per la protezione da sovracorrenti e dispersioni generate da guasti.

Esso sarà sviluppato in maniera da interrompere le correnti di guasto repentinamente in modo da ridurre al minimo, o evitare totalmente, danneggiamenti.

Dato l'elevato grado di innovazione della tematica proposta nella LA, per lo svolgimento della stessa, si intende attivare una collaborazione con il Politecnico di Bari, che ha una consolidata e specifica esperienza nel settore dello sviluppo di sistemi intelligenti con particolare riferimento all'utilizzo dell'idrogeno come elemento di accumulo per regolarizzare le notevoli variabilità delle produzioni da fonte eolica e fotovoltaica, consentendo un sempre più alto grado di penetrazione di queste fonti rinnovabili non programmabili nei moderni sistemi elettrici anche in ottica di erogazione dei servizi ancillari.

Risultati attesi:

I risultati attesi dalle attività della LA4.1.1 sono: 1) definizione delle specifiche dei convertitori di interfaccia di apparati basati su idrogeno per le reti energetiche di ultima generazione; 2) progettazione dei convertitori di interfaccia di apparati basati su idrogeno per le reti energetiche di ultima generazione; 3) prototipazione e test di funzionalità dei convertitori di interfaccia di apparati basati su idrogeno; 4) definizione delle specifiche del sistema di protezione per reti energetiche di ultima generazione basate su idrogeno; 5) progettazione del sistema di protezione per reti energetiche di ultima generazione basate su idrogeno; 6) prototipazione e test di funzionalità del sistema di protezione per reti energetiche di ultima generazione basate su idrogeno. Nell'ambito di tali risultati si possono individuare le seguenti milestone:

M4.1.1.1 [M18]	Definizione delle specifiche e progettazione dei convertitori di interfaccia
M4.1.1.2 [M30]	Realizzazione dei prototipi di convertitori di interfaccia
M4.1.1.3 [M36]	Test e validazione dei convertitori di interfaccia
M4.1.1.4 [M20]	Definizione delle specifiche e progettazione del sistema di protezione
M4.1.1.5 [M32]	Realizzazione del prototipo del sistema di protezione
M4.1.1.6 [M42]	Test e validazione del sistema di protezione

Output:

D4.1.1.1 [M18]	Rapporto Tecnico "Prototipo di convertitore di interfaccia e relativo sistema di gestione per apparati di generazione idrogeno e accumulo idrogeno connessi alle reti energetiche"
D4.1.1.2 [M36]	Rapporto Tecnico "Prototipo di convertitore per l'interfacciamento di generatori di energia elettrica da idrogeno con le reti energetiche e relativo sistema di gestione"
D4.1.1.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Prototipo del sistema di protezione"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP4.1 – LA4.1.2

Sviluppo di strategie e tecnologie per l'interoperabilità e lo smart management di apparati di generazione, accumulo e utilizzo di idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Antonio Ricca

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 134.200,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 219.600,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 195.200,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 61.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 610.000,00

Descrizione attività:

L'obiettivo principale dell'attività 4.1.2 consiste nello sviluppo di strategie di controllo finalizzate all'efficace interoperabilità ed integrazione di dispositivi per la generazione, l'accumulo e l'utilizzo del vettore idrogeno. Tale obiettivo sarà raggiunto identificando le tecnologie utilizzabili (potenziali e/o commerciali) nei diversi stadi del ciclo-idrogeno, e valutandone la loro applicabilità, mediante opportune strategie di gestione, nelle reti energetiche.

Maggiore attenzione verrà attribuita ai processi di generazione di idrogeno a partire da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) e agli scenari che mostrano il ruolo fondamentale del vettore-idrogeno nella transizione energetica. L'ampia scelta di processi di produzione di idrogeno, in particolare, impone la necessità di considerare diversi sistemi di accumulo e di riconversione/riutilizzo dell'idrogeno generato, sulla base della metodologia di produzione e dello scenario all'interno del quale il sistema deve essere integrato. Se da una parte, la riconversione in energia elettrica mediante celle a combustibile appare tra le scelte più indicate all'interno di una smart grid elettrica, dall'altra, la possibilità di immettere l'idrogeno nelle reti di distribuzione del gas (a creare blending di idrogeno e gas naturale) o il suo utilizzo in processi chimici on-site sono applicazioni che non possono essere trascurate. Non ultimo, la necessità di produzione/disponibilità on-demand per l'alimentazione di veicoli alimentati ad idrogeno risulta una prospettiva sempre più vicina.

La complessità e l'eterogeneità delle tecnologie ipotizzabili evidenzia la complessità di definire una affidabile interoperabilità tra gli apparati di generazione, accumulo e utilizzo coinvolti.

All'interno della LA4.1.2 verranno individuate, di concerto con la LA4.1.1, le principali tecnologie caratteristiche delle tre fasi del ciclo del vettore idrogeno: generazione, stoccaggio, utilizzo.

Per ogni tecnologia individuata, verranno analizzate le possibili logiche di esercizio, al fine di individuare la strategia che meglio si presta allo stadio successivo di interoperabilità. Lo sviluppo delle strategie proposte sarà condotto in un sistema in scala di laboratorio capace di integrare le tecnologie individuate; in particolare, verrà progettato un impianto in cui saranno allocate ed interconnesse le unità di generazione, stoccaggio ed utilizzo di idrogeno. Verranno definite in dettaglio le diverse utility necessarie alla gestione dell'impianto. Il sistema così progettato verrà realizzato e, in accordo con la LA4.2.1, sarà effettuata una fase di testing. In una prima fase, ogni apparato sarà testato individualmente in modo da caratterizzarne sia i regimi di esercizio che le fasi transitorie. Sarà, poi, testata l'interoperabilità tra gli apparati basati su idrogeno in accordo alle strategie di gestione definite. Successivamente verranno integrati i dispositivi di interfacciamento individuati e sviluppati all'interno della LA4.1.1 e sarà testato il coordinamento tra le logiche di gestione degli apparati basati su idrogeno con le strategie di controllo implementate nella LA4.1.1 in risposta ad esigenze della rete energetica o per la fornitura, a quest'ultima, di servizi.

Risultati attesi:

I risultati attesi dalle attività della LA4.1.2 sono: 1) individuazione delle principali tecnologie caratteristiche delle tre fasi del ciclo del vettore idrogeno: generazione, stoccaggio, utilizzo; 2) analisi delle logiche di esercizio; 3) implementazione delle strategie di gestione della tecnologia che garantisce l'interoperabilità; 4) sviluppo di un ambiente di test - in scala laboratorio - per la validazione sperimentale delle strategie proposte; 5) risultati dei test sulle strategie proposte. Nell'ambito di tali risultati si possono individuare le seguenti milestone:

M4.1.2.1[M18] Definizione delle logiche di esercizio dei componenti di generazione, accumulo e utilizzo di idrogeno in funzione di specifici casi d'uso

M4.1.2.2 [M24]	Progettazione e sviluppo delle strategie di controllo delle tecnologie <i>hydrogen-based</i>
M4.1.2.3 [M20]	Progettazione del sistema di testing sperimentale
M4.1.2.4 [M30]	Realizzazione del sistema di testing sperimentale
M4.1.2.5 [M42]	Testing e validazione delle strategie di interconnessione del sistema

Output:

D4.1.2.1 [M18]	Rapporto Tecnico “Progettazione e sviluppo delle strategie di controllo delle tecnologie idrogeno
D4.1.2.2 [M36]	Rapporto Tecnico “Progettazione del sistema di testing sperimentale”
D4.1.2.3 [M42]	Rapporto Tecnico “Strategie di controllo avanzate per l’integrazione di dispositivi di generazione, accumulo e utilizzo di idrogeno”

TRL (inizio-fine): 2-4

WP4.1 – LA4.1.3

Studio di metodologie basate su intelligenza artificiale ed algoritmi di energy management per migliorare l’interfacciamento con la rete di infrastrutture ad idrogeno

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Francesco Sergi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 43.772,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 109.583,80

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 63.986,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 46.658,20

Costo totale LA (escluse spese generali): € 264.000,00

Descrizione attività:

Le attività prevedono lo studio dei singoli sistemi per la produzione, conversione, accumulo di energia per reti di idrogeno e lo sviluppo di una piattaforma data-driven per energy management basata su sistemi virtuali e digital twin. Sarà, dapprima, aggiornato lo stato dell’arte sulle tecnologie della produzione idrogeno al fine di ottenere una mappatura prestazionale, in termini tecnico-economici, riferita ad ogni tecnologia. Verrà identificato il ruolo che gli elettrolizzatori possono giocare nella futura configurazione del sistema energetico, sia come elemento chiave del sector-coupling, sia come elemento di flessibilità del sistema elettrico (Demand Response). A tal proposito saranno studiate e identificate anche le tecniche di energy management più adatte al controllo “ottimo” degli elettrolizzatori. I riferimenti prestazionali saranno impiegati per lo sviluppo di modelli di energy management di tipo tecnico-economici in grado di riprodurre il comportamento dell’intera catena elettrolizzatore-convertitore-storage idrogeno-rinnovabili.

Sarà sviluppata una metodologia numerica che integri funzioni ottime o sub-ottime di energy management per la massimizzazione del profitto e dell’efficienza degli elettrolizzatori, anche in relazione ai benefici che si possono apportare alla rete elettrica, nell’ottica di valorizzare nuovi servizi dedicati per incrementare la flessibilità del sistema energetico. Al fine di ridurre l’impatto dell’incertezza dei dati operativi del sistema sull’efficacia della gestione energetica, verranno messe a punto tecniche di forecasting basate su algoritmi di machine learning (ad es. reti neurali ricorrenti e reti neurali con meccanismi di attenzione) per la previsione della generazione elettrica da fonti rinnovabili e del consumo elettrico. Tale passaggio è di grande importanza al fine di incrementare

l'efficacia degli energy management systems, specie in un approccio di gestione dell'energia di tipo distribuito, ad es. multi-agente, in cui in cui i singoli agenti potrebbero non essere a conoscenza di tutte le fonti di incertezza.

A tale scopo, verranno identificati i requisiti di una piattaforma data-driven interoperabile per reti di infrastrutture ad idrogeno e le caratteristiche di una piattaforma di energy management con flussi di dati provenienti da sistemi di monitoraggio e da digital twin. Verranno utilizzati framework semantici (ontologie, etc.) per la gestione delle informazioni, disegnando ed implementando una piattaforma data-lake a layer ed una struttura semantica a dati/metadati. La piattaforma verrà implementata su sistemi ad alte prestazioni ed interfacciata con sistemi esterni ed algoritmi di AI e di supporto decisionale. L'interfacciamento verrà abilitato da interfacce software per l'integrazione nativa con elementi tipici delle reti infrastrutturali, come sensori, attuatori, dispositivi IoT, sistemi di monitoraggio della richiesta, dati di realtime (clima, costi), sistemi di produzione (celle), di stoccaggio e di conversione. Verranno sviluppati simulatori (componenti digital twin, modelli fisici e multi-scala/multi-fisici) per sistemi di monitoraggio, con interfacce software. Saranno condotte simulazioni avanzate al supercalcolatore di sensori specifici anche tramite l'uso di approcci quantum-based. I sistemi di integrazione dati verranno implementati e testati con dati da sistemi di monitoraggio e controllo virtuali, implementando modelli per la gestione delle anomalie. I modelli di AI (modelli standard di machine learning e specializzati, reinforcement learning, q-learning) e sistemi di supporto decisionale verranno implementati sulla piattaforma come layer ulteriori e validati. La piattaforma di integrazione permetterà di definire le basi per un digital twin di una rete di infrastrutture ad idrogeno, realizzando un sistema prototipale "open-loop" per l'ottimizzazione delle risorse. Il modello permetterà di valutare parametri legati a domanda e performance e per manutenzione predittiva.

Risultati attesi:

M4.1.3.1 [M6]	Stato dell'arte
M4.1.3.2 [M12]	Caratteristiche della piattaforma definite
M4.1.3.3 [M12]	Modelli matematici pronti
M4.1.3.4 [M18]	Requisiti per l'implementazione della piattaforma data-driven e per l'interfacciamento definiti
M4.1.3.5 [M24]	Tecniche di identificazione modelli black box e grey box pronte
M4.1.3.6 [M30]	Framework data-driven implementato
M4.1.3.7 [M32]	Simulatori di sistemi di generazione dati implementati
M4.1.3.8 [M36]	Logiche di energy management con funzioni ottime pronte
M4.1.3.9 [M41]	Modelli di AI e supporto decisionale implementati
M4.1.3.10 [M42]	Framework data-driven per energy management implementato

Output:

D4.1.3.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Stato dell'arte relativo alle tecnologie e alle metodologie di modellizzazione dei sistemi di produzione idrogeno da elettrolisi e relative tecniche di energy management (REP)"
D4.1.3.2 [M12]	Rapporto Tecnico sulle caratteristiche della piattaforma, sui requisiti per l'implementazione della piattaforma e per l'interfacciamento (REP)
D4.1.3.3 [M18]	Release iniziale del framework data-driven (DEM)
D4.1.3.4 [M24]	Rapporto Tecnico "Definizione di modelli matematici della catena" elettrolizzatore-convertitore-storage-rinnovabili (REP)

- | | |
|----------------|--|
| D4.1.3.5 [M30] | Rapporto Tecnico sui modelli di AI e sistemi di supporto decisionale implementati (REP) |
| D4.1.3.6 [M41] | Rapporto Tecnico sull'architettura del digital twin (REP) |
| D4.1.3.7 [M42] | Rapporto Tecnico "Metodologia numerica per soluzioni tecnico-economiche ottime relativamente alla produzione di idrogeno da elettrolisi (REP)" |

TRL (inizio-fine): 2-4

WP 4.1 – LA 4.1.4

Sviluppo e implementazione di sistemi di controllo per la gestione di sistemi energetici locali multi-vettore

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Carlo Sandroni

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 520.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 540.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 499.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 1.809.000,00

Descrizione attività:

Oggi il sistema elettrico è sempre più integrato con altri vettori energetici, formando le cosiddette *smart-grid* che permettono di gestire in maniera ottimale il sistema energetico locale e di offrire servizi ancillari alla rete. L'utilizzo di risorse, come le *fuel-cell*, che accoppiano molteplici vettori energetici, permette di sfruttare la flessibilità di un dominio a beneficio di un altro e viceversa. Questo può essere fatto solo coordinando opportunamente le risorse presenti nei vari domini energetici nel rispetto dei vincoli dell'intero sistema energetico.

L'attività prevista nella presente LA permetterà di sviluppare un sistema di controllo per la gestione di sistemi energetici locali multi-vettore. In particolare, l'attività si articolerà nel seguente modo:

- (a) Definizione caso d'uso ed elenco dei componenti da modellizzare: sarà descritto il sistema da investigare, definendo in modo dettagliato le caratteristiche delle varie risorse coinvolte e le modalità di funzionamento di ciascuna di esse. Saranno, inoltre, identificati i vari attori agenti sulle risorse e i rispettivi mercati energetici su cui opereranno. Tra i servizi che saranno definiti sarà presente la massimizzazione dell'autoconsumo delle fonti energetiche rinnovabili locali e la fornitura dei servizi al sistema elettrico.
- (b) Sviluppo dei modelli dei componenti presenti nel sistema energetico identificato con particolare attenzione alle risorse che accoppiano molteplici vettori energetici. In particolare, per ciascun componente si effettuerà:
 - I. analisi bibliografica del modello descrittivo: sarà condotta una ricerca dei modelli presenti in letteratura;
 - II. identificazione e sviluppo del modello: sarà sviluppato il modello più promettente riportato in letteratura. Per determinati componenti (es. carichi non controllabili, generazione fonti energetiche non programmabili) saranno definiti dei profili di funzionamento preimpostati da utilizzare per le simulazioni. La taratura dei parametri dei modelli sarà inizialmente effettuata sulla base di dati di letteratura. Poi, nel corso della sotto-attività (c) saranno eseguite prove sperimentali sulla Test Facility che si utilizzerà nella LA 4.2.5 per effettuare una calibrazione dei parametri;

- III. sviluppo di sistemi di controllo specifici: saranno sviluppati gli algoritmi che gestiscono il singolo componente con funzioni obiettivo indipendenti dalle finalità del sistema energetico multi-vettore (es. autoconsumo utenza elettrica);
 - IV. validazione modello: saranno eseguiti dei test in simulazione per verificare il corretto funzionamento del modello implementato e degli algoritmi implementati su di esso;
- (c) integrazione dei modelli sviluppati e preparazione dell'ambiente di simulazione con cui validare i sistemi di controllo del sistema multi-vettore:
- I. sviluppo dei modelli delle reti dei vari vettori energetici;
 - II. sviluppo del simulatore del sistema energetico multi-vettore: tutti i modelli sviluppati, risorse e reti, saranno adattati ed integrati attraverso una piattaforma di co-simulazione. A tal fine saranno eseguite prove sperimentali per calibrare i parametri dei modelli;
 - III. validazione del modello integrato: saranno eseguiti dei test in simulazione, utilizzando semplici tecniche di controllo, per verificare il corretto funzionamento del modello dell'intero sistema energetico;
- (d) sviluppo dei sistemi di controllo multi-vettore:
- I. analisi bibliografica dei sistemi di controllo per un sistema energetico locale;
 - II. identificazione e sviluppo di una o più tecniche di controllo: sulla base dell'analisi bibliografica condotta al punto precedente, si identificheranno e svilupperanno i controlli più promettenti in grado di fornire i servizi definiti al punto (a). Potranno essere apportare eventuali migliorie per includere tutte le risorse e i vettori energetici considerati nel caso studio;
 - III. validazione degli algoritmi di gestione sviluppati al punto precedente in ambiente di simulazione: i controlli sviluppati saranno testati attraverso un approccio SIL (Software In the Loop) sfruttando il simulatore del sistema energetico sviluppato al punto (c);
 - IV. sviluppo programma di gestione integrante gli algoritmi di gestione validati: una volta validato in simulazione il controllo del sistema energetico locale si svilupperà un eseguibile che potrà essere anche utilizzato per le prove sperimentali.

Il risultato dell'attività della LA sopradescritta sarà uno strumento software che permetterà di gestire un sistema energetico locale in modo efficiente, minimizzando i costi operativi, le perdite globali del sistema energetico.

Risultati attesi:

M4.1.4.1 [M6]	Definizione del caso d'uso su cui sarà sviluppato il controllo del sistema energetico locale è definito. Esso comprende la descrizione dei componenti e gli attori coinvolti, le funzioni obiettivo delle singole risorse e dell'intero sistema energetico locale
M4.1.4.2 [M18]	Sviluppo e definizione dei modelli delle reti del caso d'uso pronti per l'integrazione Modelli reti sviluppati
M4.1.4.3 [M18]	Modelli di tutte le risorse definite nel caso d'uso pronti per l'integrazione
M4.1.4.4 [M20]	Simulatore del sistema energetico definito nel caso d'uso con cui si validerà il sistema di controllo pronto per l'utilizzo
M4.1.4.5 [M30]	Sistema di controllo del sistema energetico validato attraverso il simulatore pronto per essere integrato nel software finale
M4.1.4.6 [M36]	Realizzazione del software integrante il sistema controllo sistema energetico

Output:

D.4.1.4.1 [M12]	Report Tecnico “Descrizione caso d’uso del sistema energetico locale”
D.4.1.4.2 [M24]	Report Tecnico “Modello integrato del sistema energetico locale”
D.4.1.4.3 [M36]	Report tecnico “Descrizione del sistema di controllo per un sistema energetico multi-vettore”
D.4.1.4.4 [M42]	Report Tecnico “Risultati di simulazione del sistema di gestione di sistemi energetici locali multi-vettore”

TRL (inizio-fine): 2-5

WP4.2 – Sperimentazione e validazione di una infrastruttura basata sull'idrogeno in scala microgrid

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Come già evidenziato in precedenza, il suo utilizzo richiede lo studio e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche, anche di natura digitale, per l'integrazione in infrastrutture complesse capaci di gestire, in maniera coordinata, i flussi energetici legati all'idrogeno e quelli derivanti da tutte le altre fonti di generazione presenti nel sistema, in accordo con la specifica funzione d'uso. L'applicabilità di tali soluzioni richiede, inoltre, il testing in infrastrutture complesse che consentano di validarne l'efficacia e misurarne le performance per definire eventuali azioni correttive e/o migliorative in accordo ad una logica sperimentale di feed-back. In tali premesse, l'obiettivo principale del WP4.2 consiste nella sperimentazione delle soluzioni sviluppate nell'ambito del WP4.1 in una infrastruttura complessa basata sull'idrogeno in scala microgrid. Più in dettaglio, ciascuna soluzione sviluppata nell'ambito del WP4.1, precedentemente validata in ambiente di simulazione, verrà integrata, nel WP4.2, in infrastrutture sperimentali rappresentative, anche se su scala ridotta, delle reali condizioni applicative delle infrastrutture basate su idrogeno. Tale validazione consentirà di valutare la risposta di sistema alle procedure sviluppate e tarare eventuali retroazioni, laddove l'output effettivo dei test dovesse discostarsi, oltre prefissati limiti, dall'output atteso. Nello scenario attuale, infatti, i sistemi energetici (es. le reti elettriche, le reti di distribuzione del metano, etc.) sono dotati di vari sistemi di controllo, regolazione e protezione, nonché di un elevato grado di automazione necessario per garantire il corretto funzionamento delle reti, ma non sono stati ideati per accogliere dispositivi di generazione innovativi quali quelli legati all'idrogeno. Pertanto, un ulteriore obiettivo della validazione sperimentale condotta nel presente WP consiste nel valutare l'effettiva possibilità di esercire le infrastrutture basate su idrogeno in sicurezza, sostenibilità ambientale ed efficienza di esercizio, integrando i meccanismi di gestione dell'idrogeno con le nuove modalità di gestione delle reti tradizionali proposte.

In accordo con le modalità di lavoro seguite nel WP4.1, anche nel presente WP, i tre soggetti realizzatori coinvolti, ENEA, RSE e CNR, procederanno in maniera coordinata e complementare, focalizzando l'attenzione sulla validazione, mediante i propri apparati sperimentali, delle soluzioni tecnologiche proposte, al fine di raggiungere gli obiettivi del WP4.2 sopra richiamati.

WP4.2 – LA4.2.1

Infrastrutture basate sull'idrogeno: studio sperimentale in emulazione dell'integrazione nei diversi ambiti applicativi su scala microrete

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Maria Valenti

Mese inizio: 6 Mese fine: 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 40.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 150.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 135.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 55.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 380.000,00

Descrizione attività:

La realizzazione di reti prevalentemente basate sul vettore idrogeno pone molteplici sfide di natura realizzativa. Necessità di investimenti infrastrutturali lungo l'intera catena energetica, condizioni sulla sicurezza e incertezze sulla corrispondenza tra domanda e offerta sono sfide che devono essere gestite attraverso strategie di coinvolgimento multisettoriale e l'implementazione di nuovi modelli di governance per rendere fattibile e sostenibile l'esistenza di reti basate sull'idrogeno. Modelli di governance e reti multisettoriali basate sull'utilizzo di vettori energetici multipli devono, quindi, essere preliminarmente studiati e sperimentati in ambiente rappresentativo per poter identificare soluzioni fattibili, evidenziandone potenzialità e criticità. In tali premesse, oggetto della presente attività è lo studio sperimentale in emulazione di configurazioni multisettoriali e multivettore di reti basate su un utilizzo percentualmente rilevante di idrogeno.

Lo studio sarà condotto attraverso i seguenti passi logici:

i) progettazione di casi d'uso connessi a diversi ambiti applicativi

I casi d'uso identificati potranno essere basati su reti in cui si realizzano sinergie tra gli stakeholder mediante condivisione di risorse e/o strutture (es. scambio energetico tra unità di produzione e/o consumo diverse o condivisione di infrastrutture energetiche). L'identificazione dei vari casi d'uso sarà effettuata esplorando i diversi ambiti di produzione e di utilizzo dell'idrogeno, ivi compreso gli ambiti multiuso dell'idrogeno (es. vettore energetico decarbonizzato nelle reti gas, carburante per veicoli, ecc.).

ii) definizione delle configurazioni architetture logiche

In corrispondenza di ciascun caso d'uso precedentemente delineato verranno costruite le architetture delle reti energetiche corrispondenti per il successivo studio ed emulazione sperimentale.

iii) definizione di KPI per la valutazione delle performance dei diversi casi d'uso

iv) emulazione sperimentale dei casi d'uso e comparazione dei risultati ottenuti.

La LA4.2.1 completa lo studio condotto nelle LA4.1.1 e 4.1.2, e pone le basi per definire le linee guida della LA4.3.1. Più nello specifico, le linee LA4.1.1 e 4.1.2 hanno come output principale la progettazione, lo sviluppo e il testing sperimentale delle strategie e degli algoritmi di gestione delle tecnologie coinvolte nel ciclo idrogeno (4.1.2) e dei relativi sistemi di interfaccia tecnologia-rete (4.1.1) in risposta ad esigenze o servizi di rete. Algoritmi di controllo e gestione sviluppati nelle due attività costituiranno gli elementi di base per il setting delle risorse all'interno delle microreti basate sull'idrogeno, studiate e sperimentate nell'ambito della LA4.2.1. Più nello specifico, le architetture di microrete, progettate e implementate nella LA4.2.1 per analizzare l'integrazione delle infrastrutture basate sull'idrogeno nei diversi ambiti applicativi su scala microgrid, saranno gestite a livello di controllo più alto da algoritmi di gestione sviluppati nella stessa linea di attività (LA4.2.1) e, a livello più basso, da algoritmi sviluppati nelle LA4.1.1 e 4.1.2. Lo studio sperimentale mediante gli apparati integrati nella microrete di laboratorio installata presso il Centro Ricerche di Portici e un sistema Hardware-In-the-Loop (HIL) fornirà risultati da cui sarà possibile trarre informazioni fondamentali per la successiva definizione delle linee guida nella LA4.3.1.

Per la sperimentazione in emulazione proposta nella presente LA, si intende attivare una collaborazione con il Politecnico di Bari, che ha una consolidata e specifica esperienza nel settore dello sviluppo di sistemi intelligenti e si avvale di una avanzata infrastruttura di tipo sperimentale per la ricerca e lo sviluppo di nuovi dispositivi, componenti e sistemi per applicazioni nel settore delle reti. La collaborazione congiunta, mediante le due reti sperimentali in dotazione a ENEA e al Politecnico di Bari, potrà fornire soluzioni innovative per la risoluzione delle problematiche di integrazione delle infrastrutture basate sull'idrogeno nelle reti.

Risultati attesi:

I risultati attesi dalle attività della LA4.2.1 sono: 1) progettazione di casi d'uso connessi a diversi ambiti applicativi; 2) sviluppo, in ambiente digitale, delle architetture di microrete corrispondenti ai diversi casi d'uso di infrastrutture basate su idrogeno; 3) implementazione delle strategie (algoritmi e modelli) di controllo di alto livello delle microreti e integrazione dei modelli di controllo di basso livello dalle LA4.1.1 e LA4.1.2; 4) sviluppo di un ambiente di test – in scala laboratorio - per la validazione sperimentale delle strategie proposte; 5) risultati e comparazione dei test sulle strategie proposte in funzione dei KPI definiti. Nell'ambito di tali risultati si possono individuare le seguenti milestone:

M4.2.1.1 [M18]	Produzione dei casi d'uso connessi a diversi ambiti applicativi
M4.2.1.2 [M24]	Modellazione delle configurazioni architetture
M4.2.1.3 [M36]	Implementazione degli algoritmi di controllo di basso e alto livello nelle architetture
M4.2.1.4 [M42]	Completamento test sperimentali in emulazione

Output:

D4.2.1.1 [M 18]	Rapporto tecnico "Modellazione delle configurazioni architetture"
D4.2.1.2 [M36]	Rapporto tecnico "Algoritmi di controllo"
D4.2.1.3 [M42]	Rapporto tecnico "Studio in emulazione dell'integrazione delle infrastrutture ad idrogeno in ambiti applicativi su scala microrete"

TRL (inizio-fine): 2-4

WP4.2 – LA4.2.2

Studio sperimentale su scala di laboratorio di interfacce tra tecnologie ad idrogeno e microgrids

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Massimiliano Luna

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 32.791,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 49.766,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 52.766,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 48.677,00

Costo LA (escluse spese generali): € 184.000,00

Descrizione attività:

I sistemi di controllo e comunicazione di impianti di produzione idrogeno da elettrolisi sono attualmente relegati alla mera funzione di servizi ausiliari d'impianto. Specialmente nei cluster industriali, dove il ruolo dell'idrogeno sarà primario per contribuire efficacemente alla decarbonizzazione dei settori hard-to-abate, sarà sempre maggiore la penetrazione della tecnologia idrogeno e, quindi, si rende necessario studiare nuove metodologie e tecnologie che possano portare questi sistemi a divenire sempre più interoperabili nei confronti delle microreti e dei distretti su cui insistono. Tali studi possono essere utili anche per favorire l'impiego degli elettrolizzatori anche come elemento modulabile della rete elettrica, al fine di incrementare la necessaria flessibilità richiesta alle reti elettriche, a causa della larga presenza delle rinnovabili. Saranno effettuati nel primo anno studi sulle architetture di comunicazione e controllo e più in generale sull'interoperabilità delle infrastrutture ad idrogeno e del loro possibile ruolo nelle reti e nelle microreti.

Obiettivo principale del secondo anno è sviluppare un proof of concept di un sistema di controllo e comunicazione interoperabile e che utilizzi un insieme minimo di dati.

Durante la linea di attività del terzo anno saranno definite le nuove funzioni da implementare all'interno del controllore e sarà progettato e sviluppato un test bench da laboratorio per la validazione di un proof of concept di controllore innovativo.

Tale attività riceverà al termine del quarto anno gli output della linea di attività precedente e cioè gli algoritmi di energy management, che saranno implementati anch'essi all'interno del controllore.

Risultati attesi:

M4.2.2.1 [M12]	Studi sistemi di controllo e di interoperabilità sector-coupling
M4.2.2.2 [M24]	Definizione delle nuove funzioni da implementare nel controllore d'impianto produzione idrogeno
M4.2.2.3 [M36]	Progettazione del test a banco e integrazione delle nuove funzioni e degli algoritmi di energy management
M4.2.2.4 [M42]	PoC del controllore a scala laboratorio e validazione

Output:

D4.2.2.1 [M12]	Rapporto Tecnico "Studi sistemi di controllo e di interoperabilità sector-coupling"
D4.2.2.2 [M24]	Rapporto Tecnico "Definizione delle nuove funzioni da implementare nel controllore d'impianto produzione idrogeno"
D4.2.2.3 [M36]	Rapporto Tecnico "Progettazione del test a banco e integrazione delle nuove funzioni e degli algoritmi di energy management"
D4.2.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico "PoC del controllore a scala laboratorio e validazione"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP4.2 – LA4.2.3

Sviluppo di convertitori e algoritmi per la gestione ottimizzata di dispositivi energetici ad idrogeno per microreti

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Massimiliano Luna

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 23.863,75

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 81.400,75

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 81.423,75

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 45.311,75

Costo totale LA (escluse spese generali): € 232.000,00

Descrizione attività:

Nell'ambito della presente attività ci si propone di sviluppare un convertitore elettronico di potenza ad elevate prestazioni per l'alimentazione di elettrolizzatori da sorgenti rinnovabili e/o dalla rete pubblica. A fronte dell'attuale stato dell'arte, si esplorerà la possibilità di ottenere elevate prestazioni mediante l'ottenimento di una o più tra queste caratteristiche: basse perdite elettriche ed elevata dinamica al fine di incrementare l'efficienza operativa; elevata densità di potenza al fine di ridurre il peso e l'ingombro del convertitore; elevato rapporto tra le tensioni di ingresso e di uscita, così da ampliare le possibilità di interfacciamento tra elettrolizzatore e sorgente/rete;

possibilità di tollerare le fluttuazioni della potenza ingresso fornita dalla sorgente rinnovabile, così da non interrompere l'alimentazione del carico; basso ripple di corrente per massimizzare la vita utile dell'elettrolizzatore; basse emissioni di disturbi per limitare le interferenze elettromagnetiche (EMI). In quest'ottica, si farà uso di dispositivi di commutazione a banda larga quali quelli basati sul Carburo di Silicio (SiC) o sul Nitruro di Gallio (GaN). Tali dispositivi, infatti, sono caratterizzati da una resistenza di conduzione più bassa e da una frequenza di commutazione più elevata rispetto ai tradizionali dispositivi basati sul Silicio (Si). La minore resistenza consente di ridurre le perdite Joule. L'incremento della frequenza di commutazione permette da un lato di ridurre la taglia degli elementi reattivi (condensatori e induttori) e, conseguentemente, di incrementare la power density, nonché, al contempo, di poter incrementare la dinamica del sistema di controllo del convertitore. Di contro, tuttavia, incrementa potenzialmente la banda dei disturbi generati; pertanto, comporta l'utilizzo di filtri EMI più efficaci.

Dopo aver individuato una topologia circuitale idonea alla realizzazione nel primo anno di un convertitore elettronico di potenza ad elevate prestazioni per l'alimentazione di elettrolizzatori, se ne effettuerà la progettazione con riferimento sia agli aspetti circuitali (hardware) che al sistema di controllo (software). Nel secondo anno sarà sviluppato un modello matematico del convertitore che consentirà di effettuare simulazioni dinamiche per la validazione di entrambe le fasi di progettazione. Successivamente, il sistema di controllo del convertitore sarà verificato mediante approccio Hardware In the Loop (HIL) implementando il modello del convertitore su un simulatore real-time commerciale nel terzo anno. Infine, sarà realizzato un proof of concept del convertitore, che sarà validato mediante test in laboratorio nel quarto anno.

Risultati attesi:

M4.2.3.1 [M12]	Definizione dei requisiti per il convertitore per elettrolizzatori a partire dall'analisi dello stato dell'arte e individuazione di una topologia circuitale idonea
M4.2.3.2 [M24]	Progetto del convertitore e relativa modellazione e simulazione dinamica mediante software di simulazione commerciali
M4.2.3.3 [M36]	Progetto del sistema di controllo del convertitore e relativa validazione mediante approccio Hardware In the Loop (HIL) implementando il modello del convertitore su un simulatore real-time commerciale
M4.2.3.4 [M42]	Proof of concept del convertitore per l'alimentazione di elettrolizzatori e relativi test in laboratorio

Output:

D4.2.3.1 [M12]	Rapporto Tecnico dal titolo "Definizione dei requisiti per il convertitore per elettrolizzatori a partire dall'analisi dello stato dell'arte e individuazione di una topologia circuitale idonea"
D4.2.3.2 [M24]	Rapporto Tecnico dal titolo "Progettazione e simulazione di un proof of concept di convertitore elettronico di potenza ad elevate prestazioni per l'alimentazione di elettrolizzatori";
D4.2.3.3 [M36]	Rapporto Tecnico dal titolo "Progetto del sistema di controllo del convertitore e relativa validazione mediante approccio Hardware In the Loop (HIL) implementando il modello del convertitore su un simulatore real-time commerciale"
D4.2.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico dal titolo "Realizzazione di un proof of concept di convertitore elettronico di potenza ad elevate prestazioni per l'alimentazione di elettrolizzatori e prove sperimentali".

TRL (inizio-fine): 2-3

WP 4.2 – LA 4.2.4

Validazione e dimostrazione in una rete locale sperimentale di un sistema energetico integrato multi-vettore

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Carlo Sandroni

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 250.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 580.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 610.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 581.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 2.021.000,00

Descrizione attività:

Un'integrazione multi energetica efficace ed affidabile richiede lo sviluppo di funzioni di gestione e controllo innovative che, oltre a sfruttare a pieno le potenzialità dei singoli vettori energetici e dei relativi componenti, garantiscano la fornitura dei servizi richiesti in un'ottica di ottimizzazione energetica e di affidabilità del sistema complessivo. Tale gestione, prima di essere implementata su impianti reali, deve essere opportunamente sviluppata, validata e dimostrata su infrastrutture sperimentali.

L'attività prevista nella presente linea si focalizzerà sulla sperimentazione di una rete locale multienergetica e su nuove tecnologie e componenti industriali operanti con idrogeno puro o con miscele di gas naturale ed idrogeno. Le attività di sviluppo ed i risultati sperimentali saranno propedeutiche ed a supporto per la realizzazione della "Hydrogen Valley" di ENEA.

La sperimentazione di una rete locale dell'energia elettrica, calore e gas sarà effettuata sull'impianto multi energy di RSE opportunamente ampliato e potenziato; in particolare, a partire dall'impianto esistente, sviluppato nell'ambito di attività RdS e Mission Innovation, e costituito da una microrete elettrica in bassa tensione (con FER, cogeneratori, accumuli e carichi elettrici), da una rete di teleriscaldamento (con caldaie, accumuli, pompe di calore e carichi termici) e da una rete gas (idrogeno e miscele) costituita da elettrolizzatore, accumulo idrogeno ed utilizzatori con miscele, inoltre sarà installato un generatore elettrico che lavora con idrogeno in purezza. Inoltre, verrà effettuato l'adeguamento dell'architettura ICT della test facility multienergy di RSE per integrare apparecchiature e funzioni di gestione e controllo per il vettore idrogeno in una configurazione di rete locale dell'energia elettrica, calore e gas considerando quanto studiato nella LA4.3.6. Tale infrastruttura permetterà la sperimentazione di una rete locale multi energetica finalizzata ad aumentare la penetrazione delle FER, la sostenibilità economica per gli utenti e l'offerta di flessibilità al sistema elettrico. In particolare:

- dimostrazione di gestione integrata dei sistemi per ottimizzazione efficienza energetica, incremento di produzione di idrogeno da FER, soddisfacimenti bisogni termici ed elettrici utenze, riduzione costi di esercizio e costi finali utenza (attività connessa a Linea L4.1.4)
- servizi alla rete, ad es. bilanciamento, peak shaving, gestione carichi e regolazione della frequenza (attività connessa a Linea L4.1.4)
- test su singoli componenti, ad esempio, elettrolizzatori, Fuel cell, cogeneratori e caldaie, quest'ultimi anche a differenti concentrazioni di idrogeno (attività connessa a Linea L1.1.13)

L'impianto multi energy, per garantire la corretta integrazione dei differenti vettori energetici, presenta delle limitazioni nella taglia dei componenti installabili. Per ovviare a tale limitazione e

quindi garantire la possibilità di sperimentare componenti di caratteristiche e taglia maggiore (sino a circa 200-250 kW) verrà realizzata una seconda infrastruttura sperimentale dedicata principalmente alle prove dei componenti operanti con idrogeno puro e miscele. L'infrastruttura sarà dotata di postazioni di prova utilizzabili ad esempio per elettrolizzatori, generatori e cogeneratori, caldaie e bruciatori industriali, stoccaggio idrogeno in pressione ed utenze domestiche. I generatori e bruciatori potranno essere alimentati ad idrogeno puro e/o miscele; saranno inoltre installati circuiti per la dissipazione del calore. L'alimentazione di potenza (per elettrolizzatori e generatori) sarà connessa alla rete della Test Facility garantendo quindi l'integrazione dei componenti con la rete elettrica in un'ottica di sperimentazione multi energetica. L'impianto sarà inoltre dotato di una rete di distribuzione locale a differenti livelli di pressione per permettere la sperimentazione sui componenti di rete. Tale infrastruttura permetterà di:

- effettuare prove sui componenti principali tipo: elettrolizzatori, caldaie, motori a combustione interna, microturbine, bruciatori industriali, componenti domestici, stoccaggi in pressione, analizzatori, contatori di volume di energia; attività connesse a linee L1.1.13 e L3.4.3
- studiare i fenomeni di miscelamento di idrogeno in reti gas e di distribuzione su più rami in parallelo, e validazione dei modelli di calcolo. attività connesse a linea L2.2.7
- effettuare prove sui componenti di rete (ad es. valvole, giunzioni flangiate, tubazioni, analizzatori, contatori, turbo espansori per recupero energia, sistemi di rilevazione perdite, cabine REMI bidirezionali) e sulle modalità innovative di gestione della rete di distribuzione del gas (pressione variabile, line pack)

Risultati attesi:

M4.2.4.1 [M6]	Progettazione preliminare infrastruttura sperimentale - progettazione preliminare degli adeguamenti dell'impianto Multi Energy esistente e della nuova infrastruttura di prova componenti; definizione preliminare caratteristiche componenti
M4.2.4.2 [M12]	Progettazione esecutiva infrastruttura sperimentale - progettazione esecutiva di dettaglio; P&ID e Lay-out costruttivo e scelta definitiva componenti principali; emissione specifica Tecnica per fornitura
M4.2.4.3 [M18]	Realizzazione infrastruttura sperimentale (fornitore esterno) – completamento integrazione Multi Energy
M4.2.4.4 [M24]	Collaudo micro rete Multi Energy e Sperimentazioni ottimizzazione energetica
M4.2.4.5 [M30]	Collaudo Infrastruttura di prova componenti
M4.2.4.6 [M36]	Sperimentazione servizi alla rete di micro rete Multy Energy
M4.2.4.7 [M42]	Installazione e sperimentazione componenti in infrastruttura - prova componenti

Output

D4.2.4.1 [M12]	Report tecnico "Progettazione esecutiva infrastruttura sperimentale + Specifica tecnica per fornitore"
D4.2.4.2 [M24]	Report tecnico "Completamento realizzazione infrastruttura sperimentale"
D4.2.4.3 [M36]	Report tecnico "Sperimentazione rete locale multi energetica - benefici della gestione di un sistema integrato"
D4.2.4.4 [M42]	Report tecnico "Sperimentazione di componenti industriali e di servizi alla rete elettrica"

TRL (inizio-fine): 4-5

WP4.3 – Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie emergenti, componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno e formazione di figure professionali

Realizzatore responsabile: ENEA

TRL iniziale: 2

TRL finale: 5

Obiettivi:

La transizione verso un sistema energetico basato sull'idrogeno non consiste nella semplice sostituzione di un combustibile con altri basati sulle fonti fossili, ma, piuttosto, nel passaggio a un nuovo sistema energetico che richiede nuovi standard, metodologie e tecnologie, oltre alla disponibilità di figure professionali, opportunamente formate per gestire un sistema energetico basato su regole e tecnologie nuove rispetto a quelle su cui fondano i cosiddetti sistemi energetici convenzionali. In considerazioni di tali premesse, il WP4.3 si pone l'obiettivo di fornire strumenti e linee guida di supporto alla transizione verso un sistema energetico che integri infrastrutture basate sull'idrogeno, e di formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione e sviluppo di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Gli output del WP4.3 sono, pertanto, abbastanza vari ma rispondono in maniera sinergica alla necessità di costruire una ontologia specifica per un settore altamente innovativo che si trova attualmente ad un livello di maturità tecnologica embrionale (TRL2). In tal senso, saranno proposte metodologie e linee guida volte a favorire l'interoperabilità tra le reti energetiche e la filiera per i sistemi di produzione, trasporto e distribuzione di idrogeno. In aggiunta, in ottica di definizione di standard, saranno proposti modelli e strategie per abilitare l'integrazione delle infrastrutture per il vettore idrogeno con gli altri sistemi energetici, in particolare con le reti elettriche e le reti per il gas naturale. In parallelo, il know how acquisito nel presente obiettivo realizzativo sarà veicolato, nell'ambito delle attività realizzative del WP4.3, con lo scopo di formare figure professionali di alta qualificazione sulla tematica specifica della progettazione di tecnologie di smart management per l'integrazione del vettore idrogeno con altri vettori energetici, ponendo particolare attenzione ai punti di interscambio tra le differenti reti energetiche.

In linea con l'approccio di lavoro seguito nell'Obiettivo Realizzativo 4, l'utilizzo di tecnologie digitali (es. ambienti Digital Twin nei diversi ambiti applicativi) risulterà fondamentale sia per la messa a punto dei diversi prodotti della ricerca output del presente WP (modelli, linee guida, etc.) sia una più efficace erogazione della formazione che si avvalga di strumenti di più agevole comprensione per figure professionali che si avvicinano ad una tematica innovativa.

WP4.3 – LA4.3.1

Linee guida per il test e la validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Angelo Merola

Mese inizio: 13 Mese fine: 42

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 73.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 78.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 75.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 226.000,00

Descrizione attività:

Le attività condotte nella LA 4.1.1, nella LA4.1.2 e nella LA4.2.1 sviluppano modelli che abilitano l'integrazione e la gestione avanzata di apparati basati su idrogeno, controllori e sistemi di interfaccia in microreti e infrastrutture più complesse. Test di validazione funzionale relativi all'integrazione dei suddetti sistemi nei diversi ambiti applicativi di interesse vengono condotti in laboratorio, avvalendosi di strumentazione fisicamente presente ed anche di tecnologie HIL.

A valle delle attività descritte, risulta cruciale la capacità di definire setup che possano contribuire alla standardizzazione di processi di misura e validazione di apparati basati su idrogeno. A tal fine, nell'ambito della LA4.3.1, saranno definite e descritte le catene e le procedure di misura necessarie per la caratterizzazione degli apparati H₂ based nelle infrastrutture di interesse. L'obiettivo è quello di fornire linee guida per la conduzione di processi di validazione finalizzati alla caratterizzazione sperimentale degli apparati utilizzati negli specifici ambiti applicativi. Analisi parametriche e comparative potranno essere condotte al fine di ampliare gli scenari energetici e di valutare le prestazioni dei sistemi basati su idrogeno in contesti diversi.

Il documento redatto come output della LA4.3.1 fornirà i setup e le catene di misura della caratterizzazione sperimentale degli apparati basati su idrogeno; descriverà le procedure di validazione funzionale dei convertitori di interfaccia progettati e realizzati nella LA4.1.1; illustrerà le modalità di test adottato per la verifica sperimentale delle strategie di controllo implementate sia nella LA4.1.1, sia nella LA4.1.2. Le linee guida forniranno raccomandazioni sui processi di misura e validazione di apparati basati su idrogeno in relazione alle problematiche di interoperabilità e integrazione nelle reti energetiche.

Risultati attesi:

I risultati attesi dalle attività della LA4.3.1 sono: 1) definizione dei setup e procedure di misura per la caratterizzazione sperimentale di apparati basati su idrogeno e del relativo controllore 2) definizione dei processi di test adottati per la verifica funzionale dei convertitori di interfaccia e del sistema di controllo; 3) identificazione di Key Performance Indicator (KPI); 4) redazione delle linee guida per i test e la validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno.

Nell'ambito di tali risultati si possono individuare le seguenti milestone:

M4.3.1.1 [M20]	Definizione delle procedure di misura di apparati basati su idrogeno e del relativo controllore
M4.3.1.2 [M30]	Definizione di procedure di test dei convertitori di interfaccia e del sistema di controllo
M4.3.1.3 [M36]	Identificazione di Key Performance Indicator
M4.3.1.4 [M42]	Redazione delle linee guida

Output:

D4.3.1.1 [M18]	Rapporto tecnico "Procedure di misura di apparati basati su idrogeno"
D4.3.1.2 [M36]	Rapporto tecnico "Definizione procedure di test dei convertitori di interfaccia e del sistema di controllo"
D4.3.1.3 [M42]	Rapporto tecnico "Linee guida per il test e la validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno"

TRL (inizio-fine): 2-3

WP4.3 – LA 4.3.2***Modelli predittivi e sistemi di analisi dati per la filiera dell'Idrogeno***

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Girolamo Di Francia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 59.565,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 87.833,97

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 62.598,97

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 30.266,16

Costo totale LA (escluse spese generali): € 240.264,10

Descrizione attività:

La catena di produzione, trasporto, immagazzinamento e utilizzo dell'idrogeno (verde) è caratterizzata da numerose componenti ad accoppiamento stretto, che configurano un complesso ecosistema di sistemi e transazioni informative. Garantire il funzionamento ottimale di simili ecosistemi complessi necessita di un monitoraggio costante e l'implementazione di catene di retroazione multilivello, in modo da permettere la rilevazione e/o prevedere eventuali anomalie e comportamenti sub-ottimali, guasti nel funzionamento, perdite lungo la rete di distribuzione. Diverse tipologie di scenari possono manifestarsi, a seconda del sottosistema o del segmento dell'ecosistema considerato, con la conseguente diversificazione delle anomalie e delle loro cause. Sistemi IoT possono garantire il monitoraggio e l'attuazione di interventi di micro-management locale, ai fini dell'ottimizzazione, così come prevedere malfunzionamenti più gravi, permettendo tra le altre azioni possibili, di attuare politiche di manutenzione preventiva e/o inviare alert per eventuali guasti/anomalie.

Le metodologie di Machine Learning (ML) per la manutenzione preventiva, l'anomaly and fault detection sono sempre più utilizzati in svariate aree applicative e negli ultimi anni, anche in relazione alla filiera dell'idrogeno. Alcuni autori si sono occupati della previsione del potenziale di produzione di idrogeno dall'elettrolisi dell'acqua usando l'energia ottenuta dai pannelli solari fotovoltaici, utilizzando tre diverse metodologie di ML. Altri autori utilizzano modelli di previsione della domanda e offerta della energia elettrica considerando LSTM, GRU e DNN ed un modello per il sistema energetico, il quale utilizza la previsione di eccedenze e carenze permettendo di avere un bilanciamento intelligente dell'idrogeno. In alcuni lavori sono sviluppati sensori virtuali di idrogeno per rilevare la mancanza di carburante nelle celle a combustibile a ossido solido, utilizzando diversi algoritmi di apprendimento automatico. La localizzazione di fughe di gas attraverso sistemi multisensoriali autonomi o reti di sensori è un'area di ricerca molto attiva sebbene ancora immatura nei risultati, ma dal significativo potenziale di impatto sulla sicurezza dell'ecosistema tecnologico in analisi. In questa attività di ricerca si intende:

- studiare modelli predittivi e sistemi di analisi dati per la rilevazione e classificazione di anomalie puntuali e diffuse nella filiera dell'idrogeno. In particolare, si definiranno scenari applicativi selezionando alcune sottostazioni rilevanti della rete e per ognuna di queste, sulla base di dataset inizialmente simulati, si definiranno e implementeranno algoritmi e modelli di ML per l'analisi predittiva, il rilevamento e la classificazione di anomalie;
- definire metodologie e algoritmi di ricerca perdite sulla base di scenari di monitoraggio pervasivo o mobile.

Sulla base di dataset inizialmente generati attraverso modelli di simulazione e dataset anche vicariali, pubblicamente disponibili e, successivamente su dataset FAIR costruiti con misure effettuate su dimostratori, si implementeranno algoritmi e modelli di ML, implementabili in edge/fog computing, atti a risolvere le seguenti problematiche:

1. identificare, e/o predire malfunzionamenti, perdite o mutamenti sostanziali nel regime di funzionamento di singole componenti o gruppi di componenti rilevanti, mediante tecniche

puramente statistiche e/o di confronto con predizioni modellistiche (Digital Twin) o basate su serie temporali (RNN, FC-RCN, GRU);

2. identificare ed implementare algoritmi di reinforcement learning/bayesian learning (e.g. DRL) per la navigazione/ricerca perdite sulla base di dati sensoriali da reti fisse o sistemi mobili;
3. predire anche attraverso sensoristica ancillare, l'evoluzione di immissioni e prelievi nelle interfacce distribuite della rete (e.g. stazioni di elettrolisi da PV, eolico, HFC) con RNN, FC-RCN, GRU, etc.;
4. sviluppare sensoristica virtuale per ottimizzare la produzione di energia elettrica da HFC, evitando malfunzionamenti e deterioramenti prestazionali (e.g. da "fuel starvation") con architetture tipo SNN, SVM, RF, etc.

Le caratteristiche di interpretabilità delle rilevazioni secondo i paradigmi EAI costituiranno un parametro di preferenza nella selezione dei modelli da implementare.

Risultati attesi:

I risultati attesi dalla presente LA sono:

- 1) Studio delle metodologie di identificazione e classificazione delle anomalie utilizzate nei contesti delle filiere produttive e specificatamente lungo la rete di produzione dell'idrogeno. Definizione degli scenari applicativi mediante la selezione di alcune sottostazioni rilevanti della filiera green hydrogen. Sviluppo di modelli ML per la identificazione e classificazione delle anomalie per gli scenari applicativi individuati. Sviluppo di modelli predittivi, sia di tipo puramente statistico sia basati su serie temporali per la manutenzione preventiva delle sottostazioni selezionate.
- 2) Implementazione delle metodologie di identificazione e classificazione delle anomalie e dei modelli predittivi sviluppati, in ambiente MATLAB e/o Python. Selezione di eventuali dataset vicariali pubblicamente disponibili rappresentativi di una o più sottostazioni della rete idrogeno. Generazione di dataset ad hoc mediante modelli di simulazione. Test delle metodologie implementate sui dataset selezionati e risultati ottenuti.
- 3) Sviluppo e implementazione di algoritmi Deep Reinforcement Learning per la rilevazione/localizzazione delle perdite di gas. Sulla base di ambienti simulati e/o controllati, si riprodurranno scenari di perdite di gas e si svilupperanno componenti di Intelligenza Artificiale in grado di localizzare, con un range di incertezza accettabile, il punto di fuga.

Nell'ambito di tali risultati si possono individuare le seguenti milestone:

- | | |
|----------------|--|
| M4.3.2.1[M12] | Sviluppo di modelli predittivi, sia di tipo puramente statistico sia basati su serie temporali per la manutenzione preventiva delle sottostazioni rilevanti della filiera green hydrogen selezionate |
| M4.3.2.2 [M24] | Implementazione delle metodologie di identificazione e classificazione delle anomalie e dei modelli predittivi sviluppati, in ambiente MATLAB e/oPython |
| M4.3.2.3 [M36] | Sviluppo e implementazione di algoritmi Deep Reinforcement Learning per la rilevazione/localizzazione delle perdite di gas |

Output:

- | | |
|----------------|--|
| D4.3.2.1 [M12] | Rapporto tecnico "Studio e sviluppo di metodologie di anomaly detection & classification per la filiera green hydrogen: problematiche e modelli" |
| D4.3.2.2 [M24] | Rapporto tecnico "Implementazione e test delle metodologie di anomaly detection & classification per la filiera green hydrogen: risultati" |

D4.3.2.3 [M42] Rapporto Tecnico “Sviluppo di algoritmi Deep Reinforcement Learning per la rilevazione/localizzazione di perdite di idrogeno, risultati in ambienti simulati e/o controllati”

TRL (inizio-fine): 2-5

WP4.3 - LA 4.3.3

Metodologie e strumenti GIS per la identificazione di siti ottimali e la valutazione del potenziale di idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Girolamo Di Francia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 112.195,35

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 55.842,68

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 54.392,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 30.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 252.430,03

Descrizione attività

L'idrogeno verde offre la configurazione impiantistica più realistica nel prossimo futuro per contribuire significativamente ai fabbisogni energetici di diversi settori. Purtroppo l'articolazione della rete di trasporto e distribuzione e la localizzazione dei suoi nodi funzionali rilevanti necessita di un'attenta pianificazione la cui ottimizzazione dipende da fattori tecnici, geofisici, socioeconomici, ambientali tali da necessitare di analisi di *location intelligence* basate su metodi geospaziali e algoritmi di (geo)intelligenza artificiale.

Le tecnologie e i metodi di site suitability e location intelligence sono stati introdotti con successo in numerosi campi applicativi inclusi quelli energetici. La selezione del sito idoneo e la valutazione del potenziale tecnico di un sistema di energia rinnovabile (e.g. eolico, fotovoltaico o ibrido) sono fasi strategiche per garantire un sistema efficiente, sostenibile e ben funzionante. Tuttavia, si tratta di problemi multidimensionali complessi che coinvolgono molteplici criteri di valutazione che rappresentano i diversi fattori (ambientali, fisici, tecnici socioeconomici) che possono influenzare il rendimento di un sistema di energia rinnovabile. In letteratura è proposto un framework strutturato di decision-making basato sul GIS e metodi di valutazione multicriterio per definire i siti ottimali di un sistema di energia rinnovabili ibrido (eolico/fotovoltaico) a scala regionale. In alcuni lavori, viene sviluppato un metodo di analisi spaziale per la valutazione del potenziale tecnico fotovoltaico dell'edificato urbano e commerciale-industriale che tiene in considerazione tra altri parametri anche l'impatto delle polveri sottili sulla resa degli impianti e viene stimato il potenziale di una rete di trasporto e distribuzione di idrogeno in corrispondenza di specifici scenari di produzione e domanda attraverso un approccio di analisi spaziale. L'implementazione e l'utilizzo di queste tecnologie e metodi nel contesto dell'idrogeno verde è alquanto limitata e necessita di ricerca. In tali premesse, nell'ambito della presente LA si propone lo sviluppo di metodologie e sistemi GIS per l'identificazione di siti tecnicamente idonei e ottimali per l'installazione di facility di produzione dell'idrogeno verde e dei punti di prelievo/distribuzione, valutando quali-quantitativamente il potenziale tecnico dell'uso dell'idrogeno principalmente in relazione alle reti di trasporto e distribuzione (esistenti o da realizzare) dell'idrogeno. Allo scopo saranno identificati casi studio in termini di architetture di rete di trasporto e distribuzione e relativi nodi funzionali rilevanti in relazione allo scenario energetico italiano e saranno messi a punto e sviluppati modelli digitali del

sistema di reti di idrogeno (includendo le diverse componenti di produzione, storage, trasporto e distribuzione) e individuati insiemi di criteri (i.e. disponibilità della risorsa idrica, presenza di centrali elettriche, vicinanza della rete stradale, la domanda, etc.) che rendono un sito tecnicamente idoneo e ottimale per l'installazione di specifiche componenti (di produzione, di stoccaggio, di distribuzione). In particolare, saranno presi in considerazione tutti gli aspetti, da quelli fisici, solari, eolici, ambientali, climatici a quelli più specificatamente tecnici, socioeconomici e regolatori, che possono concorrere a rendere uno specifico sito idoneo. I criteri selezionati, trasformati in livelli informativi geografici, saranno elaborati attraverso metodi di MCDM (Multi Criteria Decision Making) (e.g. AHP, FAHP) per la generazione di mappe di site suitability, visualizzabili e interrogabili anche attraverso map viewer online. Sarà valutato quantitativamente il potenziale tecnico dell'idrogeno in relazione alle reti di trasporto e distribuzione e ai nodi di produzione e utilizzo dislocati in siti ottimali attraverso metodi avanzati di analisi spaziale e algoritmi di (geo)AI. Si intende attivare una collaborazione con l'Università di Napoli, Dipartimento di Ingegneria edile, Civile ed ambientale, per una attività rivolta allo sviluppo di metodi avanzati di analisi spaziale e algoritmi di (geo)AI per la valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in relazione alle reti di trasporto, considerata la comprovata e consolidata esperienza sulla tematica specifica.

Risultati attesi:

I risultati attesi sono di seguito riportati suddivisi per milestone:

- | | |
|----------------|---|
| M4.3.3.1 [M12] | Sviluppo di metodi e modelli GIS based per la modellazione delle reti di idrogeno e l'identificazione di siti ottimali per la localizzazione di componenti funzionali rilevanti per la produzione, il trasporto, la distribuzione e l'utilizzo dell'idrogeno verde. |
| M4.3.3.2 [M24] | Sviluppo di un sistema GIS per la elaborazione, visualizzazione e analisi di mappe di siti ottimali per la localizzazione delle componenti funzionali alla produzione, distribuzione e utilizzo dell'idrogeno verde. |
| M4.3.3.3 [M36] | Generazione di mappe di site suitability e di potenziale tecnico dell'uso di idrogeno verde per diversi scenari di produzione e utilizzo a diverse scale spaziali (da quella locale a quella regionale e nazionale) a supporto dei processi di pianificazione energetica ai diversi livelli di governo. |

Output:

- | | |
|----------------|---|
| D4.3.3.1 [M12] | Rapporto Tecnico "Scenari di produzione, trasporto e domanda di idrogeno e dei criteri di site suitability delle infrastrutture di rete e dei nodi rilevanti". |
| D4.3.3.2 [M24] | Rapporto Tecnico "Metodologie e strumenti GIS per la generazione di mappe di site suitability dei nodi rilevanti rispetto alle reti di trasporto e distribuzione e valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in differenti settori di utilizzo". |
| D4.3.3.3 [M42] | Sistema GIS online per la visualizzazione e analisi di mappe di site suitability e di potenziale tecnico dell'idrogeno a diverse scale (locale, regionale, nazionale) e per diversi settori di utilizzo dell'idrogeno. |

TRL (inizio-fine): 2-5

WP4.3 – LA4.3.4

Digital Twin: Modellistica della rete di trasporto e di distribuzione dell'idrogeno

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Girolamo Di Francia

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 101.715,02

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 56.323,02

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 62.867,83

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 30.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 250.905,87

Descrizione attività:

Potenzialmente, le reti gas esistenti possono trasportare miscele di idrogeno e gas naturale o idrogeno puro in luogo di gas naturale. Tuttavia, l'impatto che il trasporto dell'idrogeno ha su una rete esistente, composta anche da impianti di compressione, di riduzione della pressione, di misurazione, di odorizzazione, etc. non è ancora completamente noto. In particolare, l'esercizio in sicurezza di una infrastruttura di rete che trasporta idrogeno richiede non solo l'attenta e puntuale applicazione di regole di progettazione e costruzione (molte ancora in fase di definizione), ma anche un continuo processo di monitoraggio e manutenzione preventiva di tutta l'infrastruttura; occorrono ricerche finalizzate a comprendere se e come debbano essere modificate le procedure di controllo e gestione per mantenere inalterati gli elevati standard di sicurezza ed efficienza delle reti attuali, trasportando esse idrogeno, sia in miscela col gas naturale o puro. Avere una rappresentazione digitale (digital twin) accurata e aggiornata della rete fisica è essenziale per effettuare valutazioni di fattibilità, di impatto, di integrità, di sicurezza e di efficienza della rete con l'introduzione dell'idrogeno

La tecnologia del Digital Twin (DT) nasce con lo scopo di utilizzare in maniera intelligente i dati disponibili relativamente ad un oggetto (e.g. HFC) o un intero sistema fisico (e.g. un'infrastruttura critica, etc.) nella fase di realizzazione e/o di gestione, trovando applicazione in numerosi settori tra cui quello energetico. Utilizzando sistemi IoT, software di simulazione e analisi dati e più recentemente tecnologie di CyberGIS, un DT crea un gemello digitale del sistema fisico considerato caratterizzandolo nelle sue componenti strutturali, nel suo funzionamento dinamico, nella sua evoluzione spazio-temporale, nelle sue interazioni con altre entità fisiche e non.

Nel settore dell'idrogeno verde, la tecnologia del DT è stata utilizzata principalmente per lo sviluppo di strategie di gestione ottimale e simulazione di tecnologie facenti parte della catena di approvvigionamento dell'idrogeno. Per esempio, è stata proposta una gestione termica ottimale tramite DT dei sistemi di elettrolisi PEMWE (Proton Exchange Membrane Water Electrolysis), nonché un DT per il funzionamento ottimale dei sistemi di storage di idrogeno. La connessione in tempo reale del DT alle navi a idrogeno permetteva il monitoraggio loro condizioni, consentendo all'operatore di ricevere informazioni tempestive per ridurre il rischio. Inoltre, è stato studiato un DT dinamico come simulatore di un impianto di celle a combustibile (SOFC) che consente agli operatori di determinare in modo sicuro e stabile le condizioni di funzionamento di un impianto SOFC commerciale. Nella catena di approvvigionamento dell'idrogeno verde, un approccio basato su DT non è stato ancora sviluppato per la progettazione, la valutazione e gestione di interi impianti e/o delle infrastrutture trasporto e distribuzione, sebbene si riconosca che un digital twin possa essere di fondamentale utilità per effettuare valutazioni di fattibilità, di impatto, di sicurezza e di efficienza nella produzione, nel trasporto e utilizzo dell'idrogeno verde.

L'obiettivo della ricerca è investigare e sviluppare una *smart hydrogen network* basata su un *digital twin* della rete di trasporto e di distribuzione dell'idrogeno che comprende equivalenti digitali di una rete di sensori distribuita per il monitoraggio in continuo dei parametri caratteristici, modelli di simulazione del funzionamento della rete e di qualità dei gas trasportati ottimizzati, una console GIS per la visualizzazione e l'analisi degli scenari in tempo reale e predittivi del funzionamento della rete

a supporto di una gestione ottimizzata che garantisce affidabilità, integrità ed efficienza dell'infrastruttura di trasporto di idrogeno. Una limitazione all'utilizzo della modellistica di simulazione può essere rappresentata dall'incerta affidabilità delle stime elaborate. Obiettivo di ricerca sarà massimizzare l'accuratezza della modellistica di simulazione/predizione e definire schemi ottimali di posizionamento delle reti di sensori lungo le infrastrutture di trasporto e distribuzione dell'idrogeno per un monitoraggio e un controllo efficace dei parametri caratteristici. Si intende attivare una collaborazione con l'Università di Napoli, Dipartimento di Ingegneria edile, Civile ed ambientale, per una attività rivolta allo sviluppo di componenti e codici di base per modelli di rete di trasporto e distribuzione dell'idrogeno, considerata la comprovata e consolidata esperienza sulla tematica specifica.

Risultati attesi:

Nell'ambito della LA sarà sviluppato un metodo/sistema basato su un segmento fisico costituito da reti di sensori installate lungo le reti di trasporto e distribuzione dell'idrogeno per il monitoraggio continuo dei parametri quali/quantitativi. Su questo segmento sarà sviluppata una piattaforma multi-modello per la simulazione del funzionamento delle reti di trasporto e distribuzione di idrogeno (puro o miscele di idrogeno e gas naturali) e di qualità dei gas. Saranno analizzati e selezionati dalla letteratura modelli idraulici e di qualità dei gas, in corrispondenza di scenari di reti di trasporto e distribuzione dell'idrogeno, opportunamente definiti. Saranno sviluppati algoritmi di intelligenza computazionale e di assimilazione del dato misurato dai sensori per l'ottimizzazione della modellistica di simulazione e la definizione di schemi di posizionamento ottimale della sensoristica. In particolare, per ciascun scenario selezionato sarà creato un modello digitale della rete nelle sue componenti fisiche e non (e.g. punti di immissione (green hydrogen), storage, tubi, nodi, valvole, punti di prelievo - HFC, stazioni di conversione e storage) e di interazione con le altre infrastrutture (e.g. fonti rinnovabili, smart grid, risorse idriche) ed elaborati, attraverso la modellistica di simulazione, un insieme di possibili scenari what if per l'individuazione e la localizzazione di anomalie nel funzionamento della rete (e.g. rilevamento e localizzazione delle perdite, gestione della pressione e portata), per il controllo della qualità dei gas, l'integrità della rete e l'ottimizzazione delle performance. Gli scenari spazio-temporali generati saranno visualizzabili e interrogabili attraverso tecnologie SWE/GIS.

In sintesi, i risultati attesi per milestone sono:

- M4.3.4.1 [M12] Creazione di un modello digitale i.e. digital twin di una rete di trasporto di idrogeno (puro o miscele di idrogeno e gas naturale) capace di simulare il funzionamento della rete in tempo reale e predittivo basato su un monitoraggio continuo e distribuito dei parametri caratteristici (i.e. dati live acquisiti da reti di sensori opportunamente dislocate lungo l'infrastruttura fisica) e una modellistica numerica/AI ottimizzata. Il modello verrà sviluppato in due fasi denominate a e b incrementando in maniera progressiva il numero delle componenti modellate fino a raggiungimento del set completo di componenti rilevanti
- M4.3.4.2 [M24] Sviluppo di una metodologia di deployment ottimale della sensoristica rilevante
- M4.3.4.3 [M36] Sviluppo di un sistema per il controllo continuo e distribuito del funzionamento di una rete di trasporto che consente di effettuare valutazioni di fattibilità, di impatto, nonché di integrità, di sicurezza e di efficienza della rete con l'introduzione dell'idrogeno

Output:

D4.3.4.1 [M12]	Rapporto Tecnico “Studio e sviluppo di modelli digitali delle reti di trasporto e distribuzione dell’idrogeno e degli scenari spazio-temporali di simulazione del funzionamento e della qualità dei gas – parte a”
D4.3.4.2 [M24]	Rapporto Tecnico “Studio e sviluppo di modelli digitali delle reti di trasporto e distribuzione dell’idrogeno e degli scenari spazio-temporali di simulazione del funzionamento e della qualità dei gas – parte b”
D4.3.4.3 [M24]	Rapporto Tecnico “Studio e Sviluppo di algoritmi di dislocazione ottimale delle reti di sensori lungo la rete di trasporto e di assimilazione dei dati live”
D4.3.4.4 [M42]	“Sviluppo e realizzazione del digital twin di reti di trasporto e distribuzione dell’idrogeno”

TRL (inizio-fine): 2-5

WP4.3 - LA 4.3.5

Protocolli di test armonizzati per la validazione di nuove soluzioni nel settore delle infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Marcello Pucci

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 5.124,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 10.270,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 14.394,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 10.212,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 40.000,00

Descrizione attività:

Le principali infrastrutture ad idrogeno possono essere sintetizzate in sistemi di produzione, di stoccaggio, di rifornimento e di trasporto.

In questo contesto si rende necessario studiare le procedure di test al fine di ottenere degli indicatori prestazionali che siano chiaramente identificabili dagli operatori del settore.

Durante la presente attività saranno studiati singolarmente i quattro campi di riferimento sopra riportati al fine di ottenere per ognuno di essi standard procedurali per il testing e indicatori sintetici che possano essere rappresentativi delle prestazioni tecnico-economiche. Queste ultime saranno definite durante l’attività. A titolo d’esempio si potrà prendere a riferimento il livello di sicurezza di un’infrastruttura o il livello d’interoperabilità, o la sicurezza di approvvigionamento, ecc., o anche degli indicatori in grado di aggregare più parametri in un unico, di tipo qualitativo.

Risultati attesi:

M4.3.5.1 [M12]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per elettrolizzatori della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete
M4.3.5.2 [M24]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per stazioni di rifornimento idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete
M4.3.5.3 [M36]	Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per lo stoccaggio idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

M4.3.5.4 [M42] Definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per il trasporto idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

Output:

D4.3.5.1 [M12] Report Tecnico su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per elettrolizzatori della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

D4.3.5.2 [M24] Report Tecnico su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per stazioni di rifornimento idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

D4.3.5.3 [M36] Report Tecnico su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per lo stoccaggio idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

D4.3.5.4 [M42] Report Tecnico su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per il trasporto idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

TRL (inizio-fine): 2-4

WP4.3 – LA 4.3.6

Modelli dati e applicazioni ICT per infrastrutture a idrogeno ed integrazione con altri vettori energetici

Co-realizzatore responsabile: RSE

Responsabile LA: Enea Bionda

Mese inizio: 7 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 190.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 200.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 174.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 654.000,00

Descrizione attività:

La linea di attività prende in considerazione i processi di gestione delle infrastrutture energetiche per il vettore idrogeno e lavora alla definizione dei modelli dati necessari per gli scambi informativi fra i diversi attori e sistemi coinvolti. L'obiettivo è quello di definire un'ontologia per il settore idrogeno in grado di favorire l'interoperabilità all'interno della filiera per i sistemi di produzione, trasporto e distribuzione di idrogeno. In aggiunta, la definizione di modelli dati di tipo semantico abilita l'integrazione delle infrastrutture per il vettore idrogeno con gli altri sistemi energetici, in particolare con le reti elettriche e le reti per il gas naturale.

Inizialmente saranno individuati i sistemi per l'idrogeno e i principali casi d'uso da prendere in considerazione per la costruzione dell'ontologia specifica per questo settore energetico. Nella descrizione dei casi d'uso saranno evidenziati i diversi attori coinvolti in ogni processo e definiti gli scambi informativi associati. Sulla base di questa analisi sarà progettato e sviluppato un modello dati di tipo semantico (ontologia) in grado di rappresentare i dati associati ai componenti dei sistemi ed in particolare quelli utilizzati per il controllo e la gestione delle infrastrutture. Tale modello informativo rappresenterà i componenti utili alla produzione, trasporto e distribuzione di idrogeno.

Il lavoro terrà in considerazione, fin dal principio, della possibile integrazione con altri vettori energetici, ponendo particolare attenzione ai punti di interscambio tra le differenti reti energetiche. A questo scopo saranno identificati casi d'uso che considerano le possibili interazioni fra infrastrutture del vettore idrogeno con altre infrastrutture energetiche e saranno sviluppati metodi di integrazione fra i rispettivi modelli dati.

Per validare l'ontologia e gli scambi informativi identificati, verrà progettato e sviluppato un Digital Twin (DT) informativo di una parte di infrastrutture/impianti per il vettore idrogeno scelti in base alla disponibilità fisica degli stessi. Il DT sarà rappresentato da un knowledge graph basato sulle ontologie sviluppate durante la linea di attività e avrà come scopo principale quello di evidenziare eventuali anomalie nello sviluppo dell'ontologia.

A valle dell'analisi degli scambi informativi necessari all'integrazione dei sistemi energetici e alla loro validazione attraverso l'utilizzo del DT realizzato, si procederà alla rivisitazione e al completamento dell'ontologia per il settore idrogeno sviluppata nella fase iniziale.

Risultati attesi:

M4.3.6.1 [M12]	Identificazione e descrizione di casi d'uso di riferimento per il settore idrogeno
M4.3.6.2 [M24]	Progettazione e sviluppo di una ontologia per il settore idrogeno
M4.3.6.3 [M36]	Identificazione di casi d'uso di integrazione del vettore idrogeno con altri vettori energetici e metodi di integrazione fra le rispettive ontologie
M4.3.6.4 [M42]	Ontologia per il settore idrogeno (versione finale) e Digital Twin informativo dimostrativo

Output:

D4.3.6.1 [M12]	Report tecnico: Casi d'uso di riferimento per il settore idrogeno
D4.3.6.2 [M24]	Report tecnico: Ontologia per il settore idrogeno (prima versione)
D4.3.6.3 [M24]	Modello dati semantico per il settore idrogeno (prima versione)
D4.3.6.4 [M36]	Report tecnico: Casi d'uso e scambi informativi per l'integrazione del vettore idrogeno con altri vettori energetici
D4.3.6.5 [M42]	Report tecnico: Ontologia per il settore idrogeno (versione finale) e Digital Twin informativo dimostrativo
D4.3.6.6 [M42]	Modello dati semantico per il settore idrogeno (versione finale)
D4.3.6.7 [M42]	Digital Twin informativo: knowledge graph di validazione per il settore idrogeno

TRL (inizio-fine): 2-4

WP4.3 – LA4.3.7

Sviluppo di programmi per la formazione di figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione e sviluppo di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti

Realizzatore responsabile: ENEA

Responsabile LA: Martina Caliano

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 30.000,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 90.000,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 30.000,00

Costo totale LA (escluse spese generali): € 240.000,00

Descrizione attività:

L'obiettivo principale dell'attività 4.3.7 consiste nell'organizzazione di programmi per la formazione di figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione e sviluppo di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Lo sviluppo dei corsi sarà programmato in funzione di diversi Obiettivi Formativi (OF), con livelli di approfondimento differenziati per tipologia di formando (es. studente di Istituto di Istruzione Superiore, diplomato, laureato, studente universitario, ecc.). Gli OF saranno prescelti in funzione delle diverse linee tematiche del Work Package. Tutti i programmi saranno caratterizzati da una fase iniziale comune, volta a fornire al formando una preparazione di base sulle tematiche generali (es. reti energetiche, tecnologie e infrastrutture basate sull'idrogeno, integrazione del vettore idrogeno nelle reti e problemi di interoperabilità, ecc.), cui seguirà una fase didattica specialistica connessa all'OF. Possibili temi trattati specialistici connessi all'OF sono di seguito elencati:

- 1) OF1: tecnologie e infrastrutture basate sull'idrogeno
L'obiettivo formativo sarà orientato a formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione delle tecnologie del ciclo produzione-accumulo-utilizzo dell'idrogeno.
- 2) OF2: smart management di infrastrutture basate sull'idrogeno
L'obiettivo formativo sarà orientato a formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della programmazione degli algoritmi per il controllo e la gestione avanzata delle reti energetiche basate sull'idrogeno.
- 3) OF3: l'idrogeno negli scenari energetici futuri
L'obiettivo formativo sarà orientato a formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore dell'analisi energetica di scenari basati sul vettore idrogeno ai diversi livelli della filiera.

Tutti i programmi di formazione saranno di tipo teorico-pratico e prevedranno lezioni frontali ed esercitazioni pratiche. Queste ultime potranno includere sessioni esercitative presso i laboratori ENEA, anche avvalendosi delle facility sperimentali messe a punto nell'ambito delle attività LA4.1.1, 4.1.2, 4.2.1. Al termine di ogni corso di formazione sarà erogato un test di valutazione per verificare l'efficacia dei programmi di formazione proposti.

Risultati attesi: I risultati attesi dalle attività della LA4.3.7 sono connessi all'erogazione di due o più eventi di formazione. Le relative milestone sono così distribuite.

M4.3.7.1 [M12]	Completamento della definizione dei programmi di formazione.
M4.3.7.2 [M24]	Organizzazione modalità di erogazione dei corsi e dei relativi eventi.
M4.3.7.3 [M36]	Erogazione di due o più eventi formazione

Output:

D4.3.7.1 [M18]	Rapporto tecnico "Descrizione delle attività di formazione: programmi, competenze e risultati dei corsi (M18)".
D4.3.7.2 [M30]	Rapporto tecnico "Descrizione delle attività di formazione: programmi, competenze e risultati dei corsi (M30)".
D4.3.7.3 [M42]	Rapporto tecnico "Descrizione delle attività di formazione: programmi, competenze e risultati dei corsi (M42)".

TRL (inizio-fine): n.a.

WP4.3 – LA4.3.8

Sviluppo di programmi di formazione per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore delle infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

Co-realizzatore responsabile: CNR

Responsabile LA: Francesco Sergi

Mese inizio: 1 **Mese fine:** 42

Costo LA - 1 anno (escluse spese generali): € 22.420,00

Costo LA - 2 anno (escluse spese generali): € 22.420,00

Costo LA - 3 anno (escluse spese generali): € 22.420,00

Costo LA - 4 anno (escluse spese generali): € 12.740,00

Costo LA (escluse spese generali): € 80.000,00

Descrizione attività:

L'attività di formazione prevede l'istituzione di dottorati industriali e il reclutamento di specifico personale mediante borse ed assegni di ricerca per essere formato ed al contempo poter collaborare al progetto di ricerca nel settore delle infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete. Saranno emanati dei bandi specifici che includeranno le recenti normative in termini di parità di genere e di accesso alla formazione delle figure professionali. Il fine della formazione è consentire di acquisire le competenze necessarie su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete per potersi efficacemente proporre alle aziende che operano in campo energetico e nel mercato della ricerca. L'attività di formazione è aperta a vari tipi di laureati in discipline scientifiche ed eventualmente anche economiche per attività specifiche quali life cycle analysis e cost-assessment. Per i laureati in discipline scientifiche si renderà necessaria al primo anno una prima fase didattica durante la quale saranno trattati i contenuti di base della Chimica, dell'Elettrochimica, della Fisica, dei Reattori Chimici e dei Fenomeni di Trasporto che sono essenziali alla comprensione degli argomenti previsti nella successiva fase di alta formazione che si articolerà negli anni successivi attraverso la collaborazione diretta alle attività progettuali. Ciò permetterà il raggiungimento di una certa uniformità nel "background" culturale dei formandi. Un approccio simile sarà adottato per i laureati nelle discipline economiche. I contenuti prevedono non solo i fondamenti dell'elettrochimica, dei processi catalitici, della caratterizzazione chimico-fisica, ma anche nozioni specifiche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete.

Sarà inoltre trattata con i formandi la "programmazione e gestione dei progetti di Ricerca". I seminari saranno svolti da esperti provenienti da diversi istituti del CNR coinvolti nel progetto e saranno organizzati seminari che prevederanno possibilmente anche rappresentanti del mondo universitario ed industriale.

Negli anni successivi il training dei formandi riguarderà le attività specifiche di progetto e si consentirà loro di acquisire competenze dirette sull'uso delle tecniche di caratterizzazione chimico-fisica, catalitica, elettrochimica e si darà loro la possibilità di partecipare allo sviluppo dei prototipi e dei sistemi. Un aspetto rilevante riguarda la possibilità di dare ai formandi l'opportunità di presentare le loro attività nelle conferenze più importanti del settore.

Per i dottorati industriali si stabiliranno convenzioni con università specifiche al fine di consentire ai formandi di acquisire il titolo alla fine del loro percorso di formazione.

Risultati attesi:

- M4.3.8.1 [M12] Selezione e stipula di almeno 2 contratti per assegnisti o dottorati industriali
- M4.3.8.2 [M12] Nozioni di base e specifiche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete fornite ai formandi
- M4.3.8.3 [M24] Coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete
- M4.3.8.4 [M36] Prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
- M4.3.8.5 [M42] Prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 2 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

Output:

- M4.3.8.1 [M12] Relazione sui contratti per assegnisti o dottorati industriali
- M4.3.8.2 [M12] Relazione su nozioni di base e specifiche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete fornite ai formandi
- M4.3.8.3 [M24] Relazione su coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete
- M4.3.8.4 [M36] Relazione su prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite
- M4.3.8.5 [M42] Relazione su prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 2 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

TRL (inizio-fine): n.a.

Tabella riassuntiva prodotti della ricerca ed elementi di verifica del progetto (Obiettivo 4)

Obiettivo 4 - Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno			
Responsabile ENEA			
WP (3)/LA (16)	Resp.	Titolo Deliverable	
WP4.1 - Ricerca, sviluppo e implementazione di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Test e applicazioni (n° 4 LA) TRL 2-5	ENEA		
WP4.1 – LA4.1.1 Progettazione e test di dispositivi e apparati per l'interfacciamento, la gestione e la protezione di sistemi basati su idrogeno con capacità di erogazione di servizi ancillari alle reti energetiche TRL 2-4	ENEA	D4.1.1.1 [M18] D4.1.1.2 [M36] D4.1.1.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Prototipo di convertitore di interfaccia e relativo sistema di gestione per apparati di generazione idrogeno e accumulo idrogeno connessi alle reti energetiche" Rapporto Tecnico "Prototipo di convertitore per l'interfacciamento di generatori di energia elettrica da idrogeno con le reti energetiche e relativo sistema di gestione" Rapporto Tecnico "Prototipo del sistema di protezione"
WP4.1 – LA4.1.2 Sviluppo di strategie e tecnologie per l'interoperabilità e lo smart management di apparati di generazione, accumulo e utilizzo di idrogeno TRL 2-4	ENEA	D4.1.2.1 [M18] D4.1.2.2 [M36] D4.1.2.3 [M42]	Rapporto Tecnico "Progettazione e sviluppo delle strategie di controllo delle tecnologie idrogeno" Rapporto Tecnico "Progettazione del sistema di testing sperimentale" Rapporto Tecnico "Strategie di controllo avanzate per l'integrazione di dispositivi di generazione, accumulo e utilizzo di idrogeno"
WP4.1 – LA4.1.3 Studio di metodologie basate su intelligenza artificiale ed algoritmi di energy management per migliorare l'interfacciamento con la rete di infrastrutture ad idrogeno TRL 2-4	CNR	D4.1.3.1 [M12] D4.1.3.2 [M12] D4.1.3.3 [M18] D4.1.3.4 [M24] D4.1.3.5 [M30] D4.1.3.6 [M41] D4.1.3.7 [M42]	Rapporto Tecnico "Stato dell'arte relativo alle tecnologie e alle metodologie di modellizzazione dei sistemi di produzione idrogeno da elettrolisi e relative tecniche di energy management (REP)" Rapporto Tecnico sulle caratteristiche della piattaforma, sui requisiti per l'implementazione della piattaforma e per l'interfacciamento (REP) Release iniziale del framework data-driven (DEM) Rapporto Tecnico "Definizione di modelli matematici della catena" elettrolizzatore-convertitore-storage-rinnovabili (REP) Rapporto Tecnico sui modelli di AI e sistemi di supporto decisionale implementati (REP) Rapporto Tecnico sull'architettura del digital twin (REP) Rapporto Tecnico "Metodologia numerica per soluzioni tecnico-economiche ottime relativamente alla produzione di idrogeno da elettrolisi (REP)"
WP 4.1 – LA 4.1.4	RSE	D.4.1.4.1 [M12]	Report Tecnico "Descrizione caso d'uso del sistema energetico locale"

Sviluppo e implementazione di sistemi di controllo per la gestione di sistemi energetici locali multi-vettore TRL 2-5		D.4.1.4.2 [M24] D.4.1.4.3 [M36] D.4.1.4.4 [M42]	Report Tecnico “Modello integrato del sistema energetico locale” Report tecnico “Descrizione del sistema di controllo per un sistema energetico multi-vettore” Report Tecnico “Risultati di simulazione del sistema di gestione di sistemi energetici locali multi-vettore”
WP4.2 – Sperimentazione e validazione di una infrastruttura basata sull'idrogeno in scala microgrid (n° 4 LA) TRL 2-5	ENEA		
WP4.2 – LA4.2.1 Infrastrutture basate sull'idrogeno: studio sperimentale in emulazione dell'integrazione nei diversi ambiti applicativi su scala microrete TRL 2-4	ENEA	D4.2.1.1 [M 18] D4.2.1.2 [M36] D4.2.1.3 [M42]	Rapporto tecnico “Modellazione delle configurazioni architetture” Rapporto tecnico “Algoritmi di controllo” Rapporto tecnico “Studio sperimentale in emulazione dell'integrazione delle infrastrutture basate su idrogeni nei diversi ambiti applicativi su scala microrete”
WP4.2 – LA4.2.2 Studio sperimentale su scala di laboratorio di interfacce tra tecnologie ad idrogeno e microgrids TRL 2-3	CNR	D4.2.2.1 [M12] D4.2.2.2 [M24] D4.2.2.3 [M36] D4.2.2.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Studi sistemi di controllo e di interoperabilità sector-coupling” Rapporto Tecnico “Definizione delle nuove funzioni da implementare nel controllore d'impianto produzione idrogeno” Rapporto Tecnico “Progettazione del test a banco e integrazione delle nuove funzioni e degli algoritmi di energy management” Rapporto Tecnico “PoC del controllore a scala laboratorio e validazione”
WP4.2 – LA4.2.3 Sviluppo di convertitori e algoritmi per la gestione ottimizzata di dispositivi energetici ad idrogeno per microreti TRL 2-3	CNR	D4.2.3.1 [M12] D4.2.3.2 [M24] D4.2.3.3 [M36] D4.2.3.4 [M42]	Rapporto Tecnico dal titolo “Definizione dei requisiti per il convertitore per elettrolizzatori a partire dall'analisi dello stato dell'arte e individuazione di una topologia circuitale idonea” Rapporto Tecnico dal titolo “Progettazione e simulazione di un proof of concept di convertitore elettronico di potenza ad elevate prestazioni per l'alimentazione di elettrolizzatori”; Rapporto Tecnico dal titolo “Progetto del sistema di controllo del convertitore e relativa validazione mediante approccio Hardware In the Loop (HIL) implementando il modello del convertitore su un simulatore real-time commerciale” Rapporto Tecnico dal titolo “Realizzazione di un proof of concept di convertitore elettronico di potenza ad elevate prestazioni per l'alimentazione di elettrolizzatori e prove sperimentali”.
WP 4.2 – LA 4.2.4 Validazione e dimostrazione in una rete locale sperimentale di un sistema energetico integrato multi-vettore TRL 4-5	RSE	D4.2.4.1 [M12] D4.2.4.2 [M24] D4.2.4.3 [M36] D4.2.4.4 [M42]	Report tecnico “Progettazione esecutiva infrastruttura sperimentale + Specifica tecnica per fornitore” Report tecnico “Completamento realizzazione infrastruttura sperimentale” Report tecnico “Sperimentazione rete locale multi energetica - benefici della gestione di un sistema integrato” Report tecnico “Sperimentazione di componenti industriali e di servizi alla rete elettrica”
WP4.3 – Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie emergenti, componenti e sistemi di	ENEA		

gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno e formazione di figure professionali (n° 8 LA) TRL 2-5			
WP4.3 – LA4.3.1 Linee guida per il test e la validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno TRL 2-3	ENEA	D4.3.1.1 [M18] D4.3.1.2 [M36] D4.3.1.3 [M42]	Rapporto tecnico “Procedure di misura di apparati basati su idrogeno” Rapporto tecnico “Definizione procedure di test dei convertitori di interfaccia e del sistema di controllo” Rapporto tecnico “Linee guida per il test e la validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno”
WP4.3 – LA 4.3.2 Modelli predittivi e sistemi di analisi dati per la filiera dell'idrogeno TRL 2-5	ENEA	D4.3.2.1 [M12] D4.3.2.2 [M24] D4.3.2.3 [M42]	Rapporto tecnico “Studio e sviluppo di metodologie di anomaly detection & classification per la filiera green hydrogen: problematiche e modelli” Rapporto tecnico “Implementazione e test delle metodologie di anomaly detection & classification per la filiera green hydrogen: risultati” Rapporto tecnico “Sviluppo di algoritmi Deep Reinforcement Learning per la rilevazione/localizzazione di perdite di idrogeno, risultati in ambienti simulati e/o controllati”
WP4.3 - LA 4.3.3 Metodologie e strumenti GIS per la identificazione di siti ottimali e la valutazione del potenziale di idrogeno TRL 2-5	ENEA	D4.3.3.1 [M12] D4.3.3.2 [M24] D4.3.3.3 [M42]	Rapporto Tecnico “Scenari di produzione, trasporto e domanda di idrogeno e dei criteri di site suitability delle infrastrutture di rete e dei nodi rilevanti”. Rapporto Tecnico “Metodologie e strumenti GIS per la generazione di mappe di site suitability dei nodi rilevanti rispetto alle reti di trasporto e distribuzione e valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in differenti settori di utilizzo”. Sistema GIS online per la visualizzazione e analisi di mappe di site suitability e di potenziale tecnico dell'idrogeno a diverse scale (locale, regionale, nazionale) e per diversi settori di utilizzo dell'idrogeno.
WP4.3 – LA4.3.4 Digital Twin: Modellistica della rete di trasporto e di distribuzione dell'idrogeno TRL 2-5	ENEA	D4.3.4.1 [M12] D4.3.4.2 [M24] D4.3.4.3 [M24] D4.3.4.4 [M42]	Rapporto Tecnico “Studio e sviluppo di modelli digitali delle reti di trasporto e distribuzione dell'idrogeno e degli scenari spazio-temporali di simulazione del funzionamento e della qualità dei gas – parte a” Rapporto Tecnico “Studio e sviluppo di modelli digitali delle reti di trasporto e distribuzione dell'idrogeno e degli scenari spazio-temporali di simulazione del funzionamento e della qualità dei gas – parte b” Rapporto Tecnico “Studio e Sviluppo di algoritmi di dislocazione ottimale delle reti di sensori lungo la rete di trasporto e di assimilazione dei dati live” “Sviluppo e realizzazione del digital twin di reti di trasporto e distribuzione dell'idrogeno”
WP4.3 - LA 4.3.5 Protocolli di test armonizzati per la validazione di nuove soluzioni nel settore delle infrastrutture ad	CNR	D4.3.5.1 [M12]	Report su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per elettrolizzatori della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete TRL 2-4		D4.3.5.2 [M24] D4.3.5.3 [M36] D4.3.5.4 [M42]	Report su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per stazioni di rifornimento idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete Report su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per lo stoccaggio idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete Report su definizione dei protocolli di test e degli indicatori sintetici prestazionali per il trasporto idrogeno della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete
WP4.3 – LA 4.3.6 Modelli dati e applicazioni ICT per infrastrutture a idrogeno ed integrazione con altri vettori energetici TRL 2-4	RSE	D.4.3.6.1 [M12] D.4.3.6.2 [M24] D.4.3.6.3 [M24] D.4.3.6.4 [M36] D.4.3.6.5 [M42] D.4.3.6.6 [M42] D.4.3.6.7 [M42]	Report tecnico: Casi d'uso di riferimento per il settore idrogeno Report tecnico: Ontologia per il settore idrogeno (prima versione) Modello dati semantico per il settore idrogeno (prima versione) Report tecnico: Casi d'uso e scambi informativi per l'integrazione del vettore idrogeno con altri vettori energetici Report tecnico: Ontologia per il settore idrogeno (versione finale) e Digital Twin informativo dimostrativo Modello dati semantico per il settore idrogeno (versione finale) Digital Twin informativo: knowledge graph di validazione per il settore idrogeno
WP4.3 – LA4.3.7 Sviluppo di programmi per la formazione di figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione e sviluppo di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti TRL n.a.	ENEA	D4.3.7.1 [M18] D4.3.7.2 [M30] D4.3.7.3 [M42]	Rapporto tecnico "Descrizione delle attività di formazione: programmi, competenze e risultati dei corsi (M18)". Rapporto tecnico "Descrizione delle attività di formazione: programmi, competenze e risultati dei corsi (M30)". Rapporto tecnico "Descrizione delle attività di formazione: programmi, competenze e risultati dei corsi (M42)".
WP4.3 – LA4.3.8 Sviluppo di programmi di formazione per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore delle infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete TRL n.a.	CNR	M4.3.8.1 [M12] M4.3.8.2 [M12] M4.3.8.3 [M24] M4.3.8.4 [M36] M4.3.8.5 [M42]	Relazione sui contratti per assegnisti o dottorati industriali Relazione su nozioni di base e specifiche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete fornite ai formandi Relazione su coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali in particolare nello studio, progettazione, prototipazione, simulazione e monitoraggio di innovative tecniche su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete Relazione su prosecuzione del coinvolgimento attivo dei formandi sulle attività progettuali con valutazione intermedia delle competenze acquisite Relazione su prosecuzione del coinvolgimento dei formandi sulle attività di ricerca con formazione finale di almeno 2 esperti (ricercatori con unica figura professionale) nella progettazione e sviluppo di metodi e tecniche innovative su infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete

GANTT POR

Obiettivo 1

[illegible]

Obiettivo 2

IA	WP2.1 - RICERCA E SVILUPPO DI SISTEMI E PROCESSI P2G E FASEI LUNGO DERIVATI DALL'IDROGENO DI NATURA ORGANICA	LEADER	1-2	3	4-5	6	7-8	9	10-11	12	13-14	15	16-17	18	19-20	21	22-23	24	25-26	27	28-29	30	31-32	33	34-35	36	37-38	39	40-41	42			
WP2.1 - LA2.1.1	Attività sperimentale di sintesi catalitica selettiva di e-cherosene e sviluppo di moduli per la produzione di e-jetfuel nel contesto marittimo	ENEA				M2.1.1.1		M2.1.1.2		O2.1.1.1 M2.1.1.2 M2.1.1.3				M2.1.1.4																O2.1.1.5 M2.1.1.10 M2.1.1.11			
WP2.1 - LA2.1.2	Processi innovativi di produzione di DME mediante la conversione catalitica della CO2 e idrogeno elettrolitico	ENEA																												O2.1.2.2 O2.1.2.3 M2.1.2.2 M2.1.2.3		O2.1.2.4	
WP2.1 - LA2.1.3	Sviluppo di reattori a membrana per la sintesi di metanolo e altri e-fuel	ENEA								M2.1.3.1																				O2.1.3.3 M2.1.3.5			
WP2.1 - LA2.1.4	Sviluppo di processi di co-elettrolisi ad alta temperatura di CO2 e vapor d'acqua per la produzione di idrogeno e metano e sintesi mediata l'uso di celle ad ossidi solidi operanti ad alta temperatura	CNR			M2.1.4.1		M2.1.4.2			O2.1.4.1 O2.1.4.2 M2.1.4.3				M2.1.4.4		M2.1.4.5														O2.1.4.4 M2.1.4.7		O2.1.4.5 M2.1.4.8	
WP2.1 - LA2.1.5	Sviluppo di celle polimeriche anioniche di co-elettrolisi operanti a bassa temperatura per la produzione diretta di combustibili organici rinnovabili come carrier di idrogeno	CNR					M2.1.5.1			O2.1.5.1 M2.1.5.2			M2.1.5.3			M2.1.5.4														O2.1.5.3 M2.1.5.6		M2.1.5.7 M2.1.5.8 M2.1.5.9	
WP2.1 - LA2.1.6	Processi catalitici per la conversione di idrogeno in carrier liquidi di natura organica come alcoli e dimetil eteri	CNR				O2.1.6.1 M2.1.6.1 M2.1.6.2		O2.1.6.2 M2.1.6.3		O2.1.6.3 M2.1.6.4 M2.1.6.5 M2.1.6.6			O2.1.6.4 M2.1.6.7 M2.1.6.8 M2.1.6.9		O2.1.6.5 M2.1.6.10		O2.1.6.6 M2.1.6.11 M2.1.6.12 M2.1.6.13				O2.1.6.8 M2.1.6.14		O2.1.6.9 M2.1.6.15		O2.1.6.10 M2.1.6.16		O2.1.6.11 M2.1.6.17		O2.1.6.12 M2.1.6.18 M2.1.6.19 M2.1.6.20		O2.1.6.13 M2.1.6.21 M2.1.6.22 M2.1.6.23 M2.1.6.24 M2.1.6.25 M2.1.6.26		
WP2.1 - LA2.1.7	Produzione di metano con catalizzatori a doppia funzione tramite processi integrati di conversione di idrogeno e cattura di CO2	CNR								O2.1.7.1 O2.1.7.2 O2.1.7.3 M2.1.7.1																					O2.1.7.4 O2.1.7.5 O2.1.7.6 M2.1.7.2		O2.1.7.7 O2.1.7.8 O2.1.7.9 O2.1.7.10 O2.1.7.11 O2.1.7.12 M2.1.7.3 M2.1.7.4
WP2.1 - LA 2.1.8	Sviluppo di processi biologici "Power to Gas" per l'utilizzo dell'idrogeno verde per la conversione delle CO2 contenute nei biogas in CH4	ENEA								O2.1.8.1 O2.1.8.2 O2.1.8.3 M2.1.8.1 M2.1.8.2																					O2.1.8.4 O2.1.8.5 M2.1.8.3		O2.1.8.6 M2.1.8.7 M2.1.8.8 M2.1.8.9 M2.1.8.5
WP2.1 - LA 2.1.9	Realizzazione di una piattaforma per lo sviluppo di biocatalizzatori per la produzione di carrier per l'idrogeno e/o la trasformazione dell'idrogeno in derivati ed e-fuel	ENEA													M2.1.9.1																O2.1.9.1 M2.1.9.2		O2.1.9.3 M2.1.9.4 M2.1.9.5
WP2.1 - LA 2.1.10	Sviluppo della tecnologia dell'idrogeno in alcune filiere d'interesse (es. idrico, biomidato, metanazione biologica, idrogeno da FER, recupero CO2 da upgrading del biogas e stoccaggio dell'idrogeno)	RSE													M2.1.10.1																O2.1.10.1 O2.1.10.2 M2.1.10.3		O2.1.10.4 O2.1.10.5 M2.1.10.6
WP2.1 - LA2.1.11	Sviluppo di materiali adatti per processi di elettrometanolizzazione e prevenzione della corrosione microbica	RSE								O2.1.11.1 M2.1.11.1					M2.1.11.2																	O2.1.11.3 M2.1.11.4	
WP2.1 - LA2.1.12	Carrier liquidi di idrogeno ottenuti dalla conversione fotocinetica e fotofotocinetica di CO2 e acqua	CNR					O2.1.12.1 O2.1.12.2 M2.1.12.1			O2.1.12.3 O2.1.12.4 O2.1.12.5 O2.1.12.6 M2.1.12.7 M2.1.12.8 M2.1.12.9			O2.1.12.10 O2.1.12.11 M2.1.12.12		O2.1.12.13 O2.1.12.14 O2.1.12.15		O2.1.12.16 O2.1.12.17 M2.1.12.18				O2.1.12.19 O2.1.12.20 M2.1.12.21 M2.1.12.22 M2.1.12.23 M2.1.12.24 M2.1.12.25 M2.1.12.26 M2.1.12.27 M2.1.12.28		O2.1.12.29 O2.1.12.30 M2.1.12.31 M2.1.12.32 M2.1.12.33 M2.1.12.34 M2.1.12.35 M2.1.12.36 M2.1.12.37 M2.1.12.38		O2.1.12.39 O2.1.12.40 M2.1.12.41 M2.1.12.42 M2.1.12.43 M2.1.12.44 M2.1.12.45 M2.1.12.46 M2.1.12.47 M2.1.12.48 M2.1.12.49 M2.1.12.50 M2.1.12.51 M2.1.12.52 M2.1.12.53 M2.1.12.54 M2.1.12.55 M2.1.12.56 M2.1.12.57 M2.1.12.58		O2.1.12.59 O2.1.12.60 M2.1.12.61 M2.1.12.62 M2.1.12.63 M2.1.12.64 M2.1.12.65 M2.1.12.66 M2.1.12.67 M2.1.12.68 M2.1.12.69 M2.1.12.70 M2.1.12.71 M2.1.12.72 M2.1.12.73 M2.1.12.74 M2.1.12.75 M2.1.12.76 M2.1.12.77 M2.1.12.78 M2.1.12.79 M2.1.12.80 M2.1.12.81 M2.1.12.82 M2.1.12.83 M2.1.12.84 M2.1.12.85 M2.1.12.86 M2.1.12.87 M2.1.12.88 M2.1.12.89 M2.1.12.90 M2.1.12.91 M2.1.12.92 M2.1.12.93 M2.1.12.94 M2.1.12.95 M2.1.12.96 M2.1.12.97 M2.1.12.98 M2.1.12.99 M2.1.13.00 M2.1.13.01 M2.1.13.02 M2.1.13.03 M2.1.13.04 M2.1.13.05 M2.1.13.06 M2.1.13.07 M2.1.13.08 M2.1.13.09 M2.1.13.10 M2.1.13.11 M2.1.13.12 M2.1.13.13 M2.1.13.14 M2.1.13.15 M2.1.13.16 M2.1.13.17 M2.1.13.18 M2.1.13.19 M2.1.13.20 M2.1.13.21 M2.1.13.22 M2.1.13.23 M2.1.13.24 M2.1.13.25 M2.1.13.26 M2.1.13.27 M2.1.13.28 M2.1.13.29 M2.1.13.30 M2.1.13.31 M2.1.13.32 M2.1.13.33 M2.1.13.34 M2.1.13.35 M2.1.13.36 M2.1.13.37 M2.1.13.38 M2.1.13.39 M2.1.13.40 M2.1.13.41 M2.1.13.42 M2.1.13.43 M2.1.13.44 M2.1.13.45 M2.1.13.46 M2.1.13.47 M2.1.13.48 M2.1.13.49 M2.1.13.50 M2.1.13.51 M2.1.13.52 M2.1.13.53 M2.1.13.54 M2.1.13.55 M2.1.13.56 M2.1.13.57 M2.1.13.58 M2.1.13.59 M2.1.13.60 M2.1.13.61 M2.1.13.62 M2.1.13.63 M2.1.13.64 M2.1.13.65 M2.1.13.66 M2.1.13.67 M2.1.13.68 M2.1.13.69 M2.1.13.70 M2.1.13.71 M2.1.13.72 M2.1.13.73 M2.1.13.74 M2.1.13.75 M2.1.13.76 M2.1.13.77 M2.1.13.78 M2.1.13.79 M2.1.13.80 M2.1.13.81 M2.1.13.82 M2.1.13.83 M2.1.13.84 M2.1.13.85 M2.1.13.86 M2.1.13.87 M2.1.13.88 M2.1.13.89 M2.1.13.90 M2.1.13.91 M2.1.13.92 M2.1.13.93 M2.1.13.94 M2.1.13.95 M2.1.13.96 M2.1.13.97 M2.1.13.98 M2.1.13.99 M2.1.14.00 M2.1.14.01 M2.1.14.02 M2.1.14.03 M2.1.14.04 M2.1.14.05 M2.1.14.06 M2.1.14.07 M2.1.14.08 M2.1.14.09 M2.1.14.10 M2.1.14.11 M2.1.14.12 M2.1.14.13 M2.1.14.14 M2.1.14.15 M2.1.14.16 M2.1.14.17 M2.1.14.18 M2.1.14.19 M2.1.14.20 M2.1.14.21 M2.1.14.22 M2.1.14.23 M2.1.14.24 M2.1.14.25 M2.1.14.26 M2.1.14.27 M2.1.14.28 M2.1.14.29 M2.1.14.30 M2.1.14.31 M2.1.14.32 M2.1.14.33 M2.1.14.34 M2.1.14.35 M2.1.14.36 M2.1.14.37 M2.1.14.38 M2.1.14.39 M2.1.14.40 M2.1.14.41 M2.1.14.42 M2.1.14.43 M2.1.14.44 M2.1.14.45 M2.1.14.46 M2.1.14.47 M2.1.14.48 M2.1.14.49 M2.1.14.50 M2.1.14.51 M2.1.14.52 M2.1.14.53 M2.1.14.54 M2.1.14.55 M2.1.14.56 M2.1.14.57 M2.1.14.58 M2.1.14.59 M2.1.14.60 M2.1.14.61 M2.1.14.62 M2.1.14.63 M2.1.14.64 M2.1.14.65 M2.1.14.66 M2.1.14.67 M2.1.14.68 M2.1.14.69 M2.1.14.70 M2.1.14.71 M2.1.14.72 M2.1.14.73 M2.1.14.74 M2.1.14.75 M2.1.14.76 M2.1.14.77 M2.1.14.78 M2.1.14.79 M2.1.14.80 M2.1.14.81 M2.1.14.82 M2.1.14.83 M2.1.14.84 M2.1.14.85 M2.1.14.86 M2.1.14.87 M2.1.14.88 M2.1.14.89 M2.1.14.90 M2.1.14.91 M2.1.14.92 M2.1.14.93 M2.1.14.94 M2.1.14.95 M2.1.14.96 M2.1.14.97 M2.1.14.98 M2.1.14.99 M2.1.15.00 M2.1.15.01 M2.1.15.02 M2.1.15.03 M2.1.15.04 M2.1.15.05 M2.1.15.06 M2.1.15.07 M2.1.15.08 M2.1.15.09 M2.1.15.10 M2.1.15.11 M2.1.15.12 M2.1.15.13 M2.1.15.14 M2.1.15.15 M2.1.15.16 M2.1.15.17 M2.1.15.18 M2.1.15.19 M2.1.15.20 M2.1.15.21 M2.1.15.22 M2.1.15.23 M2.1.15.24 M2.1.15.25 M2.1.15.26 M2.1.15.27 M2.1.15.28 M2.1.15.29 M2.1.15.30 M2.1.15.31 M2.1.15.32 M2.1.15.33 M2.1.15.34 M2.1.15.35 M2.1.15.36 M2.1.15.37 M2.1.15.38 M2.1.15.39 M2.1.15.40 M2.1.15.41 M2.1.15.42 M2.1.15.43 M2.1.15.44 M2.1.15.45 M2.1.15.46 M2.1.15.47 M2.1.15.48 M2.1.15.49 M2.1.15.50 M2.1.15.51 M2.1.15.52 M2.1.15.53 M2.1.15.54 M2.1.15.55 M2.1.15.56 M2.1.15.57 M2.1.15.58 M2.1.15.59 M2.1.15.60 M2.1.15.61 M2.1.15.62 M2.1.15.63 M2.1.15.64 M2.1.15.65 M2.1.15.66 M2.1.15.67 M2.1.15.68 M2.1.15.69 M2.1.15.70 M2.1.15.71 M2.1.15.72 M2.1.15.73 M2.1.15.74 M2.1.15.75 M2.1.15.76 M2.1.15.77 M2.1.15.78 M2.1.15.79 M2.1.15.80 M2.1.15.81 M2.1.15.82 M2.1.15.83 M2.1.15.84 M2.1.15.85 M2.1.15.86 M2.1.15.87 M2.1.15.88 M2.1.15.89 M2.1.15.90 M2.1.15.91 M2.1.15.92 M2.1.15.93 M2.1.15.94 M2.1.15.95 M2.1.15.96 M2.1.15.97 M2.1.15.98 M2.1.15.99 M2.1.16.00 M2.1.16.01 M2.1.16.02 M2.1.16.03 M2.1.16.04 M2.1.16.05 M2.1.16.06 M2.1.16.07 M2.1.16.08 M2.1.16.09 M2.1.16.10 M2.1.16.11 M2.1.16.12 M2.1.16.13 M2.1.16.14 M2.1.16.15 M2.1.16.16 M2.1.16.17 M2.1.16.18 M2.1.16.19 M2.1.16.20 M2.1.16.21 M2.1.16.22 M2.1.16.23 M2.1.16.24 M2.1.16.25 M2.1.16.26 M2.1.16.27 M2.1.16.28 M2.1.16.29 M2.1.16.30 M2.1.16.31 M2.1.16.32 M2.1.16.33 M2.1.16.34 M2.1.16.35 M2.1.16.36 M2.1.16.37 M2.1.16.38 M2.1.16.39 M2.1.16.40 M2.1.16.41 M2.1.16.42 M2.1.16.43 M2.1.16.44 M2.1.16.45 M2.1.16.46 M2.1.16.47 M2.1.16.48 M2.1.16.49 M2.1.16.50 M2.1.16.51 M2.1.16.52 M2.1.16.53 M2.1.16.54 M2.1.16.55 M2.1.16.56 M2.1.16.57 M2.1.16.58 M2.1.16.59 M2.1.16.60 M2.1.16.61 M2.1.16.62 M2.1.16.63 M2.1.16.64 M2.1.16.65 M2.1.16.66 M2.1.16.67 M2.1.16.68 M2.1.16.69 M2.1.16.70 M2.1.16.71 M2.1.16.72 M2.1.16.73 M2.1.16.74 M2.1.16.75 M2.1.16.76 M2.1.16.77 M2.1.16.78 M2.1.16.79 M2.1.16.80 M2.1.16.81 M2.1.16.82 M2.1.16.83 M2.1.16.84 M2.1.16.85 M2.1.16.86 M2.1.16.87 M2.1.16.88 M2.1.16.89 M2.1.16.90 M2.1.16.91 M2.1.16.92 M2.1.16.93 M2.1.16.94 M2.1.16.95 M2.1.16.96 M2.1.16.97 M2.1.16.98 M2.1.16.99 M2.1.17.00 M2.1.17.01 M2.1.17.02 M2.1.17.03 M2.1.17.04 M2.1.17.05 M2.1.17.06 M2.1.17.07 M2.1.17.08 M2.1.17.09 M2.1.17.10 M2.1.17.11 M2.1.17.12 M2.1.17.13 M2.1.17.14 M2.1.17.15 M2.1.17.16 M2.1.17.17 M2.1.17.18 M2.1.17.19 M2.1.17.20 M2.1.17.21 M2.1.17.22 M2.1.17.23 M2.1.17.24 M2.1.17.25 M2.1.17.26 M2.1.17.27 M2.1.17.28 M2.1.17.29 M2.1.17.30 M2.1.17.31 M2.1.17.32 M2.1.17.33 M2.1.17.34 M2.1.17.35 M2.1.17.36 M2.1.17.37 M2.1.17.38 M2.1.17.39 M2.1.17.40 M2.1.17.41 M2.1.17.42 M2.1.17.43 M2.1.17.44 M2.1.17.45 M2.1.17.46 M2.1.17.47 M2.1.17.48 M2.1.17.49 M2.1.17.50 M2.1.17.51 M2.1.17.52 M2.1.17.53 M2.1.17.54 M2.1.17.55 M2.1.17.56 M2.1.17.57 M2.1.17.58 M2.1.17.59 M2.1.17.60 M2.1.17.61 M2.1.17.62 M2.1.17.63 M2.1.17.64 M2.1.17.65 M2.1.17.66 M2.1.17.67 M2.1.17.68 M2.1.17.69 M2.1.17.70 M2.1.17.71 M2.1.17.72 M2.1.17.73 M2.1.17.74 M2.1.17.75 M2.1.17.76 M2.1.17.77 M2.1.17.78 M2.1.17.79 M2.1.17.80 M2.1.17.81 M2.1.17.82 M2.1.17.83 M2.1.17.84 M2.1.17.85 M2.1.17.86 M2.1.17.87 M2.1.17.88 M2.1.17.89 M2.1.17.90 M2.1.17.91 M2.1.17.92 M2.1.17.93 M2.1.17.94 M2.1.17.95 M2.1.17.96 M2.1.17.97 M2.1.17.98 M2.1.17.99 M2.1.18.00 M2.1.18.01 M2.1.18.02 M2.1.18.03 M2.1.18.04 M2.1.18.05 M2.1.18.06 M2.1.18.07 M2.1.18.08 M2.1.18.09 M2.1.18.10 M2.1.18.11 M2.1.18.12 M2.1.18.13 M2.1.18.14 M2.1.18.15 M2.1.18.16 M2.1.18.17 M2.1.18.18 M2.1.18.19 M2.1.18.20 M2.1.18.21 M2.1.18.22 M2.1.18.23 M2.1.18.24 M2.1.18.25 M2.1.18.26 M2.1.18.27 M2.1.18.28 M2.1.18.29 M2.1.18.30 M2.1.18.31 M2.1.18.32 M2.1.18.33 M2.1.18.34 M2.1.18.35 M2.1.18.36 M2.1.18.37 M2.1.18.38 M2.1.18.39 M2.1.18.40 M2.1.18.41 M2.1.18.42 M2.1.18.43 M2.1.18.44 M2.1.18.45 M2.1.18.46 M2.1.18.47 M2.1.18.48 M2.1.18.49 M2.1.18.50 M2.1.18.51 M2.1.18.52 M2.1.18.53 M2.1.18.54 M2.1.18.55 M2.1.18.56 M2.1.18.57 M2.1.18.58 M2.1.18.59 M2.1.18.60 M2.1.18.61 M2.1.18.62 M2.1.18.63 M2.1.18.64 M2.1.18.65 M2.1.18.66 M2.1.18.67 M2.1.18.68 M2.1.18.69 M2.1.18.70 M2.1.18.71 M2.1.18.72 M2.1.18.73 M2.1.18.74 M2.1.18.75 M2.1.18.76 M2.1.18.77 M2.1.18.78 M2.1.18.79 M2.1.18.80 M2.1.18.81 M2.1.18.82 M2.1.18.83 M2.1.18.84 M2.1.18.85 M2.1.18.86 M2.1.18.87 M2.1.18.88 M2.1.18.89 M2.1.18.90 M2.1.18.91 M2.1.18.92 M2.1.18.93 M2.1.18.94 M2.1.18.95 M2.1.18.96 M2.1.18.97 M2.1.18.98 M2.1.18.99 M2.1.19.00 M2.1.19.01 M2.1.19.02 M2.1.19.03 M2.1.19.04 M2.1.19.05 M2.1.19.06 M2.1.19.07 M2.1.19.08 M2.1.19.09 M2.1.19.10 M2.1.19.11 M2.1.19.12 M2.1.19.13 M2.1.19.14 M2.1.19.15 M2.1.19.16 M2.1.19.17 M2.1.19.18 M2.1.19.19 M2.1.19.20 M2.1.19.21 M2.1.19.22 M2						

		WP3 - RICERCA E SVILUPPO DI TECNOLOGIE DI STACK, COMPONENTI E PROCESSI, PER MIGLIORARE LE PRESTAZIONI E RIDURRE I COSTI	LEADER	1-2	3	4-5	6	7-8	9	10-11	12	13-14	15	16-17	18	19-20	21	22-23	24	25-26	27	28-29	30	31-32	33	34-35	36	37-38	39	40-41	42
WP3.1-1A.1.1		Sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduttività protonica ad alta temperatura	ENEA								DS.1.11 MS.1.1.1								DS.1.12 MS.1.1.2						DS.1.13 MS.1.1.3					DS.1.14 MS.1.1.4	
WP3.1-1A.1.2		Sviluppo di rivestimenti a base di carbonio mediante tecniche di deposizione chimica e flusso da fase vapore e struttura di plasma per applicazioni su piani bipolar in acciaio, titanio e leghe di alluminio	ENEA								DS.1.11 MS.1.1.1				MS.1.2.2				DS.1.12 MS.1.2.3				MS.1.2.4			MS.1.2.5				DS.1.23 MS.1.2.3	
WP3.1-1A.1.3		Sviluppo di elettrocatalizzatori basati su metalli a leghe di metalli NYC ad elevata area superficiale	ENEA								DS.1.11 MS.1.1.1								DS.1.12 MS.1.2.3							DS.1.13				DS.1.14 MS.1.2.4	
WP3.1-1A.1.4		Gestione e validazione dell'ingegneria di stack di celle a combustibile a membrana polimerica	ENEA					MS.1.4.1			DS.1.4.1				MS.1.4.2 MS.1.4.3 MS.1.4.4				MS.1.4.2 MS.1.4.3					MS.1.4.4			DS.1.43 MS.1.4.7				DS.1.44 MS.1.4.8
WP3.1-1A.1.5		Sviluppo del Balance of Plant per sistemi basati su celle a combustibile a membrana polimerica	ENEA								MS.1.5.1						MS.1.5.2							MS.1.5.4			MS.1.5.5				DS.1.52 MS.1.5.3
WP3.1-1A.1.6		Sviluppo di componenti innovativi quali elettrodi con base a ossido conduttore di metalli preziosi e membrane acetate per celle a combustibile polimeriche con elettrolita protonico ed anionico	CNR		MS.1.6.1 MS.1.6.2			MS.1.6.3			DS.1.6.1 DS.1.6.2 DS.1.6.3 MS.1.6.4 MS.1.6.5 MS.1.6.6				MS.1.6.7				DS.1.6.4 DS.1.6.5 MS.1.6.6				MS.1.6.11			DS.1.6.7 DS.1.6.8 MS.1.6.9 MS.1.6.12				DS.1.6.9 MS.1.6.11 MS.1.6.12	
WP3.1-1A.1.7		Sviluppo di nuove architetture di stack di celle a combustibile di tipo PEM ad ADM con catalizzatori modulari	CNR					MS.1.7.1			DS.1.7.1 DS.1.7.2 MS.1.7.2								DS.1.7.3 MS.1.7.4							DS.1.7.5 MS.1.7.6				DS.1.7.7 DS.1.7.8 DS.1.7.9 MS.1.7.7 MS.1.7.8	
LA	WP3 - RICERCA E SVILUPPO DI SOLUZIONI AVANZATE DI CELLE REVERSIBILI BASATE SU CONDUTTORI IONICI E PROTONICI	LEADER	1-2	3	4-5	6	7-8	9	10-11	12	13-14	15	16-17	18	19-20	21	22-23	24	25-26	27	28-29	30	31-32	33	34-35	36	37-38	39	40-41	42	
WP3.2-1A.2.1		Studio e sviluppo di materiali innovativi, nuove strutture e geometrie delle celle SOC attraverso tecniche di produzione alternative, con particolare attenzione verso le celle a conduttività protonica	ENEA														DS.2.1.1 MS.2.1.1						DS.2.1.2 MS.2.1.2			DS.2.1.3				DS.2.1.4 MS.2.1.4	
WP3.2-1A.2.2		Sviluppo di materiali innovativi per celle reversibili operanti ad alta temperatura, con elettrolita ceramico protonico ed anionico e a conduttività ioni idrossido	CNR	DS.2.2.1 MS.2.2.1		DS.2.2.2 MS.2.2.2		DS.2.2.3		DS.2.2.4 MS.2.2.4		DS.2.2.5 MS.2.2.5		DS.2.2.6 MS.2.2.6			DS.2.2.7 MS.2.2.7		DS.2.2.8 MS.2.2.8			MS.2.2.9		DS.2.2.10 MS.2.2.10		DS.2.2.11		DS.2.2.12 MS.2.2.12		DS.2.2.13 MS.2.2.13	
WP3.2-1A.2.3		Sviluppo di componenti quali elettrodi e membrane per celle reversibili polimeriche PEM ed ADM operanti a bassa temperatura per applicazioni di low-power	CNR	MS.2.3.1		DS.2.3.1		DS.2.3.2 MS.2.3.2 MS.2.3.3		DS.2.3.4 MS.2.3.4 MS.2.3.5 MS.2.3.6				DS.2.3.6 MS.2.3.6			MS.2.3.7 MS.2.3.8						DS.2.3.12 MS.2.3.13		DS.2.3.13 MS.2.3.14		DS.2.3.15 MS.2.3.15		DS.2.3.16 MS.2.3.16		DS.2.3.17 MS.2.3.17
LA	WP3.3 - RICERCA E SVILUPPO DI COMPONENTI E SISTEMI DI CELLE A COMBUSTIBILE PER APPLICAZIONI NEL TRASPORTO PESANTE (STRADALE, FERROVIARIO, MARITTIMO E NELL'AERAZIONE)	LEADER	1-2	3	4-5	6	7-8	9	10-11	12	13-14	15	16-17	18	19-20	21	22-23	24	25-26	27	28-29	30	31-32	33	34-35	36	37-38	39	40-41	42	
WP3.3-1A.3.1		Sviluppo di soluzioni modulari per sistemi basati su celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante	ENEA								DS.3.1.1 MS.3.1.1															DS.3.1.2 MS.3.1.2				DS.3.1.3 MS.3.1.3	
WP3.3-1A.3.2		Sviluppo di soluzioni ibride basate su celle a combustibile per applicazioni offshore e in montagna	ENEA								DS.3.1.1 MS.3.1.1																				

Obiettivo 4

IA	WP4.1 - RICERCA, SVILUPPO E IMPLEMENTAZIONE DI ALGORITMI DI SMART MANAGEMENT PER INFRASTRUTTURE BASATE SULL'IDROGENO, PER L'EROGAZIONE DI SERVIZI ANCILLARI E L'INTEROPERABILITÀ CON ALTRI SISTEMI E RETI, TEST E APPLICAZIONI	LEADER	1-5	6	7-11	12	13-17	18	19	20	21-23	24	25-29	30	31	32	33-35	36	37-40	41	42
WP4.1 – LA4.1.1	Progettazione e test di dispositivi e apparati per l'interfacciamento, la gestione e la protezione di sistemi basati su idrogeno con capacità di erogazione di servizi ancillari alle reti energetiche	ENEA						D4.1.1.1 M4.1.1.1		M4.1.1.4				M4.1.1.2		M4.1.1.5		D4.1.1.2 M4.1.1.3			D4.1.1.3 M4.1.1.6
WP4.1 – LA4.1.2	Sviluppo di strategie e tecnologie per l'interoperabilità e lo smart management di apparati di generazione, accumulo e utilizzo di idrogeno	ENEA						D4.1.2.1 M4.1.2.1		M4.1.2.3		M4.1.2.2		M4.1.2.4				D4.1.2.2			D4.1.2.3 M4.1.2.5
WP4.1 – LA4.1.3	Studio di metodologie basate su intelligenza artificiale ed algoritmi di energy management per migliorare l'interfacciamento con la rete di infrastrutture ad idrogeno	CNR		M4.1.3.1		D4.1.3.1 D4.1.3.2 M4.1.3.2 M4.1.3.3		D4.1.3.3 M4.1.3.4				D4.1.3.4 M4.1.3.5		D4.1.3.5 M4.1.3.6		M4.1.3.7		M4.1.3.8		D4.1.3.6 M4.1.3.9	D4.1.3.7 M4.1.3.10
WP4.1 – LA4.1.4	Sviluppo e implementazione di sistemi di controllo per la gestione di sistemi energetici locali multi-vettore	RSE		M4.1.4.1		D4.1.4.1		M4.1.4.2 M4.1.4.3		M4.1.4.4		D4.1.4.2		M4.1.4.5				D4.1.4.3 M4.1.4.6			D4.1.4.4
IA	WP4.2 – SPERIMENTAZIONE E VALIDAZIONE DI UNA INFRASTRUTTURA BASATA SULL'IDROGENO IN SCALA MICROGRID	LEADER	1-5	6	7-11	12	13-17	18	19	20	21-23	24	25-29	30	31	32	33-35	36	37-40	41	42
WP4.2 – LA4.2.1	Infrastrutture basate sull'idrogeno: studio sperimentale in emulazione dell'integrazione nei diversi ambiti applicativi su scala microrete	ENEA						D4.2.1.1 M4.2.1.1				M4.2.1.2						D4.2.1.2 M4.2.1.3			D4.2.1.3 M4.2.1.4
WP4.2 – LA4.2.2	Studio sperimentale su scala di laboratorio di interfacce tra tecnologie ad idrogeno e microgrids	CNR				D4.2.2.1 M4.2.2.1						D4.2.2.2 M4.2.2.2						D4.2.2.3 M4.2.2.3			D4.2.2.4 M4.2.2.4
WP4.2 – LA4.2.3	Sviluppo di convertitori e algoritmi per la gestione ottimizzata di dispositivi energetici ad idrogeno per microreti	CNR				D4.2.3.1 M4.2.3.1						D4.2.3.2 M4.2.3.2						D4.2.3.3 M4.2.3.3			D4.2.3.4 M4.2.3.3
WP4.2 – LA4.2.4	Validazione e dimostrazione in una rete locale sperimentale di un sistema energetico integrato multi-vettore	RSE		M4.2.4.1		D4.2.4.1 M4.2.4.2		M4.2.4.3				D4.2.4.2 M4.2.4.4		M4.2.4.5				D4.2.4.3 M4.2.4.6			D4.2.4.4 M4.2.4.7
IA	WP4.3 – DEFINIZIONE DI STANDARD, METODOLOGIE E LINEE GUIDA PER IL TEST E LA VALIDAZIONE DI TECNOLOGIE EMERGENTI, COMPONENTI E SISTEMI DI GESTIONE E CONTROLLO PER INFRASTRUTTURE BASATE SULL'IDROGENO E FORMAZIONE DI FIGURE PROFESSIONALI	LEADER	1-5	6	7-11	12	13-17	18	19	20	21-23	24	25-29	30	31	32	33-35	36	37-40	41	42
WP4.3 – LA4.3.1	Linee guida per il test e la validazione di componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno	ENEA						D4.3.1.1		M4.3.1.1				M4.3.1.2				D4.3.1.2 M4.3.1.3			D4.3.1.3 M4.3.1.4
WP4.3 – LA4.3.2	Modelli predittivi e sistemi di analisi dati per la filiera dell'idrogeno	ENEA				D4.3.2.1 M4.3.2.1						D4.3.2.2 M4.3.2.2						M4.3.2.3			D4.3.2.3
WP4.3 – LA4.3.3	Metodologie e strumenti GIS per la identificazione di siti ottimali e la valutazione del potenziale di idrogeno	ENEA				D4.3.3.1 M4.3.3.1						D4.3.3.2 M4.3.3.2						M4.3.3.3			D4.3.3.3
WP4.3 – LA4.3.4	Digital Twin: Modellistica della rete di trasporto e di distribuzione dell'idrogeno	ENEA				D4.3.4.1 M4.3.4.1						D4.3.4.3 M4.3.4.2						M4.3.4.3			D4.3.4.4
WP4.3 – LA4.3.5	Protocolli di test armonizzati per la validazione di nuove soluzioni nel settore delle infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete	CNR				D4.3.5.1 M4.3.5.1						D4.3.5.2 M4.3.5.2						D4.3.5.3 M4.3.5.3			D4.3.5.4 M4.3.5.4
WP4.3 – LA4.3.6	Modelli dati e applicazioni ICT per infrastrutture a idrogeno ed integrazione con altri vettori energetici	RSE				D4.3.6.1 M4.3.6.1						D4.3.6.2 M4.3.6.3 M4.3.6.2						D4.3.6.4 M4.3.6.3			D4.3.6.5 D4.3.6.6 D4.3.6.7 M4.3.6.4
WP4.3 – LA4.3.7	Sviluppo di programmi per la formazione di figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore della progettazione e sviluppo di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti	ENEA				M4.3.7.1		D4.3.7.1				M4.3.7.2		D4.3.7.2				M4.3.7.3			D4.3.7.3
WP4.3 – LA4.3.8	Sviluppo di programmi di formazione per formare figure professionali ad alta specializzazione tecnica e scientifica nel settore delle infrastrutture ad idrogeno e della relativa digitalizzazione ed interfacciamento alla rete	CNR				D4.3.8.1 D4.3.8.2 M4.3.8.1 M4.3.8.2						D4.3.8.3 M4.3.8.3						D4.3.8.4 M4.3.8.4			D4.3.8.5 M4.3.8.5

PARTE IV – PREVENTIVO DEI COSTI

L'importo complessivo del presente POR (di durata 42 mesi) ammonta a € 110.000.000,00 ed è così suddiviso:

- € 75.000.000,00 per ENEA (soggetto realizzatore)
- € 20.000.000,00 per CNR (soggetto co-realizzatore)
- € 15.000.000,00 per RSE (soggetto co-realizzatore)

Il POR è articolato in 4 Obiettivi, ciascuno dei quali è declinato in WPs e LA, i cui rispettivi importi (espressi in euro) sono di seguito indicati:

Obiettivo	n. WP	n. LA				Costi vs. Obiettivo - (%)
		<i>ENEA</i>	<i>CNR</i>	<i>RSE</i>	<i>Totale - (%)</i>	
Obiettivo 1	3	31	16	4	51 (39%)	40.000.000,00 (36,4%)
Obiettivo 2	5	19	13	5	37 (28%)	30.000.000,00 (27,3%)
Obiettivo 3	5	16	9	2	27 (21%)	30.000.000,00 (27,3%)
Obiettivo 4	3	8	5	3	16 (12%)	10.000.000,00 (9,0%)
Totale - (%)	16	74 (56%)	43 (33%)	14 (11%)	131	110.000.000,00

Soggetto	Obiettivo				Totale vs. soggetto
	<i>Obiettivo 1</i>	<i>Obiettivo 2</i>	<i>Obiettivo 3</i>	<i>Obiettivo 4</i>	
Realizzatore (ENEA)	28.190.000,00	19.110.000,00	24.200.000,00	3.500.000,00	75.000.000,00
Co-realizzatore (CNR)	7.810.000,00	6.390.000,00	4.800.000,00	1.000.000,00	20.000.000,00
Co-realizzatore (RSE)	4.000.000,00	4.500.000,00	1.000.000,00	5.500.000,00	15.000.000,00
Totale vs. obiettivo	40.000.000,00	30.000.000,00	30.000.000,00	10.000.000,00	110.000.000,00

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle voci di costo eleggibili (A., B., C., D., E., F.) da cui si evince che:

- A. Costi del personale incidono per circa il 50 % del totale
- B. Costi per strumenti, attrezzature, software specifico incidono per circa il 13 % del totale
- C. Costi di esercizio sono pari a circa l'11 % del totale
- D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti sono pari a circa il 7 % del totale
- E. Infrastrutture, non sono stati esposti costi
- F. Spese generali supplementari sono determinate in misura del 25% della somma delle voci di costo A.+B.+C.

Voci di spesa	Costi totali [€]
A. Costi di personale	55.181.466,56
B. Costi per strumenti, attrezzature, software specifico	13.881.713,19
C. Costi di esercizio	12.980.855,28
D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti	7.444.956,21
E. Infrastrutture	0,00

F. Spese generali supplementari	20.511.008,76
<i>Totale</i>	<i>110.000.000,00</i>

Per quanto attiene alla voce di costo A. Costi di personale, si evidenzia che ENEA e CNR hanno utilizzato i costi standard, mentre RSE ha considerato i costi orari.

Con riferimento alla voce di costo D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti, si intende avvalersi della collaborazione di Università nazionali.

Il documento riporta alcune università potenzialmente interessate e/o interessabili, individuate sulla base di consolidate e riconosciute conoscenze, competenze ed esperienze su specifiche tematiche oggetto delle attività di ricerca e sviluppo del presente POR. Tuttavia, al fine di garantire la necessaria concorrenza nelle procedure di assegnazione dei contratti di collaborazione previsti e descritti nel presente documento con riferimento alle singole LA di interesse, si procederà - a seguito dell'approvazione del POR - con la pubblicazione di una call per manifestazione di interesse per la selezione delle Università alle quali conferire, per specifica tematica e sulla base di competenze riconosciute, i suddetti contratti di collaborazione.

Infine, si evidenzia che l'importo dei contratti di collaborazione con le Università ammonta a circa il 75% della voce D., mentre il restante 25% riguarda consulenze da assegnare ad aziende specializzate del settore prevalentemente per la realizzazione di prototipi e l'ingegnerizzazione di componenti.

Le schede di costo per WP, LA e soggetto sono riportate nel documento Excel denominato "Budget POR idrogeno 26 giugno 2022.xlsx", allegato al presente POR.

A riguardo, si fa presente che la colonna "Costo totali", relativa alla suddivisione dei costi per LA riportate nelle schede C3, C4 e C5 del suddetto documento Excel, si riferisce al costo totale al netto delle spese generali.

Le schede budget, con il dettaglio delle singole voci di costo per ciascuna LA e per ciascun soggetto, sono riportate nel documento Excel denominato "Schede budget POR vs LA, voci di costo, soggetti 26 giugno 2022.xlsx", allegato al presente POR.

Firmato digitalmente da: Giorgio Graditi
Organizzazione: ENEA/01320740580
Data: 26/06/2022 15:53:20

Allegato 4 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

RELAZIONE TECNICO ECONOMICA E DI CONGRUITA'

Per l'attivazione di Accordi di collaborazione da stipulare in ambito PNRR POR H2

1. **Unità proponente:** TERIN-PSU
2. **Tipologia della spesa:**

☐ **Lavori**

☒ **Servizi**

☐ **Forniture**
3. **Referente tecnico - Proponente:** Viviana Cigolotti
4. **Responsabili degli Accordi proposti:** come da tabella allegata
5. **Direttore Esecuzione Contratto proposto:** n.a.
6. **Delegato ENEA alla spesa:** Ing. Gilberto Dialuce (sulla base del vigente sistema di deleghe di spesa di cui alla circolare n° 3/AMC del 6/10/2015)
7. **Quadro programmatico in cui si inserisce l'acquisizione delle collaborazioni:**

Con Decreto 545 del 23/12/2021 il Ministero per la Transizione Ecologica (MiTE) ha autorizzato l'attuazione di attività di ricerca nell'ambito del PNRR - Missione M2-C2 - Investimento 3.5: "Ricerca e sviluppo sull'idrogeno". Attraverso la stipula di un Accordo di programma con ENEA, il MiTE ha individuato nell'ENEA il realizzatore e nel CNR ed RSE i co-realizzatori delle attività di ricerca, dettagliate nel "Piano Operativo di Ricerca" (POR), per un contributo massimo pari a 110 milioni di euro.

L'Accordo di Programma è stato firmato dal MiTE in data 29/04/2022 e da ENEA in data 15/05/2022.

L'obiettivo generale del Progetto descritto nel Piano Operativo di Ricerca (POR) è sviluppare attività di ricerca in accordo alla strategia nazionale sull'idrogeno delineata nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) ed in linea con la posizione, diffusa a livello europeo, che identifica nell'idrogeno verde una delle soluzioni prioritarie nel medio termine per la decarbonizzazione del sistema energetico.

Il POR si articola secondo le seguenti macroaree tematiche, definiti obiettivi:

 - Obiettivo 1: Produzione di idrogeno verde e pulito
 - Obiettivo 2: Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels
 - Obiettivo 3: Celle a Combustibile
 - Obiettivo 4: Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno.

A loro volta, gli obiettivi sono declinati in Work Package (WP) e Linee di Attività (LA). Alcune LA, per lo svolgimento delle proprie attività ed il raggiungimento dei risultati previsti, prevedono la collaborazione con Università od altri Enti di Ricerca, da selezionarsi a valle di una Manifestazione di Interesse pubblicata da ENEA, su diversi temi e ambiti specifici.

8. Tipologia commessa di spesa

La spesa in oggetto troverà copertura sugli esercizi 2023, 2024 e 2025 sulle commesse contabili relative al PNRR POR H2 in fase di apertura.

Tipologia commessa: programmatica

Il CUP assegnato è il I83C22001170006

9. Descrizione tecnica dei servizi da acquisire:

Gli Accordi di collaborazione da affidare riguardano diverse tematiche afferenti a tutti e quattro gli obiettivi del POR. In particolare per ognuno degli obiettivi è prevista la stipula del seguente numero di collaborazioni:

- Obiettivo 1: Produzione di idrogeno verde e pulito (26 accordi)
- Obiettivo 2: Tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels (15 accordi)
- Obiettivo 3: Celle a Combustibile (16 accordi)
- Obiettivo 4: Sistemi intelligenti di gestione integrata per migliorare la resilienza e l'affidabilità delle infrastrutture intelligenti basate sull'idrogeno (4 accordi)

Si allega l'elenco dei temi di ricerca e le relative Schede di Attività per ogni singolo Accordo di collaborazione da attivare.

10. Procedura di affidamento:

Considerato il quadro programmatico della spesa, come indicato nel POR è opportuno procedere con la selezione di soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca, dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative, con i quali collaborare nell'ambito del PNRR Idrogeno.

11. Modalità di svolgimento della procedura di affidamento:

La procedura di selezione e di affidamento sarà effettuata attraverso la piattaforma di negoziazione ENEA UBUY.

La procedura sarà indetta sulla base di un "Avviso di Manifestazione di Interesse", sarà effettuata secondo le modalità indicate nel documento "Procedura per la partecipazione" e i singoli Accordi saranno assegnati sulla base di quanto indicato nel documento "Procedura per l'assegnazione".

12. Soggetti a cui è rivolto l'invito:

La procedura sarà rivolta a soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca, dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative che saranno chiamati a rispondere ad apposito avviso di interesse da pubblicare sul portale ENEA di negoziazione.

Nel caso di soggetti diversi dalle università pubbliche sarà richiesto il relativo statuto per dimostrare il possesso dei suddetti requisiti.

13. Subappalto:

Non è ammesso alcun subappalto in quanto trattasi di attività di ricerca.

14. Importo complessivo delle procedure: € 4.213.000 complessivi per tutti gli Accordi di collaborazione da assegnare

15. Congruità degli importi delle collaborazioni:

I costi relativi alle singole collaborazioni sono stati stimati in funzione della tematica e dell'attività specifica individuata. La stima è stata condotta sulla base dell'impegno di personale. I costi si ritengono congrui.

16. Rispetto dei CAM (Criteri Ambientali Minimi):

Il bene/servizio in oggetto

☐ È ☒ NON È

incluso fra le categorie soggette all'osservanza dei Criteri Ambientali Minimi adottati dal MiTE

17. Sicurezza:

L'acquisto si riferisce alla stipula di Accordi di collaborazione con Università e/o organismi di ricerca. In generale le attività saranno condotte presso i propri atenei (e/o sedi) fornendo ad ENEA l'output della ricerca sia esso nella forma di Rapporto Tecnico che di prodotto/prototipo/modello. Per tale ragione si ritiene che non sussistano criticità in termini di sicurezza.

18. Altre informazioni:

Tempi previsti per l'inizio delle attività: si prevede un inizio degli accordi nel mese di Gennaio 2023

Durata dei singoli Accordi: come desunto dalle singole Schede di Attività

Modalità di fatturazione: anticipazione del 20%, la parte rimanente in quote uguali all'approvazione di ciascun output previsto.

Firmato
(Il Referente tecnico –
Proponente)

Firmato digitalmente
(Il Responsabile della
Divisione)

Firmato Digitalmente
(Il Direttore del
Dipartimento TERIN)

Viviana Cigolotti

Firmato digitalmente da: Giulia Monteleone
Organizzazione: ENEA/01320740580
Data: 21/11/2022 11:14:09

Firmato digitalmente da: Giorgio Graditi
Organizzazione: ENEA/01320740580
Data: 22/11/2022 12:28:39

Allegato 5 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

Progressivo	Nr. Procedura	Oggetto dell'accordo	Responsabile dell'Accordo	Importo [€]
1	1.1.2	Progettazione stack AEL ad alte prestazioni	NIGLIACCIO GIUSEPPE	90.000,00
2	1.1.3	Testing catalizzatori ed ottimizzazione dei metodi di deposizione per la preparazione di elettrodi	VISCARDI ROSANNA	75.000,00
3	1.1.4	Formulazioni di ionomeri e membrane anioniche innovative	POZIO ALFONSO	70.000,00
4	1.1.5	Progettazione stack AEM ad alta pressione	NIGLIACCIO GIUSEPPE	70.000,00
5	1.1.8	Sviluppo di un modello di performance di sistemi a ossidi solidi in modalità elettrolisi (SOEC), co-elettrolisi (co-SOEC) ed elettrolisi assistita (SOFECE)	PUMIGILIA DAVIDE	75.000,00
6	1.1.10	Analisi modellistica basata sulla meccanica quantistica multi-scala mirata a definire energie di attivazione, conduttività ionica e resistenza alla diffusione per materiali e componenti allo stato dell'arte delle MCEC	DELLA PIETRA MASSIMILIANO	75.000,00
7	1.1.12	Analisi di Microscopia a Scansione Elettronica (SEM) per imaging semi-quantitativo	PUMIGILIA DAVIDE	75.000,00
8	1.1.14_A	Caratterizzazione analitiche di materiali catalitici per la riduzione del carico di contaminanti nella corrente di gas da gassificazione biomasse e frazioni biogeniche	BARISANO DONATELLA	25.000,00
9	1.1.14_B	Progettazione di impianto prototipale per la gassificazione in reattore a letto fluidizzato a camere interconnesse completo di sezioni di condizionamento a valle	BARISANO DONATELLA	30.000,00
10	1.1.14_C	Caratterizzazione analitiche di materiali sorbenti per il condizionamento della composizione di gas da gassificazione biomasse e frazioni biogeniche	BARISANO DONATELLA	25.000,00
11	1.1.15	Sintesi e caratterizzazione di catalizzatori per il cracking di tar da gasificazione di biomasse	CERONE NADIA	60.000,00
12	1.1.16	Messa a punto di un processo elettrochimico per il trattamento dei refluvi organici della gasificazione delle biomasse con produzione di idrogeno	CERONE NADIA	60.000,00
13	1.1.17_A	Simulazione e modellazione di un reattore di gassificazione di biomasse residui per la produzione di idrogeno verde intensificata mediante cattura di CO2 con sorbenti solidi	STENDARDO STEFANO	30.000,00
14	1.1.17_B	Integrazione ottimale del processo di cattura (commerciale e/o avanzato) per la decarbonizzazione di impianti industriali (ad es., acciaierie e cementifici) su larga scala	STENDARDO STEFANO	30.000,00
15	1.1.18	Funzionalizzazione e caratterizzazione di biomassa e biochar per usi energetici	BORSELLA ELISABETTA	20.000,00
16	1.1.19-20	Sviluppo, sintesi e fornitura di catalizzatori specifici per reattori di reforming elettrico e idrogassificazione di biomasse	GIACONIA ALBERTO	160.000,00
17	1.1.20	Valutazione di sostenibilità ambientale, tecnica ed economica del processo di idrogassificazione per la conversione di biomasse	GIACONIA ALBERTO	70.000,00
18	1.1.21	Produzione di H2 da CO con WGS a bassa temperatura	LISI NICOLA	80.000,00
19	1.1.27	Sviluppo di processi bioelettrochimici avanzati per la produzione di combustibili gassosi dal trattamento e la valorizzazione di matrici organiche di scarto	MARONE ANTONELLA	230.000,00
20	1.1.29	Screening e coltivazione di specie microalgali di potenziale interesse per la produzione di idrogeno in bioreattori	FASANO CARLO	90.000,00
21	1.1.32	Progettazione di un prototipo di reattore a membrana operante ad alta temperatura	TOSTI SILVANO	50.000,00
22	1.1.36	Sviluppo di catalizzatori senza cobalto	LISI NICOLA	75.000,00
23	1.2.2	Definizione di una matrice di casi studio per l'integrazione di sistemi reversibili (rSOC e/o rMCC) accoppiati con fonti rinnovabili, i quali saranno analizzati nel dettaglio mediante simulazioni dinamiche e successiva simulazione	DELLA PIETRA MASSIMILIANO	60.000,00
24	1.3.3	Analisi e ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno, per diverse tecnologie ed in diverse configurazioni impiantistiche	BASSANO CLAUDIA	30.000,00
25	1.3.4	Idrogeno nei modelli di ottimizzazione del sistema energetico italiano dell'ENEA	AGOSTINI ALESSANDRO	90.000,00
26	1.3.5	Attività di formazione sulle tecnologie per la produzione di idrogeno	GISLON PAOLA	60.000,00
27	2.1.1	Attività sperimentale di sintesi catalitica selettiva di e-cherosene	BASSANO CLAUDIA	90.000,00
28	2.1.2	Sviluppo di metodologie sintetiche per la sintesi e caratterizzazione di catalizzatori bifunzionali per l'idrogenazione di CO2 a DME	VISCARDI ROSANNA	90.000,00
29	2.1.3	Sintesi e caratterizzazione di zeoliti semipermeabili all'acqua	CERONE NADIA	90.000,00
30	2.2.1	Messa a punto, sviluppo e realizzazione di sensori chimici per il controllo ed il monitoraggio distribuito della rete	POLICHETTI TIZIANA	90.000,00
31	2.3.1	Analisi del ciclo di produzione dell'ammoniaca verde e del suo utilizzo come carrier dell'idrogeno	GIACONIA ALBERTO	30.000,00
32	2.3.8_A	Studio sistemi di accumulo per applicazioni stazionarie e di mobilità	GIGLOTTI VIVIANA	90.000,00
33	2.3.8_B	Studio sistemi di accumulo integrati idruri metallici (MH) -PCM	GIGLOTTI VIVIANA	90.000,00
34	2.3.8_C	Studio sistemi di accumulo per applicazioni navali	GIGLOTTI VIVIANA	90.000,00
35	2.4.1_A	Studio e ottimizzazione tecnico-economica del dimensionamento e dell'esercizio dei principali componenti di stazioni di rifornimento a idrogeno	DELLA PIETRA MASSIMILIANO	60.000,00
36	2.4.1_B	Sviluppo di modelli di ottimizzazione dell'esercizio dei principali componenti costituenti di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS)	DELLA PIETRA MASSIMILIANO	60.000,00
37	2.4.2	Studio e sviluppo di modelli di ottimizzazione di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS) alimentate da fonti rinnovabili on-grid e off-grid o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel)	GIGLOTTI VIVIANA	90.000,00
38	2.5.1	Modellazione matematica e numerica di misuratori per miscele di gas naturale ed idrogeno	GISLON PAOLA	75.000,00
39	2.5.3	Definizione di norme e metodiche per la definizione delle caratteristiche di qualità e di prestazione degli e-fuels	VANGA GIUSEPPINA	50.000,00
40	2.5.5	Studio degli impatti ambientali di sistemi integrati per l'immagazzinamento di idrogeno	CARBONE CLAUDIO	90.000,00
41	2.5.6	Attività di formazione sulle tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels	BASSANO CLAUDIA	60.000,00
42	3.1.1_A	Sviluppo di metodi e processi per la preparazione e la caratterizzazione di membrane funzionanti ad alta T	POZIO ALFONSO	70.000,00
43	3.1.1_B	Formulazioni di ionomeri e membrane cationiche per alte temperature	POZIO ALFONSO	75.000,00
44	3.1.3_B	Studio di metodiche di deposizione laser per deposizioni catalizzatori per celle a combustibile a bassa temperatura	POZIO ALFONSO	36.000,00
45	3.1.3_A	Sintesi e caratterizzazione di catalizzatori alternativi a basso costo per celle a combustibile a bassa temperatura	POZIO ALFONSO	48.000,00
46	3.1.3_C	Ottimizzazione dei metodi di deposizione del platino su una matrice conduttiva	POZIO ALFONSO	36.000,00
47	3.1.4	Supporto alla progettazione di stack per celle a combustibile polimeriche ad alte prestazioni tramite analisi numerica	DONATO FILIPPO	90.000,00
48	3.1.5_B	Progettazione e realizzazione sistema controllo sistemi a celle a combustibile con membrana polimerica	NIGLIACCIO GIUSEPPE	60.000,00
49	3.1.5_A	Sviluppo di modelli per celle a combustibile polimeriche e coprogettazione BoP	NIGLIACCIO GIUSEPPE	60.000,00
50	3.3.1	Definizione caratteristiche di una rete di interfacciamento per una griglia di FC	PASQUALI MANLIO	90.000,00
51	3.3.2	Identificazione di applicazioni heavy duty per sistemi di movimentazione a celle a combustibile	PASQUALI MANLIO	90.000,00
52	3.3.3	Modellistica di sistemi cella a combustibile PEM con attenzione ai fenomeni di invecchiamento	PASQUALI MANLIO	90.000,00
53	3.3.4	Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile ad alta temperatura alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH3, LOHC) per applicazioni nel settore marittimo	GIGLOTTI VIVIANA	75.000,00
54	3.3.5	Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile a bassa temperatura alimentate a idrogeno puro o carrier alternativi (NH3, LOHC) per applicazioni nel trasporto marittimo	GIGLOTTI VIVIANA	60.000,00
55	3.4.1_A	Studio sui contaminanti provenienti dalle diverse tecnologie di produzione di biogas	PUMIGILIA DAVIDE	60.000,00
56	3.4.1_B	Modellazione matematica e numerica di celle a combustibile ad alta temperatura di tipo SOFC	PUMIGILIA DAVIDE	75.000,00
57	3.5.5	Attività di formazione sulle diverse tecnologie per l'uso dell'idrogeno in applicazioni con celle a combustibile	MENALE CARLA	60.000,00
58	4.1.1	Studio e definizione di logiche di controllo dei convertitori di interfaccia per elettrolizzatori e celle a combustibile utilizzati in reti intelligenti caratterizzate da avanzata penetrazione del vettore idrogeno	ADINOLFI GIOVANNA	33.000,00
59	4.2.1	Studio e sviluppo di casi d'uso, architettura e flussi logici di controllo per reti energetiche avanzate caratterizzate da avanzata penetrazione del vettore idrogeno	VALENTI MARIA	45.000,00
60	4.3.3	Sviluppo di metodi avanzati di analisi spaziale per la valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in relazione alle reti di trasporto e distribuzione e ai nodi di produzione e utilizzo dislocati in siti ottimali	FATTORUSO GRAZIA	55.000,00
61	4.3.4	Supporto allo sviluppo di componentistica per gemello digitale delle reti di trasporto e distribuzione idrogeno	DE VITO SAVERIO	55.000,00
Totale complessivo				4.213.000,00

Allegato 6 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Progettazione stack AEL ad alte prestazioni

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.2 Sviluppo elettrolizzatori alcalini ad alte prestazioni

Rif. Nr. Procedura: 1.1.2

Responsabile Accordo: Giuseppe Nigliaccio

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Importo: 90.000,00 €

Durata: 28 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La tecnologia dell'elettrolisi alcalina (AEL) è abbastanza consolidata e rispetto agli elettrolizzatori PEM, tuttavia alcuni vantaggi come: la possibilità l'utilizzo di acqua demineralizzata, e non deionizzata, e per costi al kW installato ridotti legati al non utilizzo di catalizzatori costosi determinano un interesse nello sviluppo di questa tecnologia nei prossimi anni.

Gli aspetti che vogliono sviluppare nella linea di attività LA1.1.2, e che si ritiene potrebbero portare allo sviluppo di ulteriori applicazioni di questa categoria di elettrolizzatori, sono: l'aumento della pressione di esercizio e l'aumento delle prestazioni energetiche.

L'Accordo di collaborazione prevede:

- un'analisi preliminare delle criticità legate alla produzione di idrogeno in pressione con elettrolizzatori AEL, sia per quanto riguarda i materiali, sia relativamente al passaggio di un gas da un comparto all'altro, fenomeno che determina problematiche relative alla sicurezza ed alla purezza del gas prodotto.

- l'individuazione di soluzioni che permettano di raggiungere pressioni di esercizio superiori al benchmark di riferimento, costituito dai prodotti dall'industria nazionale attiva nella produzione di elettrolizzatori di tipo alcalino.
- Sviluppo di un modello tipo termomeccanico, fluidodinamico ed energetico della cella elettrolitica che mediante l'utilizzo di un codice di calcolo che permetta di stimare la produzione di idrogeno al variare dei parametri operativi.
- Validazione con stack benchmark.
- Mediante codici di calcolo di tipo termomeccanico e fluidodinamico una riprogettazione della singola cella al fine di migliorare le prestazioni energetiche e raggiungere un incremento della pressione di esercizio.
- Progettazione della cella ad alte prestazioni
- Supporto alla progettazione dello stack ad alte prestazioni

I modelli forniti saranno sviluppati con software commerciali e saranno correlati da manuale descrittivo per l'utilizzo degli stessi.

Output

- Rapporto tecnico: "Analisi criticità sistema AEL per l'elettrolisi dell'acqua in pressione" [M6]
- Modello energetico di uno stack AEL convenzionale e report di validazione [M12]
- Modello per la simulazione termomeccanica di uno stack AEL e report di validazione [M12]
- Modello per la simulazione fluidodinamica di uno stack AEL e report di validazione [M12]
- Rapporto tecnico: "Progettazione monocella AEL di prova ad alte prestazioni" [M18]
- Rapporto tecnico: "Progettazione di un sistema completo AEL alte prestazioni" [M28]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

***Testing catalizzatori ed ottimizzazione dei metodi di deposizione per la preparazione di elettrodi
nell'ambito del***

PNRR POR H2

***WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre
tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni***

***LA1.1.3 Sviluppo di catalizzatori e metodi di produzione di elettrodi catalizzati per elettrolizzatori
alcalini e a membrana***

Rif. Nr. Procedura: 1.1.3

Responsabile Accordo: Rosanna Viscardi

Responsabile LA: Rosanna Viscardi

Importo: 75.000 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della linea di attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate al testing e all'ottimizzazione di catalizzatori e di metodi di loro deposizione su una matrice conduttiva per la produzione di elettrodi ad elevata area superficiale per elettrolizzatori alcalini con elettrolita liquido e a membrana anionica. L'attuale pratica commerciale prevede diverse possibili metodologie di preparazione degli elettrodi catalizzati (deposizione per plasma spray, elettrosintesi per deposizione galvanica o elettroforetica, deposizione per coating, cold rolling, PVD, etc).

L'Accordo si focalizzerà sia sulle tecniche ottimali di testing che sull'analisi dei diversi metodi di produzione con l'obiettivo di garantire le migliori performance dal punto di vista tecnologico economico ed ambientale per la produzione degli elettrodi per elettrolizzatori alcalini di varie tipologie.

La caratterizzazione chimica, strutturale e morfologica dei catalizzatori prodotti dovrà essere verificata attraverso le tecniche più opportune tra cui: XRD, SEM-EDS, FTIR determinazione dell'area superficiale specifica. L'Accordo prevederà inoltre la caratterizzazione elettrochimica (voltammetria ciclica (CV) e misure con elettrodo a disco rotante (RDE)) di catalizzatori anodici e

catodici ottenuti mediante diverse tecniche di produzione e la loro comparazione con prodotti commerciali (catalizzatori/elettrodi) allo scopo di valutare i metodi di produzione ottimali per le diverse tipologie di catalizzatori. Eventualmente verranno predisposti test di accelerazione degradata (ATDs), allo scopo di valutare la loro stabilità.

Output

- Rapporto tecnico: "Testing chimico fisico ed elettrochimico catalizzatori ed elettrodi" [M24]
- Rapporto tecnico: "Testing chimico fisico ed elettrochimico catalizzatori ed elettrodi " [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Formulazioni di ionomeri e membrane anioniche innovative

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.4 Sviluppo di processi di preparazione di membrane a scambio anionico e relativi ionomeri a basso costo

Rif. Nr. Procedura: 1.1.4

Responsabile Accordo: Alfonso Pozio

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Importo: 70.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate alle formulazioni di ionomeri e membrane anioniche innovative. La collaborazione è rivolta a soggetti con rilevante esperienza nella sintesi di polimeri funzionali inclusi polimeri conduttori e polielettroliti. Tale esperienza dovrà essere in particolare sulla preparazione di ionomeri polistirenici e loro copolimeri comprendenti in catena laterale gruppi ammonio quaternari utilizzati per la preparazione di membrane anioniche per celle a combustibile e per celle elettrolitiche per la produzione di idrogeno ed ossigeno mediante elettrolisi dell'acqua. Si richiede inoltre la capacità di sviluppare ionomeri e membrane a conducibilità anionica per celle elettrolitiche sulla base di matrici di polichetone a diverso peso molecolare. I materiali prodotti dovranno garantire la sufficiente reticolazione per sostenere gli stress meccanici durante il funzionamento della membrana.

L'attività di collaborazione prevederà dunque la preparazione e fornitura di membrane anioniche e relativi ionomeri con gruppi carichi positivamente per la necessaria conducibilità anionica.

In particolare, la collaborazione dovrà indirizzarsi allo studio dei seguenti sistemi polimerici ionomerici e alla messa a punto delle corrispondenti membrane anioniche per la caratterizzazione elettrochimica e la valutazione delle prestazioni in celle elettrolitiche anioniche (AEM) prototipali.

1. Ionomeri: saranno oggetto dello studio ionomeri a base di polichetone a basso peso molecolare funzionalizzato con derivati imidazolici e le loro prestazioni saranno confrontate con ionomeri realizzati con agenti funzionalizzanti differenti a base cioè di ammine alifatiche lineari e cicliche.
2. Membrane: saranno inoltre oggetto dell'Accordo la realizzazione di membrane a scambio anionico a partire da polichetoni ad alto peso molecolare allo scopo di garantire le necessarie proprietà meccaniche e di durabilità. I polichetoni disponibili commercialmente saranno selezionati sulla base del peso molecolare e delle proprietà termomeccaniche e saranno funzionalizzati con derivati imidazolici, ammine alifatiche lineari e cicliche. La quaternizzazione sarà realizzata mediante l'uso di iododerivati con lo scopo di introdurre i gruppi carichi positivamente e garantire la più alta conducibilità anionica.

Output

- Rapporto tecnico: "Sintesi di ionomeri a base di polichetone funzionalizzato" [M12]
- Fornitura di ionomeri ottenuti da sintesi a base di polichetone funzionalizzato in soluzioni di vari solventi [M12]
- Rapporto tecnico: "Sintesi di membrane anioniche a partire dai corrispondenti ionomeri" [M24]
- Fornitura di membrane anioniche a partire dai corrispondenti ionomeri ottenuti al punto precedente [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Progettazione stack AEM ad alta pressione

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP 1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA 1.1.5 Sviluppo di elettrolizzatori in pressione a membrana anionici (con differenziale)

Rif. Nr. Procedura: 1.1.5

Responsabile Accordo: Giuseppe Nigliaccio

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Importo: 70.000,00 €

Durata: 28 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La tecnologia AEM (anion exchange membrane) si caratterizza come una tecnologia che unisce alcuni vantaggi della tecnologia AEL, come ad esempio il basso costo e l'utilizzo di acqua demineralizzata e non deionizzata, ed i vantaggi della tecnologia PEM, come ad esempio la compattezza, i rendimenti più alti e la possibilità di poter avere una produzione in di idrogeno in pressione mantenendo la produzione di ossigeno a pressione atmosferica. Questi elementi portano indubbi vantaggi e avvicinano la tecnologia alcalina a quella PEM relativamente alla modalità di funzionamento ed alle possibili applicazioni. Tuttavia il funzionamento in pressione genera delle problematiche relative alla stabilità della membrana e all'attraversamento dei gas prodotti attraverso la stessa (fenomeno del crossover) al variare delle condizioni operative.

Si prevede quindi una prima fase di test con dispositivo commerciale dove saranno valutate le criticità relative all'utilizzo dei sistemi con membrana anionica con differenziale di pressione, le performance ed i limiti operativi. Successivamente si procederà alla progettazione di una cella prova che riesca a migliorare le performance relativamente al funzionamento in pressione ed energetiche. La tecnologia AEM non è considerata matura, pertanto alcuni aspetti relativi alla componentistica, e sono oggetto di ricerca in altre linee di attività, possono essere integrati nel prototipo finale al fine di migliorare ulteriormente le prestazioni.

L'Accordo di collaborazione prevede:

- Analisi preliminare delle criticità legate alla produzione di idrogeno in pressione con elettrolizzatori AEM, sia per quanto riguarda i materiali, sia relativamente al passaggio di un gas da un comparto all'altro, crossover, fenomeno che determina problematiche relative alla sicurezza ed alla purezza del gas prodotto.
- Individuazione di soluzioni che permettano di raggiungere pressioni di esercizio superiori al benchmark di riferimento, costituito dai prodotti dall'industria nazionale attiva nella produzione di elettrolizzatori di tipo AEM.
- Sviluppo di un modello tipo termomeccanico, fluidodinamico ed energetico della cella elettrolitica che mediante l'utilizzo di un codice di calcolo che permetta di stimare la produzione di idrogeno al variare dei parametri operativi.
- Progettazione, mediante codici di calcolo di tipo termomeccanico e fluidodinamico, della singola cella al fine di migliorare le prestazioni energetiche e raggiungere un incremento della pressione di esercizio.
- Supporto alla progettazione dello stack ad alte prestazioni.

I modelli forniti saranno sviluppati con software commerciali e saranno correlati da manuale descrittivo per l'utilizzo degli stessi.

Output

- Rapporto tecnico: "Analisi criticità sistema AEM ed individuazione delle soluzioni per incrementare le prestazioni rispetto al benchmark di riferimento" [M6]
- Modello energetico di uno stack AEM convenzionale e report di validazione [M12]
- Modello per la simulazione termomeccanica di uno stack AEM e report di validazione [M12]
- Modello per la simulazione fluidodinamica di uno stack AEM e report di validazione [M12]
- Rapporto tecnico: "Progettazione monocella AEM ad alta pressione" [M18]
- Rapporto tecnico "Progettazione di uno stack AEM ad alta pressione" [M28]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di un modello di performance di sistemi a ossidi solidi in modalità elettrolisi (SOEC), co-elettrolisi (co-SOEC) ed elettrolisi assistita (SOFEC)

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.8 Sviluppo, caratterizzazione e ottimizzazione dei processi di elettrolisi convenzionale e alternativa in sistemi ad ossidi solidi per la produzione di idrogeno e syngas

Rif. Nr. Procedura: 1.1.8

Responsabile Accordo: Davide Pumiglia

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Importo: 75.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'Accordo di collaborazione prevede di sviluppare un modello di performance di celle/sistemi a ossidi solidi operanti in modalità elettrolisi (SOEC), co-elettrolisi (co-SOEC) ed elettrolisi assistita (SOFEC).

In una prima fase sarà sviluppato un modello di performance 0-D con approccio semi-empirico per valutare la risposta input/output della cella/sistema in condizioni stazionarie sotto diverse condizioni di operazione (densità di corrente, temperatura, pressione, composizioni gas in ingresso, fattori di utilizzo reagenti, etc.). Gli output generati dal modello dovranno includere il voltaggio della cella/sistema (potenziale all'equilibrio e componenti delle sovratensioni di attivazione, ohmiche e concentrazione nelle condizioni operative specifiche) oltre che la composizione dei gas all'uscita della cella/sistema (conversione del gas per via chimica ed elettrochimica). Il modello dovrà essere predisposto per valutare le tre condizioni di operazione (SOEC, co-SOEC, SOFEC – in questo ordine di priorità) e diverse tipologie di celle (e.g. anodo o elettrolita supportate) mediante l'adattamento di alcuni parametri. Il modello 0-D sarà validato e/o ricalibrato con i risultati di campagne sperimentali specifiche (una per ciascuna modalità operativa SOEC, co-SOEC, SOFEC).

Successivamente il modello 0-D sarà ampliato a un campo 2-D semplificato in condizioni stazionarie mediante tecniche di discretizzazione (e.g. analisi agli elementi finiti o similari) per permettere l'analisi dettagliata della distribuzione delle stesse grandezze analizzate con il modello 0-D sulla superficie di una cella planare. La modellazione sarà complementata dai risultati di campagne sperimentali specifiche (in almeno una delle modalità operativa SOEC, co-SOEC, SOFEC) con l'utilizzo del prototipo di setup sperimentale *multi-campionamento localizzato* presso il laboratorio ABI. L'obiettivo della modellazione 2-D consiste principalmente nell'identificazione di criticità e opportunità di ottimizzazione del processo e/o setup per migliorare le performance di tali sistemi operanti nelle diverse modalità operative.

Come attività complementare allo sviluppo del modello di performance 0-D sarà prevista l'analisi preliminare della compatibilità del syngas prodotto (H_2/CO) in modalità co-SOEC come reattivo in processi per la sintesi di combustibili sintetici secondari (metanazione, Fischer Tropsch, etc.) comparando il rapporto H/C ottenuto nelle diverse condizioni operative con i requisiti delle principali reazioni di sintesi.

Output

- Modello di performance semi-empirico 0-D per la valutazione della risposta elettrochimica (potenziale di operazione) e di conversione gas (composizione gas all'uscita) di celle/sistemi a ossidi solidi sotto diverse condizioni di operazione in modalità elettrolisi (SOEC), co-elettrolisi (co-SOEC) ed elettrolisi assistita (SOFEC) [M15]
- Modello di performance discretizzato 2-D per la valutazione delle distribuzioni /gradienti delle stesse grandezze analizzate dal modello 0-D di celle/sistemi a ossidi solidi sotto diverse condizioni di operazione in almeno una delle tre modalità: elettrolisi (SOEC), co-elettrolisi (co-SOEC) ed elettrolisi assistita (SOFEC) [M30]
- Analisi preliminare della compatibilità del syngas prodotto (H_2/CO) in modalità co-SOEC per la sintesi di combustibili secondari [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Analisi modellistica basata sulla meccanica quantistica multi-scala mirata a definire energie di attivazione, conduttività ionica e resistenza alla diffusione per materiali e componenti allo stato

dell'arte delle MCEC

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.10 Studio parametrico dei principali fenomeni chimico-fisici di elettrolizzatori a carbonati fusi alimentati da RES

Rif. Nr. Procedura: 1.1.10

Responsabile Accordo: Massimiliano Della Pietra

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Importo: 75.000,00 €

Durata: 22 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Lo svolgimento della seguente attività prevede un approccio ibrido modellistico-sperimentale. Tale approccio comporta la definizione di una campagna sperimentale tarata "ad-hoc" sulle potenzialità di diverse stazioni di prova, ovvero: (i) celle a bottone da 3 cm² con elettrodi di riferimento in grado di fornire dati elettrochimici sia su tutta la cella, sia sui singoli componenti; (ii) celle singole da 100 cm² sulle quali è possibile effettuare un'analisi gas sia in ingresso, sia in uscita dei compartimenti anodici e catodici. I dati raccolti saranno utilizzati per svolgere un'analisi modellistica basata sulla meccanica quantistica multi-scala mirata a definire energie di attivazione, conduttività ionica e resistenza alla diffusione per materiali e componenti.

La costruzione di un simile modello necessita di particolari competenze da acquisire, preferibilmente da parte di un gruppo universitario scelto ad hoc, in grado di sviluppare modelli multi-scala basati sulla meccanica quantistica e applicati a elettrolizzatori a carbonati fusi.

Questo permetterà da un lato di individuare con maggiore precisione la migliore finestra operativa per questa tecnologia, dall'altro di teorizzare formulazioni innovative per materiali e struttura dei componenti di una MCEC.

Output

- Realizzazione di un modello multi-scala basato sulla meccanica quantistica in grado di quantificare i principali fenomeni di degrado dei materiali costituenti le MCEC e teorizzare nuovi e più performanti materiali per andare oltre lo stato dell'arte [M18]
- Rapporto Tecnico sullo sviluppo del modello multi-scala [M22]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Analisi di Microscopia a Scansione Elettronica (SEM) per imaging semi-quantitativo

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.12 Valutazione delle prestazioni elettrochimiche di celle ad ossidi solidi operanti in modalità reversibile: quantificazione dei fenomeni di degrado e sviluppo strategie di mitigazione

Rif. Nr. Procedura: 1.1.12

Responsabile Accordo: Davide Pumiglia

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Importo: 75.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La seguente attività riguarda un'accurata quantificazione dell'impatto dei fenomeni di degrado che inficiano sulle prestazioni di celle ad ossidi solidi operanti in modalità reversibile; tale attività è di fondamentale importanza per correlare le prestazioni elettrochimiche a modifiche strutturali dei materiali costituenti, al fine di valutare possibili strategie di mitigazione. In particolare, la linea di attività si propone di sviluppare un modello di calcolo numerico che realizzi un'analisi semi-quantitativa di immagini SEM provenienti da campioni SOC pre/post-operazione per la valutazione di parametri quali porosità, dimensione media delle particelle e superficie attiva, che risultano di difficile quantificazione tramite le normali tecniche di caratterizzazione non distruttive.

A tal fine, è indispensabile avere immagini SEM di partenza le cui caratteristiche siano adatte ad un post-processing che escluda ambiguità nel riconoscimento delle fasi, soprattutto nelle zone di coesistenza bi/trifasica. Tali immagini sono ottenibili attraverso un detector specifico, un pretrattamento del campione ad-hoc, e la selezione di parametri di immagine opportuni per lo scopo, che prescindono dai normali requisiti per analisi SEM convenzionali.

Il beneficiario dovrà pertanto possedere idonei strumenti tecnici e competenze specifiche approfondite sull'analisi d'immagine di componenti per SOC.

Output

- Set di immagini SEM con le caratteristiche sopracitate, raccolte in un report tecnico contenente tutte le procedure sperimentali, i dettagli della strumentazione e i parametri di immagine utilizzati per ottenerle [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

***Caratterizzazione analitiche di materiali catalitici per la riduzione del carico di contaminanti
nella corrente di gas da gassificazione biomasse e frazioni biogeniche***

nell'ambito del

PNRR POR H2

***WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre
tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni***

***LA1.1.14_A Studio e sviluppo di gassificazione O₂/vapore in reattore a letto fluidizzato
internamente ricircolante***

Rif. Nr. Procedura: 1.1.14_A

Responsabile Accordo: Donatella Barisano

Responsabile LA: Donatella Barisano

Importo: 25.000,00 €

Durata: 34 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito di attività legate allo sviluppo di un processo di gassificazione di biomasse e frazioni biogeniche si intende individuare un partner accademico con esperienza nel campo della caratterizzazione e preparazione di materiali catalitici per impiego in processi di gassificazione e condizionamento della corrente di gas prodotta (syngas), da coinvolgere in attività finalizzate allo sviluppo di processi per la produzione di idrogeno di origine rinnovabile. I catalizzatori considerati nell'attività saranno utilizzati per la riduzione del carico di contaminazione organica, degli idrocarburi leggeri presenti nella corrente di syngas e per il condizionamento della sua composizione. Nell'ambito delle finalità dello studio si intende investigarne l'effetto sia in modalità *in-bed* (catalizzatori primari, inclusi nel letto di gassificazione) e sia in modalità *downstream* (catalizzatori secondari, in reattore a valle del gassificatore) sulla qualità del syngas prodotto. Partendo da un letto fluidizzato di solo materiale sabbioso, verranno testate miscele ottenute per aggiunta di materiali cataliticamente attivi, di basso valore commerciale e modificati, a diverso rapporto relativo per individuare i più efficaci. Per il trattamento secondario del syngas verranno utilizzati catalizzatori commerciali e di sintesi.

Per una valutazione comprensiva delle performance di processo, i materiali utilizzati verranno sottoposti a caratterizzazioni pre- e post-test (raccolti al termine della prova) al fine di verificarne eventuali modifiche occorse sotto l'azione delle condizioni operative di processo e individuazione di possibili fattori di disattivazione e avvelenamento. Allo scopo campioni rappresentativi dei materiali di interesse verranno inviati presso i laboratori della controparte per essere sottoposti ad analisi chimiche e morfologiche quali porosimetria, Diffrazione a Raggi X (XRD), Microscopia Elettronica a Scansione accoppiata ad analisi Raggi X a Dispersione di Energia (SEM/EDAX), Spettroscopia Raman accoppiata a microscopia ottica, Spettroscopia Infrarossa in Trasformata di Fourier (FTIR), Riduzione/Desorbimento/Ossidazione in Temperatura Programmata (TPRDO).

Per ciascun campione esaminato verrà prodotto e fornito ad ENEA il report dei risultati e discussione comparativa tra i materiali tal quale e i materiali raccolti a fine processo. Per i materiali di formulazione sperimentale, avvalendosi della propria comprovata esperienza sull'argomento, la controparte supporterà ENEA nell'individuazione di possibili formulazioni migliorative. Si prevede di sottoporre a caratterizzazioni una selezione di campioni di materiali pre- e post-test, in numero complessivo di circa venti, scelti tra quelli che risulteranno di maggior interesse rispetto alla qualificazione di processo. Tra i campioni da caratterizzare sarà incluso anche il materiale di riempimento del letto del gassificatore (campione tal quale e a valle di esercizio prolungato). La consegna dei campioni da caratterizzare avverrà con cadenza semestrale.

Output

- Rapporto dei risultati di analisi e caratterizzazione dei materiali catalitici [M10, M16, M22, M28, M34]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Progettazione di impianto prototipale per la gassificazione in reattore a letto fluidizzato a camere interconnesse completo di sezioni di condizionamento a valle

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.14_B Studio e sviluppo di gassificazione O₂/vapore in reattore a letto fluidizzato internamente ricircolante

Rif. Nr. Procedura: 1.1.14_B

Responsabile Accordo: Donatella Barisano

Responsabile LA: Donatella Barisano

Importo: 30.000,00 €

Durata: 32 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Il presente accordo è relativo ad attività per il supporto della progettazione e realizzazione di un prototipo avanzato di reattore di gassificazione basato sulla tecnologia del letto fluidizzato, ricircolante internamente, scala banco (taglia di riferimento 10 kWt, alimentazione: 1-3 kg/h di matrice). Sulla base di campagne di gassificazione condotte su matrici di diversa tipologia e in presenza di fasi attive, verranno valutate le prestazioni di un processo condotto in un reattore prototipale ENEA di specifica configurazione. Nell'ambito del presente Accordo di collaborazione, ENEA verrà supportata nell'individuazione dei parametri di processo e progettuali sui quali intervenire al fine di migliorare le prestazioni complessive, sia di conversione delle matrici in prodotto gassoso e sia della tecnologia. Partendo da dati sperimentali raccolti all'impianto preesistente e da dati sperimentali di impianti analoghi (gassificazione a letto fluidizzato ricircolante internamente) a disposizione del contraente, verrà sviluppato un modello di processo in grado di prevedere le prestazioni del sistema e la qualità del gas, sia in composizione sia in contaminanti (organici ed inorganici), al variare dei parametri di processo. Preliminarmente alla progettazione del reattore avanzato il contraente svolgerà uno studio di modellazione CFD per meglio individuare

soluzioni migliorative da implementare. Tali soluzioni riguarderanno la revisione del set up sperimentale del gassificatore prototipale, in termini di geometrie e configurazione interna. Saranno oggetto dello studio della revisione e ottimizzazione della configurazione reattoristica elementi geometrici quali: a) l'altezza del *freeboard*, b) l'alimentazione degli agenti gassificanti, c) la geometria interna delle camere di reazione, d) il posizionamento di addotti per l'immissione di agenti gassificanti secondari, e) il posizionamento e la modalità di alimentazione delle matrici.

La progettazione del reattore dovrà inoltre prevedere l'implementazione di un sistema di filtrazione gas ad alta temperatura direttamente nel *freeboard* del reattore. Al fine di realizzare una postazione di R&S flessibile e versatile, il lavoro di progettazione includerà l'accoppiamento del reattore di gassificazione ad un reattore ausiliario di pre-condizionamento e rigenerazione fasi attive solide (es. sorbenti, *gas-carrier* e catalizzatori) e relativa progettazione. Questo secondo reattore potrà essere operato sia in modalità batch sia in continuo per ricircolazione con il reattore di gassificazione. Per entrambi i reattori si farà riferimento ad esercizio ad alta temperatura (il reattore sarà progettato per resistere a gradiente di temperatura da ambiente fino a 1100 °C) e alla possibilità di alimentazione separata di vapore e di correnti gassose (es. O₂, N₂, CO₂, Ar). Entrambi i reattori dovranno poter essere eserciti anche in modalità allotermica tramite riscaldamento elettrico esterno. La potenza elettrica del sistema di riscaldamento esterno deve consentire l'esercizio anche per il sostentamento termico di processi endotermici.

Per rendere la postazione adatta a testare equipaggiamenti per il condizionamento del syngas prodotto, la progettazione includerà sezioni di purificazione gas (valutando differenti soluzioni per la depolverizzazione e la purificazione) e di condizionamento catalitico con possibilità di immissione di correnti ausiliarie (es. vapore, H₂, O₂, N₂, CO₂, CH₄).

Al fine di poter caratterizzare le prestazioni di processo e di impianto, si dovrà prevedere: a) punti di campionamento on-line della corrente gassosa prodotta (uscita reattori e ingresso/uscita unità di impianto a valle), b) sensori per la misura in continuo di temperatura e pressione sia all'interno dei reattori e sia lungo il *piping*, c) punti di campionamento *off line* per il prelievo di materiale del letto dei reattori.

Dallo studio e valutazioni progettuali verrà definito il progetto preliminare e quindi il progetto esecutivo per la realizzazione del reattore con l'emissione degli elaborati grafici, delle sezioni a valle, e definite le caratteristiche dei componenti di misura e controllo, dei componenti ausiliari della coibentazione, sulla base dei quali verrà poi espletata l'indagine di mercato per l'affidamento della realizzazione, che sarà supervisionata dai progettisti.

La progettazione deve includere la definizione delle caratteristiche del sistema di alimentazione al reattore delle matrici solide da processare (biomasse e frazioni biogeniche) con possibilità di variazione della portata e predisposizione con duplice punto di immissione delle matrici al reattore: all'interno del letto o sulla superficie dello stesso. Si dovrà considerare la possibilità di alimentare matrici con dimensioni nell'intervallo compreso tra alcune centinaia di μm e qualche cm.

Il reattore deve essere realizzato per quanto possibili con parti assemblate e non fisse, tutti i componenti impiantistici esterni al reattore devono essere realizzati separatamente e connessi in modo da consentire un facile accesso ad ognuno per manutenzioni e future sostituzioni.

L'attività di collaborazione sarà estesa anche alle fasi di realizzazione e collaudo dell'impianto prototipale e alla discussione con ENEA dei risultati sperimentali preliminari.

Output

- Rapporto tecnico su modellazione di processo e CFD [M10];
- Definizione di un progetto preliminare [M14];
- Relazione tecnica dettagliata per la definizione del progetto esecutivo [M18];
- Ampliamento dell'ingegneria di base e definizione dell'ingegneria esecutiva [M20];
 - Disegni esecutivi dei componenti progettati;
 - Diagramma di processo e strumentazione (P&ID);
 - Specifiche tecniche di componenti ed apparecchiature
 - Elenco strumentazione e segnali.

I disegni e gli elaborati devono essere prodotti in formato cartaceo ed elettronico (PDF e DWG), così come ogni altra specifica tecnica che dovesse rendersi necessaria per l'espletamento della procedura di affidamento della realizzazione.

- Rapporto tecnico di revisione del modello di processo a valle di esercizio impianto e risultati preliminare [M32]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Caratterizzazione analitiche di materiali sorbenti per il condizionamento della composizione di gas da gassificazione biomasse e frazioni biogeniche

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.14_C Studio e sviluppo di gassificazione O₂/vapore in reattore a letto fluidizzato internamente ricircolante

Rif. Nr. Procedura: 1.1.14_C

Responsabile Accordo: Donatella Barisano

Responsabile LA: Donatella Barisano

Importo: 25.000,00 €

Durata: 34 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Il presente accordo è relativo ad attività nel campo della preparazione e caratterizzazione di materiali sorbenti da coinvolgere in attività finalizzate allo sviluppo di processi per la produzione di idrogeno a partire da gassificazione biomasse e frazioni biogeniche. I sorbenti di interesse saranno utilizzati per il condizionamento delle correnti gassose prodotte.

Nel corso delle attività sperimentali si intende investigare l'azione di materiali per la cattura di anidride carbonica e promozione della reazione di *water gas shift* (WGS) sull'arricchimento in idrogeno della corrente di syngas prodotta. Allo scopo correnti reali verranno trattate con materiali contenenti CaO (es. dolomite calcinata), idrotalciti commerciali e materiali sperimentali e di questi se ne valuteranno le prestazioni in campagne di condizionamento syngas/rigenerazione sorbente.

Le valutazioni di prestazioni sui materiali verranno affiancate da caratterizzazioni chimiche e morfologiche finalizzate a delineare eventuali cambiamenti occorsi a valle del loro impiego e utili ad interpretare perdite di prestazioni. Allo scopo campioni rappresentativi dei materiali pre- e post-test verranno inviati presso i laboratori della controparte per essere sottoposti ad analisi

granulometrica, porosimetria, *Diffrazione a Raggi X* (XRD), *Microscopia Elettronica a Scansione* accoppiata a Raggi X a *Dispersione di Energia* (SEM/EDX), *Spettroscopia Infrarossa in Trasformata di Fourier* (FTIR).

Per ciascun campione esaminato verrà prodotto e fornito ad ENEA il report dei risultati e discussione comparativa tra i materiali tal quale e i materiali raccolti a fine processo. Per i materiali di formulazione sperimentale, avvalendosi della propria esperienza sul tema, la controparte supporterà ENEA nell'individuazione di possibili formulazioni migliorative.

Si prevede di sottoporre a caratterizzazioni una selezione di trenta campioni di materiali pre- e post-test scelti tra quelli che risulteranno di maggior interesse rispetto alla qualificazione di processo. Tra i campioni da caratterizzare sarà incluso anche il materiale di riempimento del letto del gassificatore. La consegna dei campioni avverrà con cadenza semestrale.

Output

- Rapporto dei risultati di analisi e caratterizzazione chimiche e morfologiche [M10, M16, M22, M28, M34]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sintesi e caratterizzazione di catalizzatori per il cracking di tar da gasificazione di biomasse

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA 1.1.15: Studio e sviluppo di sistemi di gassificazione delle biomasse ad alta efficienza

Rif. Nr. Procedura: 1.1.15

Responsabile Accordo: Nadia Cerone

Responsabile LA: Nadia Cerone

Importo: 60.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La seguente attività riguarda lo sviluppo di catalizzatori innovativi, non disponibili commercialmente, da utilizzare per il condizionamento del syngas proveniente dalla gasificazione a letto fisso delle biomasse. Presso il centro di ricerche della Trisaia, ENEA dispone di un impianto a cui è annessa una sezione catalitica operante con flussi di syngas di circa 1 Nm³/h e a cui sarà destinato il materiale prodotto. La composizione tipica del syngas ottenuto da prove di gassificazione di biomasse è: H₂ (24% -37%); CO (24% - 28%), CO₂ (20% - 27%) CH₄ (1%-2%); inoltre, nel syngas è presente il tar da 1 a 100 g/m³ e 10-300 g/m³ di vapor d'acqua.

La collaborazione consisterà nella sintesi, caratterizzazione e sperimentazione di catalizzatori non commerciali per la conversione del tar in gas incondensabili, in particolare H₂. Il catalizzatore dovrà essere attivo a pressione ambiente e temperature tipiche dei processi di gasificazione, circa 400-800 °C. Sarà richiesto di effettuare un confronto tra le prestazioni raggiungibili utilizzando diverse concentrazioni di metalli attivi, supporti e topologie e uno studio sulla durata del catalizzatore.

Output

- Rapporto tecnico "Sintesi e caratterizzazione dei catalizzatori provati con molecole modello del tar" [M12]

- Rapporto tecnico “Risultati preliminari delle prove di cracking del tar reale fornito dal committente” [M18]
- Fornitura di 10 dm³ di catalizzatore ottimizzato [M24]
- Rapporto tecnico finale [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

**Messa a punto di un processo elettrochimico per il trattamento dei reflui organici della
gasificazione delle biomasse con produzione di idrogeno.**

nell'ambito del

PNRR POR H2

***WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre
tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni***

**LA 1.1.16: Sviluppo di metodi elettrochimici per il trattamento dei reflui solidi e liquidi della
gasificazione con produzione di idrogeno**

Rif. Nr. Procedura: 1.1.16

Responsabile Accordo: Nadia Cerone

Responsabile LA: Nadia Cerone

Importo: 60.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La seguente attività riguarda lo sviluppo di tecnologie elettrochimiche atte a degradare i tar di un gasificatore a letto fisso, che sarà fornito da ENEA, con produzione di idrogeno gassoso e di molecole organiche a basso peso molecolare. In particolare, viene richiesto un supporto alla messa a punto di un prototipo del processo su scala banco operante in continuo, con una valutazione dell'efficienza energetica e delle rese.

Le attività comprenderanno la conduzione di test sperimentali finalizzati alla progettazione e l'assistenza alla messa a punto di un impianto in scala di laboratorio per realizzare un processo di elettrolisi per la rimozione del carico organico da residui di gassificazione delle biomasse e contemporanea produzione di idrogeno.

Il processo potrà essere realizzato con diverse configurazioni di impianto e tipologia di celle.

Dovranno essere valutate almeno le seguenti opzioni dal contraente:

- sistema costituito da uno o più stack di celle, in serie e/o in parallelo,
- celle divise o indivise
- sistemi a singolo passaggio o in ricircolo con riserve.

La configurazione finale sarà determinata in base ai risultati delle evidenze sperimentali e alle stime teoriche.

L'attività comprenderà una valutazione sperimentale dei parametri di processo (densità di corrente, alcalinità, idrodinamica); di impianto (configurazione delle singole celle e del sistema), dei catalizzatori e dei materiali (commerciali) da utilizzare.

Per determinare la configurazione ottimale dell'impianto, le singole unità saranno caratterizzate per determinare l'idrodinamica e il trasferimento di materia tramite tecniche stimolo - risposta e misure di corrente limite.

Le prestazioni in termini di abbattimento delle sostanze saranno valutate tramite prove di elettrolisi in diverse condizioni operative, utilizzando sia soluzioni sintetiche sia reflui forniti dalla committente. Tutte le diverse opzioni previste dovranno essere valutate sperimentalmente. Per misurare l'efficacia di abbattimento sarà utilizzato il parametro carico organico totale (come Total Organic Carbon, TOC) nelle diverse condizioni e lo sviluppo di idrogeno gassoso. Dall'analisi delle soluzioni trattate si dovrà valutare la formazione di molecole organiche a basso peso molecolare.

Dovranno essere valutati gli effetti della composizione del refluo sulle prestazioni del processo, con particolare riferimento a:

- contenuto di organico in ingresso
- presenza di solidi sospesi al variare dell'alcalinità
- presenza di metalli, in particolare con basso potenziale di riduzione

L'alcalinità nel sistema dovrà essere tale da massimizzare la solubilità dei Tar, il condizionamento degli elettroliti dovrà però essere garantito dai processi elettrochimici, minimizzando l'uso di reagenti esterni.

Le condizioni nel comparto o nella zona anodica dovranno essere ottimizzate in modo da evitare la formazione di polimeri e solidi, e/o la loro separazione dalla soluzione con formazione di precipitati e/o depositi polimerici.

Il sistema dovrà essere ottimizzato per ottenere idrogeno che non necessiti di purificazione all'uscita dal processo. Dovranno però essere valutate anche soluzioni differenti che compensino la necessità di unità di purificazione con considerevoli riduzioni della tensione di cella.

Sarà inoltre sviluppato un modello matematico agli elementi finiti del processo, che consentirà di valutare le performance del sistema al variare delle condizioni operative. Il modello integrerà le equazioni di bilancio di materia, di flusso e di conservazione della carica. La soluzione numerica

fornirà i profili spazio/temporali di concentrazione delle diverse specie coinvolte, di densità di corrente e di potenziale nelle celle.

Output

- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione delle celle [M12]
- Rapporto tecnico sui risultati preliminari delle prove di elettrolisi [M15]
- Rapporto tecnico sui risultati finali prove di elettrolisi [M18]
- Rapporto tecnico sulle specifiche di apparecchiature e materiali principali (celle, elettrodi, separatori, pompe, generatori di tensione/corrente) [M18]
- Rapporto tecnico sul layout finale del sistema [M21]
- Rapporto tecnico e fornitura del modello matematico [M21]
- Report finale [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Simulazione e modellazione di un reattore di gassificazione di biomasse residuali per la produzione di idrogeno verde intensificata mediante cattura di CO2 con sorbenti solidi

nell'ambito della linea di attività

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.17_A Sviluppo di materiali e processi per la produzione termochimica d'idrogeno da biomasse intensificata dalla separazione di CO2 mediante sorbenti solidi

Rif. Nr. Procedura: 1.1.17_A

Responsabile Accordo: Stefano Stendardo

Responsabile LA: Stefano Stendardo

Importo: 30.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La presente attività prevede la simulazione e modellazione di un reattore di gassificazione di biomasse residuali per la produzione di idrogeno verde intensificata mediante cattura di CO2 con sorbenti solidi (SEG, *Sorption Enhanced Gasification*). Il reattore dovrà operare ad una temperatura di circa 650 °C, in regime di letto fluido batch con una portata di biomassa non superiore a 1 kg/h ed una pressione assoluta di 10 bar. Il gas prodotto ricco di H2 (fino a 90% in vol. secco) verrà poi pulito e condizionato ad alta temperatura per mezzo di candele filtranti ceramiche catalitiche con il fine di rimuovere il particolato e convertire i tar presenti nel gas. Il gas pulito e ricco di idrogeno potrà quindi essere trattato con una unità di Pressure Swing Adsorption (PSA) o con un'unità a membrane (Pd ad esempio) così da ottenere una corrente di idrogeno puro.

Ogni modello numerico ha bisogno di validazione sperimentale prima di poter essere utilizzato come strumento per la progettazione. A tal proposito, e parallelamente alle attività numeriche, verranno richieste attività sperimentali su “modelli freddi” da condurre nei propri laboratori.

Output

- Rapporto tecnico sulla modellazione e simulazione di un processo SEG ad alta pressione [M24]
- Concept design di un prototipo SEG ad alta pressione [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Integrazione ottimale del processo di cattura (commerciale e/o avanzato) per la decarbonizzazione di impianti industriali (ad es., acciaierie e cementifici) su larga scala

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.17_B Sviluppo di materiali e processi per la produzione termochimica d'idrogeno da biomasse intensificata dalla separazione di CO2 mediante sorbenti solidi

Rif. Nr. Procedura: 1.1.17_B

Responsabile Accordo: Stefano Stendardo

Responsabile LA: Stefano Stendardo

Importo: 30.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Il presente Accordo di collaborazione mira a identificare l'integrazione ottimale del processo di cattura (commerciale e/o avanzato) per la decarbonizzazione di impianti industriali (ad es., acciaierie e cementifici) su larga scala estremamente energivori ed emissivi, e la produzione flessibile di energia a basse emissioni di carbonio. Sarà affrontata una prima selezione degli impianti e relativi processi di riferimento (*baseline plant configurations*) con e senza cattura di CO₂, da utilizzare come termini di confronto (*benchmark*) per le prestazioni tecniche ed economiche degli schemi di processo innovativi. Saranno definiti diversi processi e, per ogni configurazione, saranno valutati i bilanci di materia ed energia con particolare attenzione all'integrazione termica tra il processo di cattura di CO₂, l'industria energivora e la produzione di energia, ai fini di massimizzare il recupero energetico. Questa linea di attività utilizzerà i risultati ottenuti durante la prima annualità come dati di input per i modelli che verranno formulati.

Inoltre, si richiede la selezione di tecnologie di riferimento per i processi di decarbonizzazione sia nel settore industriale che in quello energetico con e senza cattura di CO₂, per confrontarli con i processi produttivi innovativi. La selezione dei casi di riferimento dovrà essere effettuata al fine di

stabilire una valutazione economica delle soluzioni proposte. Dovrà essere eseguita una descrizione termodinamica dettagliata degli impianti operativi. Le fonti di calore del sistema (e.g. impianti solari a concentrazione, forni, altoforni), così come gli utilizzi in funzione del livello termico (teleriscaldamento, generazione di vapore, ecc.) saranno identificati e quantificati. Verranno definiti gli indicatori tecno-economici (*key performance indicators*, KPI) utili ad un confronto tra le diverse opzioni tecnologiche. Ove necessario, all'interno di questa attività saranno modellate anche le configurazioni di riferimento per assicurare che lo stesso insieme di ipotesi venga utilizzato per valutare sia le configurazioni di impianto di riferimento sia quelle nuove.

Output

- Rapporto tecnico sulla modellazione e simulazione di processi industriali ed energetici integrati con tecnologie di cattura e riuso di carbonio [M24]
- Rapporto tecnico sulla valutazione economica degli impianti individuati nel primo rapporto tecnico [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Funzionalizzazione e caratterizzazione di biomassa e biochar per usi energetici

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA.1.1.18 Valorizzazione di materiali carboniosi prodotti da processi termochimici di lignine e plastiche

Rif. Nr. Procedura: 1.1.18

Responsabile Accordo: Elisabetta Borsella

Responsabile LA: Elisabetta Borsella

Importo: € 20.000,00

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Attività diretta alla caratterizzazione e funzionalizzazione di lignine e scarti plastici, e loro successiva derivatizzazione, per la formazione di biochar da utilizzare come materiale per elettrodi in celle elettrolitiche per la produzione di idrogeno e come materiale di supporto per catalizzatori impiegati in processi di gassificazione. Tale attività prevede:

- 1) Analisi fisico-chimiche dettagliate di polimeri strutturali isolati da biomasse, frazioni di componenti polifenoliche di biomasse, nonché selezionati polimeri sintetici destinati all'upcycling in forma di co-pirolisi con componenti di biomassa.
- 2) Descrizione dettagliata dei parametri strutturali in termini di i) composizioni di monomeri; ii) collegamenti tra tipi di monomeri; iii) pesi molecolari; iv) visualizzazione dei gruppi funzionali; v) reattività chimica; e iv) stabilità termica. L'acquisizione di tali parametri dovrà essere eseguita secondo lo stato dell'arte utilizzando ^{31}P NMR quantitativo, ^{13}C NMR quantitativo, misurazioni ^1H - ^{13}C HSQC quantitativo, analisi ATR-IR, analisi XPS, analisi ICP-EAS, misurazioni GPC e analisi pirolitica. I dati acquisiti dovranno essere interpretati in modo olistico e convertiti in un quadro strutturale dettagliato che consentirà la previsione delle caratteristiche del materiale prodotto.

- 3) Modifica chimica e biochimica dei biopolimeri secondo protocolli ben stabiliti, con attacco dei residui organici, eventualmente contenenti eteroatomi del gruppo 5. Esecuzione della derivatizzazione alternativa mediante incorporazione di sali contenenti metalli di transizione, metalli alcalini e metalli alcalino terrosi per mezzo di gruppi complessanti nei biopolimeri prima del processo di carbonizzazione. Caratterizzazione dei nuovi derivati, sia polimerici che oligomerici, utilizzando le tecniche di analisi descritte al punto 2).
- 4) Caratterizzazione dei biochar prodotti mediante l'utilizzo delle tecniche elencate già al punto 2) con l'aggiunta, dove richiesto, di MAS-NMR allo stato solido, analisi a raggi X e analisi BET.
- 5) Ulteriori modifiche dei biochar prodotti per conferire loro proprietà aggiuntive per il loro uso come materiali anodici nell'elettrolisi dell'acqua.
- 6) Eventuale conversione dei polimeri derivati dalla lignina in nanomateriali, e/o composizioni di nanomateriali, comprendenti i) nanoparticelle, ii) nanocapsule, iii) nanofibre e iv) loro combinazioni al fine di ottenere materiali complessi utilizzati in esperimenti di grafitizzazione per l'ottenimento del materiale di carbonio utilizzabile nel campo energetico.

Output

- Rapporto tecnico su dettagliate caratterizzazioni fisico-chimica e strutturale di componenti isolati di lignina [M18]
- Rapporto tecnico sulla modifica chimica mirata dei componenti della lignina e delle miscele lignina/plastica per la formazione di biochar con determinate caratteristiche [M30]
- Rapporto tecnico sulla mappatura iniziale delle caratteristiche dei biochar in funzione di: i) componenti della biomassa di partenza; ii) biopolimeri modificati; e iii) miscela di componenti della biomassa con polimeri sintetici [M30]
- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione fisico-chimica dei biochar realizzati [M30]
- Fornitura di materiali nanostrutturati sulla base di componenti di biomassa e componenti di biomassa funzionalizzate [M36].

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo, sintesi e fornitura di catalizzatori specifici per reattori di reforming elettrico e idrogassificazione di biomasse

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.19-20 Sviluppo di un processo di Steam Reforming elettrico & Produzione d'idrogeno mediante reforming e idrogassificazione di biomasse

Rif. Nr. Procedura: 1.1.19-20

Responsabile Accordo: Alberto Giaconia

Responsabile LA: Alberto Giaconia

Importo LA1.1.19: 80.000,00 €

Importo LA1.1.20: 80.000,00 €

Importo totale: 160.000,00 €

Durata: 18 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito delle suddette linee di attività l'ENEA dovrà realizzare e testare in laboratorio diversi prototipi di reattori per la produzione di idrogeno verde mediante reforming elettrificato e processi di idrogassificazione di biomasse. La specificità di tali processi richiede lo sviluppo e la fornitura di idonei catalizzatori in grado di operare efficacemente nelle condizioni previste dai processi. Sarà pertanto necessario affidare un incarico per l'approvvigionamento di idonei sistemi catalitici da integrare nei reattori prototipali da testare presso ENEA-Casaccia.

I catalizzatori di reforming dovranno essere depositati su supporti strutturati che permettano di massimizzare le prestazioni dei reattori, sia a bassa a bassa temperatura (<600°C) che ad alta temperatura (>700°C). Nel caso dello steam reforming elettrificato a bassa temperatura (eSR-LT, <600°C) dovranno essere applicati i risultati ottenuti in progetti precedenti coordinati dall'ENEA (progetti CoMETHy, RdS PTR 2019-21) in relazione alle caratteristiche dei sistemi catalitici e dell'integrazione con membrane. Nel caso dello steam reforming elettrificato ad alta temperatura

(eSR-HT, >700°C) verrà inoltre richiesto un sistema catalitico con riscaldamento elettrificato di tipo resistivo in diretto contatto con la matrice del catalizzatore strutturato, combinando così le funzioni di catalizzatore con quella superficie di scambio termico, senza la necessità di interposizione di materiali di accumulo termico (> 700°C, solidi refrattari, materiali a cambiamento di fase, ecc.). Il riscaldamento elettrificato sarà di tipo ohmico, e così come il volume catalitico e la sua geometria, sarà dimensionato per essere compatibili con le dimensioni dei reformer prototipali da realizzare in ENEA-Casaccia (200 Nlitri/ora d'idrogeno prodotto, con geometria mono-tubolare o a piastre piane).

I catalizzatori per il reattore di idrogassificazione dovranno essere tali da convertire in modo efficace materiali carboniosi di vario genere (da materiali omogenei "modello" a composizione nota fino al trattamento di campioni di biomasse residuali e frazioni biogeniche di rifiuti forniti da operatori nel settore) in metano mediante reazione con idrogeno. I catalizzatori dovranno permettere di massimizzare le rese in metano e al tempo stesso limitare o azzerare la formazione di potenziali co-prodotti nocivi, nelle condizioni operative di 250-550°C e 1-6bar. I catalizzatori così forniti verranno introdotti all'interno di un reattore di idrogassificazione con capacità di almeno 1 kg/giorno di materiale trattato, che verrà testato presso i laboratori di ENEA-Casaccia. Occorre inoltre che, durante la fase di design, il fornitore del catalizzatore fornisca indicazioni circa l'ottimale integrazione del sistema catalitico nell'idrogassificatore al fine di massimizzare la stabilità e la durata, e al tempo stesso favorire la separazione del catalizzatore stesso dal materiale solido residuo al termine della gassificazione.

Output LA1.1.19

- Report sulla definizione del sistema catalitico da integrare nei prototipi di idrogassificatore comprensivo di indicazioni riguardanti l'integrazione del reattore [M9]
- Report sulla definizione del sistema catalitico da integrare nei prototipi di reformer elettrificato (eSR-LT ed eSR-HT) comprensivo di caratterizzazione dell'attività catalitica [M9]
- Fornitura dei catalizzatori per reformer elettrificato eSR-LT da 200 Nlitri/ora [M18]
- Fornitura dei catalizzatori per reformer elettrificato eSR-HT da 200 Nlitri/ora [M18]

Output LA1.1.20

- Fornitura dei catalizzatori per reattore di idrogassificazione da 1 kg/giorno di solido trattato
[M6]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Valutazione di sostenibilità ambientale, tecnica ed economica del processo di idrogassificazione per la conversione di biomasse

nell'ambito del

PNRR POR H2

***WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre
tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni***

LA1.1.20 Produzione d'idrogeno mediante reforming e idrogassificazione di biomasse

Rif. Nr. Procedura: 1.1.20

Responsabile Accordo: Alberto Giaconia

Responsabile LA: Alberto Giaconia

Importo: 70.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della suddetta linea di Attività ENEA dovrà sviluppare un innovativo processo di produzione d'idrogeno basato sull'integrazione di una unità di idrogassificazione con sistemi di reforming alimentati con fonti rinnovabili. I risultati ottenuti in laboratorio su reattori prototipali verranno analizzati dal punto di vista tecno-economico (valutazione dei costi di produzione dell'idrogeno) e di sostenibilità di processo considerando un impianto di conversione di circa 10 ton/giorno di biomassa da rifiuto in uno scenario applicativo reale.

A tal fine occorrerà avvalersi della collaborazione con un gruppo di ricerca esperto in analisi di sostenibilità di processo e ciclo dei rifiuti, che utilizzi metodologie e strumenti avanzati a supporto dell'ottimizzazione del processo in prospettiva della sua applicazione in contesti Nazionali.

Output

- Rapporto tecnico sull'analisi preliminare del processo, basata bilanci di materia ed energia, a supporto della progettazione del prototipo [M18]
- Rapporto tecnico sull'analisi dei risultati sperimentali, scale-up e analisi tecno-economica e di sostenibilità (ciclo di vita) del processo integrato su scala commerciale per la

conversione di circa 10 ton/giorno di biomassa da rifiuto in uno scenario applicativo reale
[M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Produzione di H₂ da CO con WGS a bassa temperatura

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.21 Produzione plasmo-chimica di Idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 1.1.21

Responsabile Accordo: Nicola Lisi

Responsabile LA: Nicola Lisi

Importo: 80.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Sviluppo di un reattore catalitico di water gas shift (WGS) per la reazione di un flusso di monossido di carbonio (CO) con vapori di acqua (H₂O) e la sua conversione in idrogeno (H₂) e anidride carbonica (CO₂). Il reattore dovrà operare con un singolo stadio, con alta efficienza energetica (>85%), a bassa temperatura in ingresso (<200°C) e sarà ingegnerizzato per operare in uscita rispetto ad un sistema di dissociazione della CO₂ basato sull'impiego di plasmi e al sistema di separazione dei gas a valle dello stesso. La specificità di tale processo richiede lo sviluppo e la fornitura di idonei catalizzatori in grado di operare efficacemente nelle condizioni operative previste. Sarà pertanto necessario affidare un incarico per l'approvvigionamento di idonei sistemi catalitici da integrare nei reattori prototipali da testare presso ENEA-Casaccia.

I catalizzatori per la reazione di WGS dovranno essere depositati su supporti strutturati ad elevata conducibilità termica, che permettano di ottimizzare il "thermal management" del calore di reazione, massimizzando le prestazioni del reattore in termini di conversione di CO. Il reattore dovrà operare con un flusso di CO puro in ingresso e produrrà in uscita un flusso di H₂ e CO₂. Dovrà operare senza perdite di efficienza con flussi di CO a 1 l/minuto ma dovrà essere sviluppato in base ad una tecnologia scalabile a flussi maggiori e di interesse industriale.

Output

- Rapporto tecnico “Validazione del processo di conversione” [M30]
- Prototipo di reattore WGS per la generazione di H₂ operativo presso Casaccia [M30]
- Rapporto tecnico “Valutazione dell’efficienza complessiva del processo di conversione del CO in H₂” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di processi bioelettrochimici avanzati per la produzione di combustibili gassosi dal trattamento e la valorizzazione di matrici organiche di scarto

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.27 Sviluppo di processi di produzione biologica di idrogeno tramite fermentazione (dark fermentation) da reflui agro-industriali, inclusa l'applicazione delle scienze ohmiche per l'ottimizzazione del processo

LA 1.1.28 Sviluppo di tecnologie di celle elettrolitiche microbiologiche per la produzione di idrogeno dalla conversione dei sottoprodotti della fermentazione in un processo a cascata

WP2.1: Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica

LA2.1.8 Sviluppo di processi biologici "Power to Gas" per l'utilizzo dell'idrogeno verde per la conversione della CO2 contenuta nel biogas in CH4

Rif. Nr. Procedura: 1.1.27

Responsabile Accordo: Antonella Marone

Responsabile LA 1.1.27: Silvia Rosa

Responsabile LA 1.1.28: Antonella Marone

Responsabile LA 2.1.8: Antonella Signorini

Importo LA1.1.27: 50.000,00 €

Importo LA1.1.28: 90.000,00 €

Importo LA2.1.8: 90.000,00 €

Importo totale: 230.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'Accordo di collaborazione sarà indirizzato a quei laboratori di ricerca che abbiano comprovata esperienza nello studio di processi bioelettrochimici (BES), e che risultino in possesso di conoscenze e know how riguardanti attività di ricerca nell'ambito del trattamento di acque reflue e rifiuti

organici con simultanea valorizzazione in composti ad alto valore aggiunto, impiegando principi e metodologie propri dell'ingegneria chimica e delle biotecnologie industriali ed ambientali.

Il contraente dovrà possedere gli strumenti e le attrezzature necessari per svolgere la collaborazione in oggetto, ovvero laboratori attrezzati per lo studio e la conduzione di processi chimici e biologici mediante differenti configurazioni reattoristiche (PFR, CSTR, SBR, colonne impaccate, etc.) e volumetria, con comprovata esperienza nel passaggio tecnologico di scala (dalla scala di laboratorio alla scala micro-pilota o pilota), nonché di un appropriato comparto analitico per il monitoraggio e la caratterizzazione dei principali parametri di processo. Il contraente dovrà possedere una documentata attività di ricerca nell'ambito dello studio e dello sviluppo dei BES, ovvero processi innovativi e altamente versatili che sfruttano l'interazione tra microrganismi "elettricamente attivi" ed elettrodi polarizzati per l'ottenimento di reazioni di interesse. Il contraente dovrà, quindi, possedere anche una documentata conoscenza relativa agli aspetti metabolici e microbiologici che governano i processi BES.

Il gruppo di ricerca dovrà quindi comprovare la pregressa esperienza nell'ambito delle linee di attività oggetto della collaborazione documentandola mediante pubblicazioni scientifiche, partecipazione a progetti di ricerca nazionali ed internazionali, attività di formazione e didattica specifica sulle tematiche di interesse.

L'Accordo di collaborazione prevederà da parte del contraente la conduzione di test specifici nell'ambito delle linee tematiche indicate di seguito, nonché il supporto alle attività di ricerca condotte da ENEA nell'ambito della produzione di biocarburanti gassosi da scarti organici. Le attività di ricerca indicate nell'Accordo di collaborazione saranno distinte in tre sotto attività specificatamente indirizzate a:

Attività 1.1.27 - Supporto allo sviluppo della tecnologia innovativa di fermentazione elettrochimicamente assistita (EF), finalizzata a massimizzare la produttività di bioH_2 nel processo di Dark Fermentation di scarti organici. In tale ambito, la collaborazione prevederà il supporto diretto alle attività specifiche relative al punto LA1.1.27 mediante la conduzione di test in scala di laboratorio in diverse configurazioni reattoristiche e condizioni sperimentali, per identificare i principali parametri operativi (es. tipologia di elettrodi, potenziale applicato, tipo di inoculo) che consentono di selezionare ceppi microbici altamente efficienti nella produzione di bioH_2 . La collaborazione sarà anche indirizzata ad individuare i meccanismi coinvolti nel processo di EF al fine di identificare i parametri che consentono di effettuare un passaggio di scala della tecnologia. Nello

specifico, la collaborazione prevederà il supporto diretto alla realizzazione del piano sperimentale delle prove in oggetto, che includono la progettazione e conduzione dei test sperimentali, nonché la scelta delle migliori soluzioni impiantistiche e di controllo delle condizioni bioelettrochimiche.

Attività 1.1.28 - Sviluppo di tecnologie BES per la produzione di idrogeno verde mediante elettrolisi microbica. L'attività di collaborazione sarà focalizzata nel supporto allo sviluppo di celle di elettrolisi microbiche (MEC) per la produzione di H_2 dal trattamento di reflui contenenti carbonio organico di scarto. Il processo di elettrolisi microbica consente di recuperare parte dell'energia contenuta nelle acque reflue convertendola in idrogeno mediante l'ausilio di un circuito elettrochimico e l'applicazione di un potenziale esterno. L'attività di collaborazione, in particolare, prevederà il supporto diretto alle attività LA1.1.28 nelle diverse fasi di progettazione, realizzazione e ottimizzazione per la messa a punto di un processo continuo per la conversione bioelettrochimica della sostanza organica di scarto in $bioH_2$. La collaborazione prevederà una prima fase preliminare di affiancamento del personale di ricerca ENEA nella messa in opera delle apparecchiature necessarie alla conduzione dei diversi test. Dopo aver allestito le necessarie apparecchiature la collaborazione prevedrà l'attività di supporto alla fase di inizializzazione dei test presso le sedi ENEA con supporto diretto nei laboratori ENEA designati. L'attività di collaborazione si articolerà dunque nel supporto alla conduzione dei test in modalità continua e nell'analisi delle prestazioni ottenute dal processo elaborando i principali bilanci di materia e di energia.

Attività 2.1.8 - Supporto alle attività di sviluppo di processi BES finalizzati alla biometanazione della CO_2 , nell'ambito dell'attività LA2.1.8. La collaborazione prevista in questa attività prevederà il supporto alle attività svolte da ENEA nell'ambito della tematica "Power to Gas" ovvero nella metanazione della CO_2 di scarto derivante da processi produttivi e/o contenuta nel biogas. Mediante l'ausilio di un sistema BES è infatti possibile indirizzare la conversione di CO_2 in CH_4 da parte di microorganismi metanogeni stimolando la reazione di bioelettrometanogenesi. Tale processo costituisce un approccio innovativo per il riciclo della CO_2 e lo stoccaggio del surplus energetico derivante da fonti rinnovabili. Nell'ambito dell'attività di collaborazione, il soggetto contraente dovrà fornire assistenza durante le fasi di progettazione preliminare, reperimento e allestimento delle apparecchiature necessarie nonché nell'avvio e nella conduzione di prove di bioelettrometanogenesi in reattori continui. In particolare, l'attività di collaborazione potrà essere condotta su impianti e reattori già esistenti nei laboratori ENEA i quali saranno opportunamente

ricondizionati e riconfigurati per attuare lo studio sull'elettrometanazione biologica della CO₂. L'attività di collaborazione prevederà il supporto diretto alle attività di ENEA includendo l'affiancamento diretto del personale ENEA presso le proprie sedi durante le fasi di realizzazione avviamento e conduzione degli esperimenti in modalità continua.

Output LA1.1.27

- Rapporto Tecnico "Controllo della fermentazione attraverso strategie di *eco-engineering* ed elettrofermentazione" [M30]
- Rapporto Tecnico "Selezione di MMC tramite EF in funzione del potenziale applicato all'elettrodo, che varia le condizioni ossido-riduttive del mezzo di reazione (ORP)" [M36]

Output LA1.1.28

- Allestimento della piattaforma sperimentale [M6]
- Realizzazione su scala banco di un prototipo MEC [M6]
- Rapporto Tecnico "Produzione di bioH₂ nel corso dell'ottimizzazione dei parametri sperimentali della MEC" [M30]
- Rapporto Tecnico "Valorizzazione dei sottoprodotti della DF tramite MEC in relazione alla composizione degli effluenti" [M36]

Output LA2.1.8

- Prototipo per la configurazione BES [M6]
- Rapporto Tecnico "Test di biometanazione in situ con l'utilizzo di BES" [M18]
- Rapporto Tecnico "Processo di elettrometanazione in situ" [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Screening e coltivazione di specie microalgali di potenziale interesse per la produzione di idrogeno in bioreattori

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA 1.1.29 Produzione di idrogeno da microalghe: ingegneria genetica per aumentare la produzione di idrogeno nelle microalghe

Rif. Nr. Procedura: 1.1.29

Responsabile Accordo: Carlo Fasano

Responsabile LA: Carlo Fasano

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La seguente attività riguarderà lo studio di microalghe come fonte di produzione d'idrogeno. In particolare, si prevede di utilizzare le diatomee, un gruppo di microalghe per cui si stima esistano 100.000 diverse specie, responsabili della produzione del 20% dell'ossigeno che respiriamo. Le diatomee hanno una distribuzione ubiquitaria, le si ritrova infatti in tutti gli ambienti acquatici.

Negli ultimi anni molti progressi sono stati fatti al fine di caratterizzare la biologia di queste microalghe in grado di adattarsi a diverse e variabili condizioni ambientali.

Ad oggi numerose risorse genetiche e genomiche sono disponibili e recentemente sono stati messi a punto protocolli di ingegneria genetica per alcune specie. Questi strumenti permettono di regolare l'espressione di specifici geni e sono utilizzati sia per la caratterizzazione della funzione genica sia per il miglioramento di tratti specifici, ad esempio per la produzione di composti di interesse biotecnologico.

L'Accordo di collaborazione dovrà essere affidato ad un gruppo di ricerca con specifiche competenze nel sequenziamento ed analisi di genomi e trascrittomi, genomica funzionale, e ingegneria genetica di diatomee, presente in un istituto di ricerca internazionale con comprovata

esperienza in questo settore. Inoltre, Il centro di ricerca dovrà disporre di strumenti necessari all'ingegnerizzazione delle diatomee, ad esempio di un apparecchio per la trasformazione biolistica, e della possibilità di isolare e mantenere in coltura specie diverse di diatomea e microalghe in generale. In particolare, sarà necessaria la presenza di cappe batteriologiche, di celle ed incubatori adatti alla coltivazione di microalghe, di laboratori attrezzati per la biologia molecolare, di *facilities* per la microscopia ottica e confocale e possibilmente di supporto alle analisi bioinformatiche. Sarà considerato titolo preferenziale la possibilità di accesso a siti di campionamento in ambiente marino.

Descrizione dell'attività proposta per la collaborazione:

1. Screening di diverse specie di diatomee per individuazione dei ceppi più efficienti per la produzione di idrogeno. [M12]
2. Messa a punto delle condizioni ottimali di crescita, modificando nutrienti, luce e temperatura, su scala di laboratorio e, se opportuno, successive colture massive. [M18]
3. Identificazione degli enzimi chiave coinvolti nella biosintesi di idrogeno (idrogenasi, uptake-idrogenasi e nitrogenasi) in specie selezionate di diatomee e cianobatteri: analisi dei genomi e trascrittomi disponibili. [M18]
4. Miglioramento di diatomee per la produzione di idrogeno. Sovra-espressione, inattivazione o espressione eterologa dei geni coinvolti nel pathway della produzione di idrogeno. [M30]
5. Caratterizzazione molecolare e fenotipica delle linee ottenute per verificarne l'aumentata capacità di produzione di idrogeno. [M36]

Inoltre, il gruppo dovrebbe possedere le conoscenze per estendere lo screening per la produzione di idrogeno ai cianobatteri nel caso in cui le diatomee non diano risultati incoraggianti. È precisato anche che il valore aggiunto di questo progetto non è soltanto di natura tecnologica, ma anche di aumento della conoscenza della biologia di base di questi microrganismi. I risultati che si prevede di ottenere avranno ricadute importanti sia in termini di conoscenze scientifiche sia in termini di possibilità applicative in diversi settori della bioeconomia.

Output

- Rapporto Tecnico "Lista di specie/ceppi di microalghe e cianobatteri selezionati per la produzione di idrogeno" [M12]

- Rapporto Tecnico “Quantificazione della produzione di idrogeno dei microrganismi ingegnerizzati su scala di laboratorio” [M36]
- Rapporto Tecnico “Quantificazione della produzione di biomassa ed eventuali bio-prodotti ad alto valore aggiunto dei microrganismi ingegnerizzati su scala di laboratorio” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Progettazione di un prototipo di reattore a membrana operante ad alta temperatura

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.32 Splitting Termochimico dell'acqua

Rif. Nr. Procedura: 1.1.32

Responsabile Accordo: Silvano Tosti

Responsabile LA: Silvano Tosti

Importo: 50.000 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Le attività riguarderanno la progettazione di un prototipo di reattore a membrana operante ad alta temperatura (1800-2000 °C) con riscaldamento realizzato elettricamente. Il reattore a membrana è descritto in dettaglio nel brevetto ENEA (S. Tosti, A. Pozio, L. Farina, A. Santucci, "Processo a membrana per la produzione di idrogeno e ossigeno mediante idrolisi dell'acqua e relativo apparato", Domanda di brevetto per invenzione industriale in Italia n. 102020000023470 depositata il 06.10.2020). La portata di acqua di alimentazione è di 1 kg/h.

In particolare, verranno eseguite le verifiche termo-fluidodinamiche, i bilanci di materia ed energia ed il dimensionamento delle membrane con riferimento ai processi di trasporto di materia relativi alla permeazione selettiva dell'idrogeno e dell'ossigeno.

Tali verifiche verranno effettuate mediante modelli di simulazione numerica avanzata, sia per quanto riguarda lo studio dello scambio termico, che per l'analisi dei flussi di massa delle diverse specie coinvolte, al variare dei principali parametri operativi e di progetto del reattore. Saranno utilizzati strumenti di simulazione avanzata ed eventualmente sviluppati moduli specifici per la rappresentazione di aspetti caratteristici del processo in studio. L'analisi dovrà tenere conto delle particolari caratteristiche geometriche del sistema. A tal fine si valuterà l'esperienza maturata nella rappresentazione di sistemi con caratteristiche analoghe.

Output

- Rapporto tecnico relativo agli studi di modello dello scambio termico e dell'analisi dei flussi di massa delle diverse specie coinvolte al variare dei parametri operativi e di progetto [M18]
- Supporto alle attività di progettazione esecutiva del prototipo di reattore a membrana ed assistenza nella fase di costruzione e collaudo dello stesso [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di catalizzatori senza cobalto

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.1 Ricerca e sviluppo di elettrolizzatori avanzati (bassa e alta temperatura), o altre tecnologie innovative, per la produzione di idrogeno verde e a basse emissioni

LA1.1.36 Sviluppo di materiali e nanomateriali per idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 1.1.36

Responsabile Accordo: Nicola Lisi

Responsabile LA: Nicola Lisi

Importo: 75.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate alla sintesi di materiali inorganici da impiegare come catalizzatori in elettrolizzatori alcalini che siano privi di cobalto (Co-free), e non impieghino metalli del gruppo del platino (PGM-free). I catalizzatori andranno sviluppati in forma di polvere o altra struttura idonea ad essere deposta su supporti, o integrata con elettrodi (elettro-conduttivi) adatti all'utilizzo come anodi e catodi nell'ambiente alcalino. L'obiettivo è di fornire uno studio chimico-fisico che fornisca indicazioni fondamentali rispetto ai materiali da depositare con le tecniche della pirolisi assistita da plasma o da fiamma, oltre a mettere a confronto materiali prodotti con approcci e tecniche diverse.

Output

- Rapporto tecnico "Catalizzatori PGM-free Co-free caratterizzazioni strutturali e funzionali 1" [M24]
- Rapporto tecnico "Catalizzatori PGM-free Co-free caratterizzazioni strutturali e funzionali 2" [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Definizione di una matrice di casi studio per l'integrazione di sistemi reversibili (rSOC e/o rMCC) accoppiati con fonti rinnovabili, i quali saranno analizzati nel dettaglio mediante simulazioni dinamiche e successiva simulazione nell'ambito del

WP1.2 Ricerca, sviluppo e modellazione di tecnologie, componenti e sistemi di nuova generazione per applicazioni specifiche: feedstock per l'industria, trasporti, calore ed energia

LA1.2.2 Studio dell'integrazione di sistemi reversibili ad Ossidi Solidi o Carbonati Fusi con fonti rinnovabili

Rif. Nr. Procedura: 1.2.2

Responsabile Accordo: Massimiliano Della Pietra

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Importo: 60.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività di collaborazione si articolerà su due principali attività:

- 1) Definizione di una matrice di casi studio per l'integrazione di sistemi reversibili (rSOC e/o rMCC) accoppiati con fonti rinnovabili, i quali saranno successivamente analizzati nel dettaglio mediante simulazioni dinamiche. Ciascun caso studio dovrà essere definito sia lato produzione (sulla base di disponibilità di risorse FER) di energia rinnovabile, sia lato domanda di idrogeno / energia (sulla base dei profili di domanda di energia elettrica e/o termica, o delle caratteristiche d'impianto). Sulla base di una pre-analisi energetica (stimando i bilanci di massa ed energia con modelli di sistema black-box ad efficienza costante) verrà quindi definita una matrice di casi studio per diversi settori target e per diverse scale per i sistemi rSOC ed una matrice equivalente per i sistemi rMCC.
- 2) Simulazione dell'integrazione dei componenti rSOC e/o rMCC negli impianti integrati. Una volta definiti i dati di input dei casi studio (ottenuti dalla fase di scenario definition e dell'analisi dei casi studio) e i modelli di performance 0-D per il componente rSOC e/o rMCC sviluppato e calibrato da ENEA, alcuni dei casi studio identificati verranno implementati in un modello

globale di sistema in cui si andrà a simulare l'accoppiamento dei singoli componenti in relazione agli input/output. La simulazione di sistema – a seconda del caso studio – sarà analizzata in regime stazionario o dinamico, mediante l'uso di software di simulazione energetica rilevanti. A termine delle simulazioni saranno predisposti degli indici di performance (KPIs) idonei per andare a confrontare quantitativamente lo scenario proposto rispetto allo scenario ex-ante.

Per le attività sopracitate sarà necessario acquisire competenze in materia di integrazione di componenti e tecnologie idrogeno in sistemi complessi e competenze specifiche nel campo della modellazione di sistemi energetici con software rilevanti, oltre che il possesso di licenza accademica per software di rilevanza per la Linea di Attività quali ad esempio MATLAB, ASPEN HYSYS, etc. Sarà inoltre necessaria esperienza di integrazione di sistema con componenti ad idrogeno (elettrolizzatori/celle a combustibile).

Output

- Rapporto Tecnico: “Identificazione della matrice dei casi studio e selezione dei casi studio strategici per l'implementazione di sistemi elettrochimici reversibili ad alta temperatura (rSOC, rMCC)” [M6]
- Rapporto tecnico: “Realizzazione di un modello di performance zero-dimensionale a parametri concentrati per entrambi i sistemi rSOC e rMCC” [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Analisi e ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno, per diverse tecnologie ed in diverse configurazioni impiantistiche

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP1.3 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA1.3.3 Analisi e ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno, per diverse tecnologie ed in diverse configurazioni che prevedono l'integrazione con fonte solare

Rif. Nr. Procedura: 1.3.3

Responsabile Accordo: Claudia Bassano

Responsabile LA: Claudia Bassano

Importo: 30.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività sarà rivolta allo sviluppo di un apposito strumento informatico per l'analisi costi/benefici (costi/prestazioni) che porterà allo sviluppo di un modello di calcolo. Il modello sarà in un primo tempo arricchito con i dati, presenti ed attesi, per i diversi sistemi di produzione, con diverse tecnologie (e.g., elettrolisi, fotolisi, cicli termo-chimici), diversi lay-out progettuali e diversa potenzialità produttiva (economie di scala). Particolare attenzione sarà posta nella definizione di costi e benefici esterni al sistema analizzato.

Lo strumento informatico elaborato consentirà l'integrazione di tecnologie solari (i.e., fotovoltaico, solare a concentrazione, etc.) per la produzione di energia primaria, nonché la possibilità di studiare configurazioni on-grid (per il contesto italiano) e off-grid, con l'obiettivo di valutare anche gli effetti dell'applicazione del "principio di addizionalità" (per le fonti rinnovabili adottate) e dei criteri di "correlazione geografica e temporale" (tra la fonte rinnovabile ed il sistema di produzione dell'idrogeno) attualmente in discussione in ambito europeo.

Poiché l'ottimizzazione del costo di produzione può dipendere in misura significativa anche dalla presenza di sistemi di accumulo e dall'uso finale del vettore, lo strumento informatico terrà conto, in termini economici, anche della loro eventuale presenza. Il modello, inoltre, consentirà la valutazione delle prestazioni tecniche e dei costi di investimento e di esercizio specifici di tutti i componenti e sistemi.

Durante le analisi di ottimizzazione il modello verrà applicato ad almeno cinque tecnologie rappresentative tra quelle maggiormente emergenti in diversi ambiti di uso finale e potenziale produttivo. Ciascuna di queste tecnologie sarà anche studiata ed analizzata con uno o più sistemi di accumulo per individuare la configurazione che minimizza il costo di produzione dell'idrogeno, attraverso l'incremento del load factor degli elettrolizzatori.

Output

I risultati attesi consistono in indicazioni quantitative e tendenziali sull'ottimizzazione dei costi di produzione dell'idrogeno per le maggiori tecnologie emergenti (e.g., elettrolisi, fotolisi, cicli termochimici, ecc.), con diversi lay-out progettuali e diversa potenzialità produttiva (economie di scala).

- Rapporto Tecnico "Ottimizzazione delle configurazioni base per le principali tecnologie di produzione dell'idrogeno" [M12]
- Rapporto Tecnico "Ottimizzazione di configurazioni diverse da quella base per le principali tecnologie di produzione dell'idrogeno. Integrazione con sistemi di accumulo" [M30]
- Selezione e caratterizzazione di casi studio di utilizzo del vettore idrogeno di particolare rilevanza nel contesto italiano [M30]
- Rapporto Tecnico "Selezione delle migliori tecnologie e configurazioni per diversi profili di utilizzo del vettore idrogeno prodotto, nel contesto italiano [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Idrogeno nei modelli di ottimizzazione del sistema energetico italiano dell'ENEA

nell'ambito del

WP1.3 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA1.3.4 Analisi di sostenibilità ed elaborazione di scenari energetici relativi a processi di produzione di idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 1.3.4

Responsabile Accordo: Alessandro Agostini

Responsabile LA: Alessandro Agostini

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Realizzazione di un database tecno-economico per l'intera catena dell'idrogeno (produzione, distribuzione e stoccaggio fino all'utilizzo nella generazione di potenza e nei settori di uso finale), direttamente utilizzabile nel modello di ottimizzazione del sistema energetico italiano TIMES-Italia dell'ENEA e utile anche per modellare le tecnologie dell'idrogeno in un modello del sistema elettrico (basato sulla piattaforma PLEXOS) sviluppato in combinazione con il TIMES-Italia. Lo step di produzione dovrà includere le diverse alternative per la produzione di idrogeno grigio, blu, verde e prodotto sulla base di tecnologie elettrolitiche. Verranno inclusi gli stoccaggi di tipo sotterraneo e in serbatoio, e diversi step di trasporto e distribuzione prima del consumo. Il database dovrà considerare l'utilizzo diretto di idrogeno per la produzione di elettricità e nei settori 1) residenziale (micro-impianti di cogenerazione); 2) industriale per la produzione di acciaio, ammoniaca e metanolo; e 3) trasporto per l'utilizzo sia in mezzi di trasporto terrestri che per navigazione, aviazione e treni, oltre a consentire di indagare il potenziale di *sector coupling* dell'idrogeno. La modellazione dovrà includere l'iniezione di idrogeno nell'infrastruttura di trasporto e distribuzione di gas metano, e la produzione di carburanti sintetici a partire da idrogeno e da CO₂ catturata.

Output

Il prodotto finale dell'attività consisterà in moduli aggiuntivi del modello TIMES-Italia e nella caratterizzazione delle tecnologie dell'idrogeno secondo la logica PLEXOS, al fine di produrre analisi dettagliate del ruolo dell'idrogeno nel sistema energetico italiano sul lungo termine fino al 2050, valutandone le potenzialità tramite analisi di scenario. I moduli aggiuntivi saranno aggiornati, consegnati e testati annualmente [M12, 24, 36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Attività di formazione sulle tecnologie per la produzione di idrogeno

nell'ambito del

WP1.3 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per la produzione di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA1.3.5 Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie di produzione idrogeno. Organizzazione di Summer School tematiche

Rif. Nr. Procedura: 1.3.5

Responsabile Accordo: Paola Gislon

Responsabile LA: Paola Gislon

Importo: 60.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La transizione energetica richiede indubbiamente investimenti, oltre che nello sviluppo tecnologico, anche in azioni di crescita culturale rivolte ai cittadini, cui dev'essere fornita l'opportunità di aggiornare e riqualificare le proprie conoscenze sugli argomenti più innovativi.

Di assoluto rilievo è favorire la divulgazione, l'istruzione e la formazione a tutti i livelli per sviluppare un'ampia base di conoscenze sulle potenzialità dell'utilizzo dell'idrogeno e di competenze specifiche sulle tecnologie e usi finali ad esso collegati. Per la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno su larga scala è necessario supportare la crescita e formazione di figure professionali. Gli obiettivi principali sono:

- fornire accesso a conoscenze professionali e abilità pratiche di alta qualità nell'area delle tecnologie della produzione di idrogeno;
- formare una forza lavoro adeguata e capace per costruire e mantenere una catena del valore competitiva dell'idrogeno pulito e far crescere l'industria emergente della produzione di idrogeno.

Per tali ragioni è richiesta una collaborazione con un istituto universitario, con provata esperienza nei processi elettrochimici e termochimici, che dovrà provvedere a organizzare corsi, eventi, sessioni di apprendimento pratico e materiali didattici relativi alla tecnologia della produzione di idrogeno.

Nello specifico l'università dovrà occuparsi di:

- sessioni tematiche all'interno di master universitari;
- corsi specifici sul tema delle tecnologie di produzione idrogeno, basandosi su un'esperienza consolidata sulla tematica in oggetto;
- realizzazione di pacchetti di formazione con prodotti audio-visivi sulla tematica specifica;
- individuare modalità interattive di approccio alla tematica della produzione di idrogeno con intento di formazione di studenti e operatori del settore.

In particolare, i risultati attesi sono:

- Definizione programmi di formazione
- Organizzazione di sessioni tematiche di master universitari dedicati alla tematica idrogeno e tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels;
- Organizzazione di eventi, corsi e piattaforme di diffusione di prodotti di formazione scolastica e professionale.
- Organizzazione di eventi, corsi e piattaforme di diffusione di prodotti di formazione universitaria e postuniversitaria.

Output

- Rapporto tecnico "Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per la produzione di idrogeno 1° anno" [M6]
- Rapporto tecnico "Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per la produzione di idrogeno 2° anno" [M18]
- Rapporto tecnico "Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per la produzione di idrogeno 3° anno" [M30]
- Rapporto tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sul tema della produzione di idrogeno" [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Attività sperimentale di sintesi catalitica selettiva di e-cherosene

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.1 Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica

LA2.1.1 Attività sperimentale di sintesi catalitica selettiva di e-cherosene e sviluppo di modelli per la produzione di e-jetfuel nel contesto nazionale

Rif. Nr. Procedura: 2.1.1

Responsabile Accordo: Claudia Bassano

Responsabile LA: Claudia Bassano

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'Accordo consiste nella fornitura di un servizio volto allo sviluppo di un innovativo processo catalitico eterogeneo a singolo stadio in grado di convertire miscele CO₂ e idrogeno verde (prodotto da elettrolisi di acqua) in combustibili liquidi per applicazioni aeronautiche (e-jetfuel/e-cherosene). Allo scopo, dovranno essere sviluppati catalizzatori bifunzionali, in grado di catalizzare sia reazioni di crescita della catena carboniosa a partire da miscele di H₂/CO₂ (sintesi di *Fischer-Tropsch* modificata), che reazioni di *hydrocracking* della frazione idrocarburica pesante (le cd. cere) formatasi a seguito delle reazioni di crescita di catena. Obiettivo del processo da sviluppare sarà infatti quello di produrre, in un singolo stadio reattivo, una miscela di idrocarburi liquidi direttamente utilizzabile come combustibile per applicazioni aeronautiche senza la necessità di trattamenti con ulteriori stadi reattivi.

Il contraente sarà incaricato della parte sperimentale del progetto, e dovrà fornire ad ENEA tutti i dati necessari alle attività di simulazione di processo, fondamentali per la messa a punto del processo. Più nel dettaglio, al contraente verrà richiesto:

1. di partecipare al design ed al *commissioning* di un impianto prototipale di laboratorio (in grado di operare 24/7, anche in assenza di operatori, con una quantità di catalizzatore

dell'ordine dei grammi) adatto alla realizzazione delle attività oggetto della ricerca, contribuendo alla definizione dei requisiti di layout all'identificazione dei possibili fornitori e alla stesura del bando di gara;

2. della sintesi e della caratterizzazione chimico fisica di catalizzatori adatti al processo;
3. di effettuare, presso la propria sede, il collaudo dell'impianto prototipale di cui al precedente punto 1;
4. di effettuare test catalitici, impiegando l'impianto di laboratorio di cui ai precedenti punti 1 e 3 e i catalizzatori di cui al precedente punto 2, che dimostrino la fattibilità del processo di produzione di un e-combustibile per aviazione.

Il collaboratore dovrà dunque essere in grado di effettuare test catalitici e misure della composizione dei prodotti:

- a) della reazione di *Fischer-Tropsch modificata* per la conversione di miscele H_2/CO_2 a miscele idrocarburiche ad alto peso molecolare, utilizzando catalizzatori (da sintetizzare a cura del contraente) a base di ferro e/o cobalto;
- b) della reazione di *hydrocracking*, in cui lunghe catene idrocarburiche vengono scisse in componenti più leggeri sfruttando catalizzatori (commerciali o da sintetizzare a cura del contraente) di tipo zeolitico;
- c) della reazione derivante dalla "somma" della sintesi di *Fischer-Tropsch modificata* e di *hydrocracking*. Per quest'ultimo punto, le funzionalità catalitiche dovranno essere introdotte nel reattore sia come miscela meccanica di due catalizzatori distinti (catalizzatore *Fischer-Tropsch* modificato e catalizzatore di *hydrocracking*), sia sotto forma di catalizzatore ibrido bifunzionale. Tutti questi catalizzatori dovranno essere sintetizzati a cura del contraente.

Impiegando i dati sperimentali ottenuti sulla migliore formulazione ibrida, il contraente dovrà altresì sviluppare un modello cinetico semplificato, in grado di descrivere sia la velocità di scomparsa dei reagenti, che la distribuzione dei prodotti di reazione al variare delle condizioni operative. Tale modello dovrà essere adatto all'implementazione, da parte di ENEA, in un simulatore di processo commerciale.

Da ultimo, il collaboratore affiancherà ENEA nel design preliminare di un reattore appropriato per la conversione catalitica di miscele H_2/CO_2 a e-cherosene a TRL maggiore o uguale a 5.

Affinché quanto sopra possa essere realizzato con successo, il contraente dovrà quindi avere una documentata esperienza nei seguenti campi:

- Design di impianti alla scala di laboratorio per la conversione catalitica di miscele concentrate di H_2/CO_x a pressioni fino a 30 barg;
- Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori eterogenei per la conversione di CO_x a e-fuels, possibilmente a base di Cobalto e/o Ferro;
- Conduzione di test catalitici di conversione di miscele concentrate di H_2/CO_x a miscele idrocarburiche nel range di pressione 0-30 barg. Tali test dovranno essere eserciti in continuo, e avranno durate dell'ordine delle centinaia di ore;
- Analisi mediante gas cromatografia on-line e off-line di miscele idrocarburiche complesse;
- Modellazione cinetica dei dati sperimentali ottenuti;
- Simulazione di reattori catalitici, così da descrivere il comportamento materiale e termico degli stessi.

Output

- Rapporto tecnico sul design di un impianto prototipale di laboratorio per la produzione di e-jetfuels da miscele concentrate di H_2/CO_2 [M6]
- Installazione e collaudo di un impianto prototipale di laboratorio presso la propria sede operativa [M6]
- Rapporto tecnico sulla produzione di cherosene da miscele H_2/CO_2 utilizzando miscele meccaniche di catalizzatori per la sintesi di *Fischer-Tropsch* modificata e di *hydrocracking* [M18]
- Rapporto tecnico sulla produzione di e-cherosene da miscele H_2/CO_2 utilizzando catalizzatori innovativi bifunzionali [M30]
- Rapporto tecnico sul modello cinetico sviluppato e sul design preliminare di un reattore alla scala pilota per la produzione di e-cherosene da miscele di CO_2 e idrogeno verde [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di metodologie sintetiche per la sintesi e caratterizzazione di catalizzatori bifunzionali per l'idrogenazione di CO₂ a DME

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.1 Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica

LA2.1.2 Processi innovativi di produzione di DME mediante la conversione catalitica della CO₂ e idrogeno elettrolitico

Rif. Nr. Procedura: 2.1.2

Responsabile Accordo: Rosanna Viscardi

Responsabile LA: Rosanna Viscardi

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della linea di attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per lo sviluppo di nuove metodologie sintetiche per la preparazione e caratterizzazione di materiali bifunzionali innovativi per l'idrogenazione di CO₂ a DME. L'attività della prima fase riguarderà l'assemblaggio di un piccolo impianto su scala laboratorio, capace di operare a pressioni moderate (fino a circa 10 bar) per la produzione di DME a partire da metanolo e/o direttamente da CO₂ e H₂, necessario per lo screening iniziale dei materiali preparati. La reazione sarà promossa in presenza di uno dei catalizzatori eterogenei supportati su una matrice acida solfonica. Parallelamente si inizierà lo studio per permettere lo "scale up" del processo di preparazione del catalizzatore acido per il sistema catalitico eterogeneo fino a diverse decine di grammi.

Le attività della seconda parte del progetto riguarderanno gli aspetti sintetici di preparazione dei materiali prodotti, in particolare circa la messa a punto della tecnica migliore per la preparazione del letto catalitico nel caso della reazione condotta in un singolo reattore. Inoltre, saranno sviluppati due strategie complementari dal punto di vista impiantistico per poter sviluppare un processo in grado di effettuare in sequenza i due distinti passaggi per la conversione del gas di sintesi a DME. La

prima prevede l'utilizzo di due (micro)reattori in serie, di cui il primo impaccato con il catalizzatore che promuove la sintesi del metanolo da syngas mentre il secondo riempito con il materiale che promuove la disidratazione del metanolo a DME. Il secondo approccio prevede di sviluppare un metodo che permetta invece l'utilizzo di un unico reattore, in cui l'impaccamento dello stesso sia stato effettuato con entrambi i catalizzatori. Questa parte delle attività può permettere di ottenere delle condizioni di processo più semplici da controllare, avendo un corrispondente schema di impianto più semplificato, ma presenta al contempo un numero maggiore di punti da tenere sotto controllo per garantire la riuscita delle due reazioni.

La terza parte del progetto è basata sull'utilizzo di un unico materiale disegnato in modo che si comporti come un catalizzatore bifunzionale. Sulla base dei risultati ottenuti studiando i catalizzatori utilizzati singolarmente nei due step reattivi, è possibile prevedere di preparare un catalizzatore eterogeneo decorato con due distinti tipi di siti catalitici. I materiali ibridi polifunzionali possono essere ottenuti attraverso diverse strategie per la loro preparazione, quali la preparazione di ossidi metallici mesoporosi, sia utilizzando templanti hard o soft, e la sua funzionalizzazione tramite derivatizzazione dei silanoli superficiali. Una strategia complementare riguarda la possibilità di usare resine solfoniche, anche perfluorurate alle quali legare atomi metallici quali rame o zinco per ottenere i corrispondenti sali metallici immobilizzati. Una volta individuato il candidato più promettente, tale sistema catalitico bifunzionale sarà testato per accertarne la stabilità nel tempo e il suo riutilizzo per poter permettere un elevato numero di cicli catalitici.

L'ultima parte del progetto riguarda la preparazione di materiali eterogenei attraverso la più moderna sintesi meccano-chimica. L'opportuna ottimizzazione dei parametri del processo meccano-chimico può conferire ai materiali così preparati delle caratteristiche particolari quali la nanocristallinità, arrivando a controllare la precisa dimensione media delle particelle ottenute, e la presenza di alte concentrazioni di "defects", che sono spesso fondamentali per i processi catalitici. Lo studio dell'effetto di queste particolari morfologie verrà approfondito per riuscire ad individuare un materiale catalitico di seconda generazione che sia in grado di migliorare ancora le performance del processo. Verranno quindi valutate sia diverse taglie medie delle particelle sia la riduzione della quantità di fase attiva. Questi punti permetteranno di disperdere le fasi attive in matrici resistenti e a minor costo, riducendo il consumo di specie preziose a tutto vantaggio della sostenibilità economica ed ambientale del processo stesso.

Output

- Rapporto Tecnico "Scale-up del processo di sintesi di catalizzatori acidi per la sintesi diretta del DME" [M12]
- Rapporto Tecnico "Studi delle metodologie sintetiche con controllo dei relativi parametri per la sintesi di catalizzatori bifunzionali per l'idrogenazione di CO₂ a DME" [M24]
- Rapporto Tecnico "Sviluppo di catalizzatori bifunzionali per la sintesi diretta del DME" [M30]
- Rapporto Tecnico "Studi preliminari di materiali catalitici innovativi preparati con la sintesi meccano-chimica" [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sintesi e caratterizzazione di zeoliti semipermeabili all'acqua

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.1 Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica

LA 2.1.3 Sviluppo di reattori a membrana per la sintesi di metanolo e altri e-fuel

Rif. Nr. Procedura: 2.1.3

Responsabile Accordo: Nadia Cerone

Responsabile LA: Nadia Cerone

Importo: 90.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Si chiede una collaborazione scientifica per lo sviluppo di materiali innovativi, non disponibili commercialmente, da utilizzare per la costruzione di membrane come parte di un reattore per la sintesi di metanolo e altri fuel da miscele di syngas, H₂ /CO /CO₂. La scala della sperimentazione sarà di circa 0.1-0.2 Nm³/h di syngas. La progettazione e la realizzazione delle membrane supportate sarà concordata ed approvata dal committente per assicurare la compatibilità del manufatto.

La collaborazione consisterà nella sintesi, caratterizzazione e sperimentazione di zeoliti operanti alle temperature e pressioni tipiche delle sintesi Fisher Tropsch che sono circa 180-220°C, 30-40 bar. Dovranno essere selezionate e sintetizzate membrane zeolitiche, stabili nelle condizioni di reazione e selettive alla permeazione di acqua e/o altri prodotti di reazione. Tali materiali potranno essere supportati su un inerte poroso, per esempio tubi di allumina.

In particolare, sarà richiesto di effettuare un confronto tra le prestazioni raggiungibili utilizzando diverse geometrie e diverse composizioni della miscela reattiva.

Output

- Rapporto tecnico "Sintesi e caratterizzazione delle zeoliti semipermeabili" [M12]
- Rapporto tecnico "Risultati preliminari prove di permeabilità" [M18]

- Rapporto tecnico “Test di permeabilità su supporti inerti in condizioni di reazioni prossime a quelle di esercizio di un impianto sperimentale da 0.1-0.2 Nm³/h” [M18]
- Fornitura di membrane realizzate per essere allocate nel reattore del committente [M24]
- Report finale [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Messa a punto, sviluppo e realizzazione di sensori chimici per il controllo ed il monitoraggio distribuito della rete.

PNRR POR H2

WP2.2 Ricerca e sviluppo di soluzioni per il trasporto, distribuzione e usi finali dell'idrogeno nelle reti del gas naturale

LA 2.2.1 Messa a punto, sviluppo e realizzazione di sensori chimici per il controllo ed il monitoraggio distribuito della rete

Rif. Nr. Procedura: 2.2.1

Responsabile Accordo: Tiziana Polichetti

Responsabile LA: Tiziana Polichetti

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La collaborazione ricercherà nuove soluzioni tecnologiche a basso consumo energetico per la rilevazione di idrogeno, in grado di limitare la temperatura operativa del circuito e la produzione di archi elettrici, possibili cause di innesco di incendi.

In particolare, sarà progettato e simulato un circuito passivo, privo di batteria, in grado di rilevare la presenza di idrogeno a temperatura ambiente e di trasmettere l'informazione desiderata tramite un sistema wireless, evitando l'introduzione di cablaggi e dispositivi attivi nell'ambiente di misura.

Le attività coinvolgeranno un organismo di ricerca che opera nel dominio applicativo ICT e progetta e realizza servizi/prodotti con caratteristiche innovative, nella ricerca e sviluppo di un sistema RFID in banda UHF in grado di fornire informazioni sulla presenza di gas. La rilevazione dell'idrogeno avverrà utilizzando materiali sensibili sviluppati dall'ENEA, integrati nel circuito dell'etichetta RFID (tag) opportunamente reingegnerizzata per comunicare la presenza del gas ad un interrogatore isolato dall'ambiente di misura. Lo scenario di monitoraggio sarà disseminato di sensori totalmente passivi, letti con una cadenza temporale prefissata e/o alla generazione di un evento/allerta da parte del sistema centralizzato di controllo.

Attività prevista:

1.1) Progettazione e realizzazione di un circuito su PCB idoneo alla misurazione di impedenza del materiale sensibile depositato tra 2 piazzole (in banda UHF tramite analizzatore vettoriale): l'attività prevede la progettazione e la realizzazione di un circuito di test per la misura di impedenza in banda UHF, dotato di due piazzole per la deposizione di una quantità predefinita del materiale sensibile; tale misura deve consentire di rilevare la presenza di idrogeno, validando il principio di funzionamento del sensore.

1.2) Test di impedenza in banda UHF, in camera climatica a temperatura e umidità controllate, dei materiali sensibili sviluppati da Enea: l'attività sarà articolata in diverse letture in condizioni di umidità e temperatura controllate, consentendo di valutare l'affidabilità e la sensibilità dei dispositivi.

1.3) Progettazione e simulazione in ambiente full-wave di un tag passivo, funzionante in banda UHF e realizzabile con tecnologie a basso costo: si progetterà una etichetta ("tag") passiva operante in banda UHF prestando particolare attenzione a limitarne i costi. Il circuito viene validato mediante un software per la simulazione full wave, che consente di misurare le performance del dispositivo in ambiente simulato.

1.4) Progettazione e simulazione del carico collegato all'antenna del tag comprendente il materiale sensibile e relativa riottimizzazione del design dell'intero transponder tramite software per analisi degli elementi finiti (COMSOL multiphysics): tale attività integra il punto 1.3 con un modello simulato del carico, includendo il materiale sensibile all'idrogeno. L'aggiunta di una nuova impedenza richiede un'ottimizzazione del circuito per assicurarne la funzionalità e limitare la degradazione delle performance causate dalla presenza del nuovo elemento.

1.5) Generazione dei CAD di progetto e prototipazione del tag: tale punto prevede l'esportazione e la consegna dei files di progetto in formato CAD, necessari per la produzione. In questa fase verranno anche sviluppati dei prototipi di tag secondo i CAD generati.

2.1) Sviluppo del software e del firmware per il setup di lettura RFID UHF in grado di gestire l'acquisizione dei parametri di interesse: il tag prodotto, in quanto dispositivo prototipale, non potrà essere testato con un semplice lettore RFID. Sarà necessario dunque un setup di misura progettato e realizzato ad hoc, opportunamente programmato e settato per fornire informazioni relative alle concentrazioni d'idrogeno rilevate attraverso una misura di scattering in banda UHF. Ci si occuperà della scrittura del firmware e delle modifiche software degli strumenti di laboratorio, predisponendo il setup di misura dopo un attento studio dei fenomeni fisici coinvolti.

Le attività preliminari verteranno sulla configurazione della strumentazione (lettore rfid, generatore di segnale in banda UHF, analizzatore di spettro, ecc), il posizionamento delle antenne e dei dispositivi sotto test utilizzando supporti per i tag con caratteristiche elettromagnetiche idonee a non inficiare la misura, salvataggio dei dati su dispositivi di storage.

2.2) Test di lettura RFID in banda UHF del tag sviluppato e sua caratterizzazione in ambiente controllato e in assenza di gas: le attività riguarderanno diversi prototipi disposti in diverse posizioni e con diversi segnali di interrogazione, registrando contemporaneamente i parametri atmosferici di interesse. Per una migliore comprensione del comportamento del sensore in scenari reali, si procederà a test del tag in camera climatica con rampe in temperatura e umidità programmabili.

2.3) Caratterizzazione del tag per diverse concentrazioni di idrogeno, nei laboratori ENEA: in questa fase si procederà ai test all'idrogeno con un setup di misura opportunamente modificato e riadattato ai laboratori ENEA. Il tag sarà sottoposto a diverse concentrazioni di idrogeno e saranno registrati i dati della camera ad ambiente e concentrazione di gas controllato insieme ai dati provenienti dal tag sperimentale sotto test.

2.4) Analisi dei dati e reportistica finale: tutti i dati ottenuti saranno oggetto di studio e analisi, dalla loro interpretazione scaturirà una caratterizzazione del sensore e una serie di sviluppi e ottimizzazioni futuribili.

Output

- Rapporto Tecnico “Progettazione del sensore di idrogeno [M12]
- Rapporto tecnico “Progettazione del sistema per il reading dei dati dal sensore” [M12]
- Realizzazione del prototipo del sensore [M24]
- Rapporto Tecnico “Validazione funzionale e prestazionale” [M36]
- Rapporto Tecnico “Identificazione delle criticità e dei criteri di ottimizzazione” [M36]
- Rapporto Tecnico “Ottimizzazione del sistema” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

***Analisi del ciclo di produzione dell'ammoniaca verde e del suo utilizzo come carrier dell'idrogeno
nell'ambito del***

PNRR POR H2

***WP2.3 Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali
solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica***

***LA2.3.1 Stoccaggio dell'idrogeno sotto forma di ammoniaca con integrazione di vettori termici
ed elettrici rinnovabili***

Rif. Nr. Procedura: 2.3.1

Responsabile Accordo: Alberto Giaconia

Responsabile LA: Alberto Giaconia

Importo: 30.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della Linea di Attività LA2.3.1 l'ENEA dovrà studiare il ciclo integrato di produzione di ammoniaca verde quale mezzo di stoccaggio e trasporto dell'idrogeno. Tale studio comprende l'analisi di diversi aspetti: (i) il riadattamento del processo di sintesi dell'ammoniaca per essere alimentata da idrogeno prodotto con impianti di elettrolisi da fonti spesso intermittenti e non programmabili; (ii) applicazione di opportuni sistemi di generazione di azoto; (iii) il trasporto dell'ammoniaca su media e lunga distanza; (iv) il processo di rigenerazione dell'idrogeno dalla decomposizione dell'ammoniaca in idonei reattori; (v) l'intensificazione del processo, con efficaci recuperi termici ed elettrici che permettano di massimizzare l'efficienza dell'intero ciclo.

A tal fine l'ENEA intende avvalersi della collaborazione con un gruppo di ricerca avente consolidata esperienza nei processi di cui sopra. La collaborazione prevede, in particolare, i seguenti obiettivi:

- 1) Definizione di processi produttivi per ammoniaca "verde" che utilizzano idrogeno, sia elettrolitico sia di altra origine, ma prodotto interamente da fonti rinnovabili.
- 2) Collaborazione alla costruzione di modelli sulla piattaforma software Aspen+ con integrazione di tutti i processi necessari alla produzione di idrogeno e azoto nelle proporzioni richieste e con una particolare attenzione a tutte le possibili integrazioni energetiche e di flussi di massa

al fine di ottimizzare l'efficienza termica ed elettrica dell'intero processo produttivo in condizioni nominali di funzionamento.

- 3) Sviluppo di metodi per il calcolo off-design e di transitorio energetico dei processi prescelti nella fase 2) e definizione dei limiti operativi degli impianti al fine di evidenziare la compatibilità con fonti energetiche rinnovabili intermittenti al fine di valutare la flessibilità di uso e i componenti critici per il raggiungimento degli obiettivi di adattamento a profili energetici derivati da impianti rinnovabili esistenti.
- 4) Collaborazione alla definizione e al dimensionamento di sistemi di stoccaggio intermedi (idrogeno e azoto) e finali (ammoniaca) con valutazione preliminare degli aspetti legati alla sicurezza e alla logistica dei trasferimenti tra stoccaggi di tipo diverso.
- 5) Sviluppo di indicatori da analisi LCA dei processi con particolare attenzione alle carbon e water footprint e agli aspetti legati alla tossicità e all'eco-compatibilità in confronto con i processi di produzione di ammoniaca tradizionali.

Il gruppo con cui s'intende avviare la collaborazione dovrà possedere esperienza specifica nei seguenti settori: (i) usi dell'ammoniaca; (ii) problematiche di interfacciamento e utilizzo di fonti rinnovabili intermittenti nella produzione di ammoniaca "verde"; (iii) tecnologie "Power-to-fuel"; processi di liquefazione (iv); integrazione e ottimizzazione di sistemi energetici e di componenti per sistemi energetici; (v) uso di Aspen+.

Output

- Schemi di processo (flow sheet) e modelli di calcolo per impianti di sintesi dell'ammoniaca da idrogeno verde prodotto da elettrolisi alimentata da fonti rinnovabili [M6]
- Rapporto tecnico sull'analisi e ottimizzazione degli schemi di processo di cui sopra per la produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno [M18]
- Rapporto tecnico sull'analisi del ciclo di vita (LCA) [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio sistemi di accumulo per applicazioni stazionarie e di mobilità

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.3 Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica

LA2.3.8_A Sviluppo di soluzioni innovative per serbatoi di accumulo di idrogeno basati su idruri metallici

Rif. Nr. Procedura: 2.3.8_A

Responsabile Accordo: Viviana Cigolotti

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività in oggetto riguarderà la progettazione e la validazione di sistemi di accumulo di idrogeno all'interno di idruri metallici. In particolare, dovranno essere condotte due linee di ricerca connesse tra loro: la prima, sarà inerente lo sviluppo di un sistema di accumulo per applicazioni stazionarie, mentre la seconda riguarderà lo sviluppo di un sistema di accumulo di energia ibrido, costituito da batterie e idruri metallici, per implementazione a bordo di veicoli ibridi a celle a combustibile.

L'attività di ricerca dovrà essere incentrata sulla determinazione di configurazioni ottimali di sistema che, insieme ad avanzati sistemi di gestione termica, rappresentino delle soluzioni tecniche efficienti, economiche e sicure. A tal fine, verrà adottata una metodologia di progettazione basata sui principi di modularità e scalabilità, per consentire l'implementazione e l'integrazione delle nuove soluzioni di stoccaggio dell'idrogeno sia in ambito automotive, per mezzi di trasporto stradale di diverso tipo, che più in generale nelle stazioni di rifornimento.

A tal fine, l'attività si dovrà avvalere di metodologie sia numeriche che sperimentali. In particolare, il sistema di accumulo stazionario verrà studiato attraverso lo sviluppo di modelli numerici, che consentiranno di valutare la scalabilità del sistema proposto a taglie anche molto elevate (capacità di idrogeno comparabile con quella dei sistemi stazionari a gas compresso). Il sistema di accumulo

avrà struttura modulare, in cui ogni modulo sarà costituito da serbatoi di forma cilindrica, alla stregua di quelli più comuni a gas compresso. Grande attenzione dovrà essere data alla caratterizzazione delle prestazioni termiche e cinetiche dei serbatoi e alla progettazione di un sistema di gestione termica ottimale, in grado sia di fornire adeguatamente calore durante le fasi di desorbimento dell'idrogeno dagli idruri metallici, sia di favorire tempi brevi di rifornimento, sottraendo calore durante l'assorbimento.

Per quanto riguarda le applicazioni di mobilità, l'attività dovrà portare alla realizzazione di un prototipo di serbatoio ibrido idruri metallici/batterie per veicoli light-duty ibridi a celle a combustibile. La fase progettuale partirà dalla definizione dei requisiti di energia e idrogeno attesi per selezionati veicoli di riferimento, e sulla base di profili di missione realistici. In tale fase, verranno pertanto implementati modelli dinamici per la simulazione di powertrain ibridi batterie/celle a combustibile e individuate le architetture ottimali dei powertrain considerati. Quindi, sulla base dei requisiti energetici e di gestione termica dei componenti principali del gruppo propulsore, e tenendo conto dei requisiti tecnici a bordo del veicolo selezionato, dovrà essere progettato un sistema di stoccaggio ibrido di energia, modulare, che preveda l'integrazione termica di serbatoi ad idruri metallici con il pacco batteria. La fase di progettazione sarà supportata da attività di modellazione solida 3D e simulazione numerica. Infine, un prototipo costituito da un modulo di sistema ibrido verrà realizzato e testato in ambiente controllato, in modo da convalidare la tecnologia proposta. Saranno dunque valutati per via sperimentale gli effetti legati al layout del sistema, in termini di capacità di trasferimento del calore, distribuzione della temperatura all'interno sia degli idruri che delle batterie, e pressione operativa. Le prestazioni di tale sistema dovranno essere esaustivamente caratterizzate considerando diverse condizioni operative del powertrain del veicolo.

Output:

- Rapporto Tecnico "Requisiti dei sistemi di stoccaggio idrogeno" [M6]
- Rapporto Tecnico "Validazione numerica del sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive" [M18]
- Rapporto Tecnico "Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni stazionarie" [M30]
- Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale del sistema di accumulo ibrido per applicazioni automotive" [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio sistemi di accumulo integrati idruri metallici (MH) -PCM

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.3 Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica

LA2.3.8_B Sviluppo di soluzioni innovative per serbatoi di accumulo di idrogeno basati su idruri metallici

Rif. Nr. Procedura: 2.3.8_B

Responsabile Accordo: Viviana Cigolotti

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

I sistemi di accumulo allo stato solido basati sulla tecnologia degli idruri metallici hanno dimostrato un notevole potenziale per applicazioni terrestri, essendo basati su un processo reversibile che garantisce elevata densità volumetrica, sicurezza di utilizzo, e maggiore efficienza rispetto ai sistemi criogenici o all'accumulo ad alta pressione. Ciononostante, gli attuali sistemi basati sugli idruri metallici non sono competitivi dal punto di vista tecnico economico a causa della cinetica lenta e della notevole difficoltà nel controllo delle temperature (e quindi della pressione di equilibrio) del serbatoio. Pertanto, lo sviluppo di sistemi avanzati di controllo termico è fondamentale per migliorare le performance degli idruri metallici. Attualmente vengono utilizzati sistemi attivi di controllo termico che consumano energia (riducendo l'efficienza del sistema), richiedono un sistema di attuazione dedicato, ed aumentano la massa ed il volume del serbatoio. Si richiede quindi la progettazione e lo sviluppo di un sistema completamente passivo di gestione termica di un serbatoio di accumulo di idrogeno basato su idruri metallici che sia in grado di controllarne con precisione la temperatura e che ne incrementi significativamente la densità di potenza. In particolare, l'attività dovrà:

- dimostrare la scalabilità della tecnologia dai kWh fino ai MWh di taglia;

- accumulare o utilizzare il calore di reazione dell'idruro al fine di incrementare l'efficienza del sistema;
- non causare un incremento significativo della massa del sistema;
- considerare adeguatamente tutti gli aspetti legati alla trasmissione del calore tra il serbatoio ed il sistema di controllo ed all'interno del serbatoio stesso, alla scelta dei materiali (idruro metallico e mezzi di scambio/accumulo termico) ed all'integrazione di sistema;
- dimostrare che il sistema complessivo può essere competitivo con lo stato dell'arte dell'accumulo dell'energia elettrica (e.g. batterie).

Output:

- Rapporto Tecnico "Requisiti dei sistemi di stoccaggio idrogeno" [M6]
- Rapporto Tecnico "Validazione numerica del sistema completamente passivo di gestione termica di un serbatoio di accumulo di idrogeno basato su idruri metallici" [M18]
- Rapporto Tecnico "Validazione sperimentale del sistema completamente passivo di gestione termica di un serbatoio di accumulo di idrogeno basato su idruri metallici" [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio sistemi di accumulo per applicazioni navali

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.3 Ricerca e sviluppo di tecnologie innovative per l'accumulo di idrogeno: liquido, materiali solidi, soluzioni ibride, carriers liquidi di natura non organica

LA2.3.8_C Sviluppo di soluzioni innovative per serbatoi di accumulo di idrogeno basati su idruri metallici

Rif. Nr. Procedura: 2.3.8_C

Responsabile Accordo: Viviana Cigolotti

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Al fine di studiare il dimensionamento ottimale e l'integrazione/accoppiamento di sistemi di accumulo di idrogeno basati su Idruri Metallici (MH) e sistemi Fuel Cell (FC) da installare a bordo nave (per fornire potenza ai servizi di bordo o alla propulsione – a seconda della natura/scopo della nave), sarà importante sviluppare modelli in grado di analizzare il sistema integrato MH+FC su due livelli:

- 1) Una valutazione tecnico-economica delle tecnologie FCH disponibili per applicazioni marittime (a livello di generazione di energia e stoccaggio di idrogeno MH) anche per ottimizzare il dimensionamento di entrambe le tecnologie (stoccaggio MH e PEMFC) attraverso un'analisi multicriterio (considerando volumi/pesi a bordo, emissioni evitate e CAPEX/OPEX) e valutare la soluzione più adatta per il natante e lo scenario operativo in analisi (e.g. solo servizi hoteling, APU...). L'obiettivo di questa analisi è poter creare delle correlazioni tra il dimensionamento dello stoccaggio MH e la capacità della PEMFC allo scopo di dimensionare i sistemi da installare a bordo in base al tipo di nave, allo scopo della generazione di energia ecc.
- 2) Un'analisi dinamica per studiare come scaricare correttamente i MH (anche per ottimizzare la loro gestione termica grazie alle soluzioni TES proposte) in base alle esigenze di viaggio/operazione

del natante. Per fare ciò sarà importante realizzare un modello dinamico (in MATLAB Simulink o ambiente di modellazione simile) di una nave di riferimento per sviluppare un modello dinamico di MH+PEMFC+TES che possa facilitare lo sviluppo della strategia di controllo dei sistemi in analisi.

Entrambe le attività di modellazione dovranno essere validate a TRL4 tramite un test bench composto da una PEMFC e un sistema di accumulo di idrogeno MH da 30 kWh (~ 2 kg H₂) (da realizzare come prototipo selezionando materiali MH sul mercato con composizione idonea alle temperature e pressioni di assorbimento e desorbimento individuate dal sistema integrato PEMFC+TES+MH) sviluppato per l'emulazione di diverse condizioni operative di una nave di riferimento (es. manovra, navigazione in porto, hoteling, propulsione ausiliaria ecc.).

Output:

- Rapporto Tecnico “Requisiti dei sistemi di stoccaggio idrogeno” [M6]
- Rapporto Tecnico “Validazione numerica del sistema di accumulo ibrido per applicazioni navali” [M18]
- Rapporto Tecnico “Rapporto Tecnico “Design del serbatoio ad idruri metallici per applicazioni a bordo di navi” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio e ottimizzazione tecnico-economica del dimensionamento e dell'esercizio dei principali componenti di stazioni di rifornimento a idrogeno

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.4 Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo

LA2.4.1_A Studio e ottimizzazione tecnico-economica del dimensionamento e dell'esercizio dei principali componenti di stazioni di rifornimento a idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 2.4.1_A

Responsabile Accordo: Massimiliano Della Pietra

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Importo: 60.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La presente attività ha lo scopo di sviluppare un tool per lo studio dei principali componenti di stazioni di rifornimento di idrogeno. Si analizzeranno le potenziali configurazioni ed i possibili layout di strutture di rifornimento di idrogeno, atte a servire flotte di veicoli operanti con serbatoi a 350 e 700 bar.

Il tool che sarà sviluppato, si concentrerà sul dimensionamento dei principali componenti di stazioni di rifornimento di idrogeno, attraverso considerazioni tecnico-economiche, basandosi su diverse taglie dell'infrastruttura e sul tipo servizio offerto (e.g. HRS aperte al pubblico, HRS asservite a trasporto pubblico locale, HRS inserite in contesti industriali per movimentazione merci, flotte aziendali di autovetture, HRS asservite al trasporto ferroviario o portuale), tenendo al contempo presente diversi profili di domanda di rifornimento di idrogeno, i quali definiranno i requisiti funzionali della HRS quali: quantità di idrogeno rifornito (kg/giorno di idrogeno erogato per veicolo e totale), pressione nominale di rifornimento dei mezzi, frequenza dei rifornimenti, fattore di carico rispetto alla capacità nominale della HRS. Il modello sarà risolto secondo la definizione di una o più funzioni obiettivo in relazione a indicatori di performance della HRS (e.g. minimizzazione del LCOH all'erogatore,

minimizzazione degli OPEX, massimizzazione del numero di rifornimenti per unità di tempo, massimizzazione del fattore di carico della HRS). I risultati tecnico-economici e quindi anche gli indicatori di performance della HRS verranno calcolati mediante la risoluzione di un modello tecnico-economico semplificato del sistema HRS integrato nella configurazione selezionata.

Vista la complessità delle attività descritte, e la necessità di mantenere il tool come strumento flessibile ed eventualmente integrabile con il divenire delle tecnologie analizzate, la modellazione, per entrambe le fasi, avverrà in ambiente di calcolo dedicato per applicazioni ingegneristiche complesse, quale ad esempio Matlab/Simulink, in cui verranno implementati e generati ad hoc i vari blocchi dei componenti considerati. Tali blocchi saranno quindi integrati e messi in comunicazione tra loro secondo gli scenari ed i layout previsti per la stazione di rifornimento di idrogeno.

Si auspica, inoltre, la validazione del modello sviluppato, attraverso dati sperimentali ottenuti tramite prove tecniche condotte in collaborazione con ENEA o con Enti di Ricerca Internazionali.

Si richiede esperienza comprovata nelle tematiche sopramenzionate, al fine di approfondire ed accelerare le attività di ricerca verso lo sviluppo di un tool flessibile e fruibile.

Output:

- Rapporto Tecnico: “Messa a punto e sviluppo del software/tool di dimensionamento ottimale dei componenti della HRS” [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di modelli di ottimizzazione dell'esercizio dei principali componenti costituenti di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS)

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.4 Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo

LA2.4.1_B Studio e ottimizzazione tecnico-economica del dimensionamento e dell'esercizio dei principali componenti di stazioni di rifornimento a idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 2.4.1_B

Responsabile Accordo: Massimiliano Della Pietra

Responsabile LA: Massimiliano Della Pietra

Importo: 60.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività prevede lo sviluppo di un modello numerico in grado di ottimizzare l'esercizio di una stazione di rifornimento a idrogeno una volta individuati diversi profili di domanda di rifornimento di idrogeno, i quali definiranno i requisiti funzionali della HRS quali: quantità di idrogeno rifornito (kg/giorno di idrogeno erogato per veicolo e totale), pressione nominale di rifornimento dei mezzi, frequenza dei rifornimenti, fattore di carico rispetto alla capacità nominale della HRS.

Nello specifico la messa a punto e lo sviluppo del modello di ottimizzazione dell'esercizio dei vari componenti della stazione di rifornimento dovrà tenere conto delle fasi transitorie di operazione (fase di ricarica dei veicoli, fase di compressione, etc.) secondo la simulazione con una risoluzione temporale di dettaglio (dell'ordine del secondo/minuto) dei flussi coinvolti nei vari componenti in termini di portate, temperature, pressioni, etc. Compatibilmente con la disponibilità di dati on field anche provenienti da progetti europei il modello di ottimizzazione di esercizio verrà affinato e validato, al fine di ottenere il grado di affidabilità più elevato possibile dall'attività.

Una volta che il modello sarà stato validato si esplorerà, inoltre, l'opportunità di integrare il modello di ottimizzazione dell'esercizio con il modello di ottimizzazione del dimensionamento, messo a punto nella linea di attività in questione, per la risoluzione di un problema integrato di optimal design-operation

rispetto a due problemi separati di optimal design e optimal operation, che potrebbero seguire logiche diverse in termini di parametri da ottimizzare.

Output:

- Rapporto Tecnico: “Messa a punto e sviluppo del software/tool per l’ottimizzazione della fase di esercizio della HRS” [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio e sviluppo di modelli di ottimizzazione di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS) alimentate da fonti rinnovabili on-grid e off-grid o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel)

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.4 Sviluppo ed ottimizzazione di componenti e sistemi per le stazioni di rifornimento ad idrogeno per migliorarne efficienza e ridurre occupazione del suolo

LA2.4.2 Studio e sviluppo di modelli di ottimizzazione di stazioni di rifornimento a idrogeno (HRS) alimentate da fonti rinnovabili on-grid e off-grid o da feedstock alternativi (biofuel, e-fuel)

Rif. Nr. Procedura: 2.4.2

Responsabile Accordo: Viviana Cigolotti

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Obiettivo principale delle attività di ricerca dovrà riguardare la definizione e l'analisi tecnico-economica di diverse configurazioni impiantistiche per stazioni di rifornimento a idrogeno verde (Green Hydrogen Refueling Stations) basate sull'impiego di energia rinnovabile non programmabile (solare e/o eolica) o feedstock alternativi (biofuel e e-fuel). Le configurazioni proposte dovranno inoltre prevedere soluzioni on-grid e off-grid.

Lo studio di fattibilità tecnico-economica delle diverse configurazioni impiantistiche e l'individuazione delle soluzioni ottimali dovrà essere condotto mediante lo sviluppo di modelli di ottimizzazione multi-obiettivo che tengano conto sia degli aspetti strettamente legati alla specifiche progettuali del sistema (caratteristiche della fonte rinnovabile o del feedstock alternativo, profili di rifornimento giornalieri, gestione dei flussi energetici, etc), sia delle tecnologie disponibili in termini di caratteristiche di funzionamento, affidabilità e costi.

Nello specifico le attività di ricerca dovranno essere focalizzate su: i) definizione dei possibili layouts d'impianto sulla base della fonte rinnovabile e delle tecnologie per la produzione (via elettrolisi o via termochimica), compressione e accumulo, con riferimento alla modalità on-grid o off-grid; ii)

sviluppo di modelli numerici di ottimizzazione per il dimensionamento delle stazioni di rifornimento e per la definizione delle condizioni operative in base al tipo di fonte rinnovabile (o al tipo di feedstock alternativo), ai possibili profili di rifornimento e alla modalità di alimentazione on-grid (per diverse % di integrazione della rete) e off-grid; iii) valutazioni tecnico-economiche sulle HRSs e analisi di sensitività sul costo livellizzato dell'idrogeno (LCOH) al variare delle configurazioni individuate e dei diversi parametri operativi della stazione; iv) sostenibilità economica ed ambientale delle HRSs valutata attraverso analisi LCC (Life Cycle Cost), WTW (Well-To-Wheel) e LCSA (Life Cycle Sustainable Assessment).

Output:

- Rapporto Tecnico “Selezione dei componenti per la produzione, la compressione e lo stoccaggio d'idrogeno” [M6]
- Rapporto Tecnico “Definizione delle diverse configurazioni impiantistiche con le quali realizzare stazioni di rifornimento, in base alla fonte rinnovabile (o ai feedstock alternativi), alla capacità della stazione e al tipo di collegamento con la rete” [M18]
- Rapporto Tecnico “Sviluppo dei modelli numerici e sui risultati ottenuti in termini prestazioni energetiche” [M30]
- Rapporto Tecnico “Risultati dell'analisi tecnico-economica ed ambientale per le configurazioni ottimali individuate” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Modellazione matematica e numerica di misuratori per miscele di gas naturale ed idrogeno

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.5 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA2.5.1 Modellazione matematica e numerica di misuratori per miscele di gas naturale ed idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 2.5.1

Responsabile Accordo: Paola Gislon

Responsabile LA: Paola Gislon

Importo: 75.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività di ricerca prevista consisterà nello sviluppo e validazione di un modello matematico e numerico tridimensionale, in grado di descrivere il comportamento e le prestazioni metrologiche di una tipologia selezionata di misuratori di volume di gas utilizzati nelle reti di distribuzione e trasporto del gas naturale in presenza di miscele di idrogeno e gas naturale con contenuto di idrogeno via via crescente fino al 100%. Il modello matematico sarà implementato e risolto numericamente utilizzando un codice di calcolo non commerciale di tipo open source basato sul metodo dei volumi finiti. Il modello potrà essere utilizzato per: i) investigare differenti condizioni operative (e.g. portata volumetrica, temperatura e pressione); ii) effettuare un'analisi parametrica difficile da ottenere mediante una campagna di misure sperimentali; iii) ottenere informazioni dettagliate circa i campi termofluidodinamici (e.g. densità e viscosità del fluido); iv) analizzare gli effetti di deriva della curva caratteristica del misuratore valutando gli stress termici dei materiali in funzione delle condizioni operative. Particolare attenzione sarà posta alla definizione dei modelli utilizzati per la descrizione delle proprietà termodinamiche del gas in misura ed alle prestazioni di diversi modelli di turbolenza. Sarà fornito supporto alla progettazione di un banco prova per

effettuare test di validazione del modello sviluppato in condizioni operative significative per le reti di trasporto e distribuzione gas.

Output

- Rapporto tecnico “Sviluppo di un modello matematico e numerico per la determinazione delle proprietà delle miscele di gas naturale ed idrogeno” [M6]
- Rapporto tecnico “Modellazione matematica e numerica di misuratori utilizzati nelle reti di trasporto e distribuzione del gas” [M12]
- Rapporto tecnico “Progettazione di prove di laboratorio finalizzate alla validazione del modello matematico e numerico” [M18]
- Rapporto tecnico “Ottimizzazione numerica delle condizioni di funzionamento di un misuratore del gas” [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Definizione di norme e metodiche per la definizione delle caratteristiche di qualità e di prestazione degli e-fuels

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.5 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA2.5.3 Definizione di procedure sperimentali per la qualifica delle caratteristiche e prestazioni di e-fuels

Rif. Nr. Procedura: 2.5.3

Responsabile Accordo: Giuseppina Vanga

Responsabile LA: Giuseppina Vanga

Importo: 50.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività richiesta ha come scopo principale la definizione di procedure sperimentali per la qualifica di caratteristiche e prestazioni degli e-fuels, combustibili green che possono essere utilizzati in sostituzione del combustibile fossile tradizionale oppure miscelati con esso. Focalizzando l'attenzione su jet fuels con il processo Fischer Tropsch. La caratterizzazione dei nuovi combustibili risulta essenziale per individuare il campo di applicazione e prevederne l'impatto, in termini di performance e di emissioni del loro utilizzo su scala reale. In quest'ambito, dopo avere selezionato i principali e-fuels di riferimento, saranno sviluppate metodologie finalizzate alla caratterizzazione dei combustibili sintetici in modo da confermarne la corrispondenza con gli standard qualitativi degli omologhi fossili, tra cui proprietà chimico-fisiche, specifiche tecniche e composizione chimica.

L'individuazione dei protocolli di analisi e dei test dovrà considerare la natura innovativa dei combustibili e la possibilità di analizzare campioni in piccole quantità, mantenendo la rappresentatività dell'analisi, in considerazione della scala ancora non commerciale degli impianti

di produzione. In tale elaborazione si farà riferimento sia ai metodi normati, previsti ad esempio dalle specifiche ASTM, ISO CEN, che ai metodi non normati. La definizione di procedure sperimentali, oltre ad individuare le caratteristiche del nuovo combustibile nel suo complesso, si pone l'obiettivo di ottenere informazioni utili alla definizione dei test prestazionali degli e-fuels ad esempio su banchi prova o su prototipi. Per poter definire il combustibile prodotto nelle varie fasi del progetto come jet fuel si rende necessario caratterizzarlo analiticamente. Ci si propone di utilizzare sia metodi normati, previsti dalle specifiche ASTM D1655 e DEF STAN 91-091 che non normati. Per i primi le caratteristiche che verranno prese in considerazione sono (almeno) la densità, la viscosità, l'acidità totale, il contenuto di aromatici, il potere calorifico, il punto di infiammabilità, il punto di congelamento, le caratteristiche di distillazione e di corrosività, il contenuto di gomme. In merito ai secondi, data la specificità del progetto, si ritiene utile una caratterizzazione di dettaglio degli idrocarburi prodotti mediante DHA (detailed hydrocarbon analysis) che si propone di sviluppare mediante GC-VUV (Gas Chromatography – Vacuum Ultraviolet Spectroscopy). L'utilizzo di ulteriori tecniche di caratterizzazione dovrà essere altresì previsto al fine di consentire una più appropriata speciazione dei componenti costituenti l'efuels.

Output

- Rapporto tecnico “Principali caratteristiche e performance degli e-fuels” [M6]
- Rapporto tecnico “Norme e metodiche per la definizione delle caratteristiche di qualità e di prestazione degli e-fuels” [M18]
- Rapporto tecnico “Protocolli di analisi e procedure di test per la valutazione di qualità degli e-fuels in particolare jet fuels” [M30]
- Rapporto tecnico “Caratteristiche e specifiche tecniche degli e-fuels, con maggiore attenzione ai jet fuels, necessarie per implementare modelli di emulazione dell'utilizzo dei combustibili green su scala reale” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio degli impatti ambientali di sistemi integrati per l'immagazzinamento di idrogeno

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.5 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA2.5.5 Analisi degli impatti ambientali ed economici relativi a sistemi integrati per l'immagazzinamento dell'idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 2.5.5

Responsabile Accordo: Claudio Carbone

Responsabile LA: Claudio Carbone

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La presente attività riguarda il supporto scientifico e tecnico sul ruolo strategico che la filiera italiana dell'idrogeno può avere per la decarbonizzazione dei settori di uso finale dell'energia, concentrandosi sulla valutazione dei vari impatti ambientali e climatici, oltre al potenziale di diffusione nel mercato. A tal fine saranno realizzati inventari dettagliati 'bills of materials' e bilanci di massa ed energia, nonché dei relativi costi, di tecnologie, applicazioni e intere filiere di tecnologie dell'idrogeno che includano tutte le fasi di filiera: produzione, trasporto e stoccaggio, ed utilizzo finale. Un focus particolare sarà dedicato alle fasi di distribuzione e stoccaggio e verranno inclusi gli stoccaggi di tipo sotterraneo e in serbatoio, e diversi step di trasporto e distribuzione prima del consumo. Le filiere e tecnologie da modellare sono principalmente quelle sviluppate nell'ambito delle attività di ricerca del POR; filiere e tecnologie alternative saranno

descritte con informazioni da letteratura. I dati di inventario saranno quindi utilizzati per la valutazione degli impatti ambientali e sociali con metodologia LCA e LCA sociale.

Output

Il prodotto finale dell'attività consisterà in un report tecnico, aggiornato ed ampliato annualmente, che descriva i risultati dell'analisi di inventario ed i risultati dell'analisi degli impatti ambientali, climatici e sociali, del rapporto costi-benefici e del rapporto costo-efficacia delle diverse soluzioni proposte [M12, 24, 36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Attività di formazione sulle tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP2.5 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e processi innovativi per P2G, e-fuel e accumulo di idrogeno, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA2.5.6 Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie per il trasporto e l'accumulo di idrogeno.

Rif. Nr. Procedura: 2.5.6

Responsabile Accordo: Claudia Bassano

Responsabile LA: Claudia Bassano

Importo: 60.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La transizione energetica richiede indubbiamente investimenti, oltre che nello sviluppo tecnologico, anche in azioni di crescita culturale rivolte ai cittadini, cui dev'essere fornita l'opportunità di aggiornare e riqualificare le proprie conoscenze sugli argomenti più innovativi.

Di assoluto rilievo è favorire la divulgazione, l'istruzione e la formazione a tutti i livelli per sviluppare un'ampia base di conoscenze sulle potenzialità dell'utilizzo dell'idrogeno e di competenze specifiche sulle tecnologie e usi finali ad esso collegati. Per la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno su larga scala è necessario supportare la crescita e formazione di figure professionali.

Gli obiettivi principali sono:

- fornire accesso a conoscenze professionali e abilità pratiche di alta qualità nell'area delle tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels;
- formare una forza lavoro adeguata e capace per costruire e mantenere una catena del valore competitiva dell'idrogeno pulito e far crescere l'industria emergente delle sulle tecnologie

innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels.

Per tali ragioni è richiesta una collaborazione con un istituto universitario, con provata esperienza nei processi chimici per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels, che dovrà provvedere a organizzare corsi, eventi, sessioni di apprendimento pratico e materiali didattici relativi alla tecnologia delle tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels.

Nello specifico l'università dovrà occuparsi di:

- sessioni tematiche all'interno di master universitari;
- corsi specifici sul tema delle tecnologie, basandosi su un'esperienza consolidata sulla tematica in oggetto;
- realizzazione di pacchetti di formazione con prodotti audio-visivi sulla tematica specifica;
- individuare modalità interattive di approccio alla tematica della produzione di idrogeno con intento di formazione di studenti e operatori del settore.

In particolare, i risultati attesi sono:

- Definizione programmi di formazione
- Organizzazione di sessioni tematiche di master universitari dedicati alla tematica idrogeno e tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels ;
- Organizzazione di eventi, corsi e piattaforme di diffusione di prodotti di formazione scolastica e professionale.
- Organizzazione di eventi, corsi e piattaforme di diffusione di prodotti di formazione universitaria e postuniversitaria.

Output

- Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels 1° anno" [M6]
- Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels 2° anno" [M18]
- Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels 3° anno" [M30]

- Rapporto tecnico “Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sul tema delle tecnologie innovative per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno e la sua trasformazione in derivati ed e-fuels” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di metodi e processi per la preparazione e la caratterizzazione di membrane funzionanti ad alta T

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

LA3.1.1_A Sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura

Rif. Nr. Procedura: 3.1.1_A

Responsabile Accordo: Alfonso Pozio

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Importo: 70.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate alle formulazioni di ionomeri e membrane a conducibilità protonica per alte temperature stabili e performanti. La collaborazione è rivolta a soggetti con rilevante esperienza nella sintesi di polimeri funzionali inclusi polimeri conduttori e polielettroliti. Tale esperienza dovrà essere in particolare sulla preparazione di materiali polimerici a conducibilità protonica capaci di sopperire alle problematiche del Nafion, ovvero l'alto costo e la bassa conducibilità protonica a alta temperatura in condizioni di scarsa idratazione, l'eccessivo crossover di combustibile.

L'attività di collaborazione prevederà dunque:

1. Ottimizzazione di miscele per elettrospinning, con riferimento in particolare alla valutazione del sistema solvente più idoneo, studio della concentrazione, ottimizzazione delle condizioni operative in termini di pH, T, eventuale induzione di cristallizzazione, etc.
2. Messa a punto di miscele composite mediante la sperimentazione di additivi sia di natura organica che inorganica, al fine di migliorare: proprietà meccaniche (flessibilità, resistenza delle fibre, etc...); conduzione protonica (mediante aggiunta di molecole che possono

essere funzionalizzate o coadiuvare la funzionalizzazione); miglioramento della conducibilità in condizioni di ridotta quantità di acqua.

3. Testing di altri polimeri che si possono prestare ad applicazioni ad alta temperatura, per opportuna funzionalizzazione (PS, PPO, copolimeri, ...) sviluppo di blend per successiva elettrofilatura.
4. Caratterizzazione dei provini di film polimerici prodotti mediante tecniche di analisi chimica, strutturale, termica, e morfologica.
5. Caratterizzazione delle fibre prodotte prevalentemente mediante analisi termica (TGA-DSC), meccanica (DMTA), strutturale (diffrazione raggi X) e morfologica (OM, SEM, TEM, AFM).

Output

- Rapporto tecnico: “Metodi e processi per la preparazione e la caratterizzazione di membrane funzionanti ad alta temperatura” [M12]
- Rapporto tecnico “Individuazione e caratterizzazione di sistemi polimerici per applicazioni ad alta temperatura” [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Formulazioni di ionomeri e membrane cationiche per alte temperature

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

LA3.1.1_B Sviluppo di processi per la produzione di membrane a conduzione protonica ad alta temperatura

Rif. Nr. Procedura: 3.1.1_B

Responsabile Accordo: Alfonso Pozio

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Importo: 75.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate alle formulazioni di ionomeri e membrane a conducibilità protonica per alte temperature stabili e performanti. La collaborazione è rivolta a soggetti con rilevante esperienza nella sintesi di polimeri funzionali inclusi polimeri conduttori e polielettroliti. Tale esperienza dovrà essere in particolare sulla preparazione di materiali polimerici a conducibilità protonica capaci di sopperire alle problematiche del Nafion, ovvero l'alto costo e la bassa conducibilità protonica a alta temperatura in condizioni di scarsa idratazione, l'eccessivo crossover di combustibile. A tale scopo ionomeri polistirenici, di polimeri a base di etilenossido e arileteresulfone e loro copolimeri, funzionalizzati da unità solfoniche come gruppi laterali alla catena macromolecolare saranno preparati per l'ottenimento di membrane a conducibilità protonica per celle a combustibile. I materiali prodotti dovranno garantire sufficienti proprietà meccaniche per sostenere gli stress meccanici durante il funzionamento della membrana.

L'attività di collaborazione prevederà dunque la preparazione e fornitura dei precursori necessari alla sintesi mediante elettrofilatura ed alle successive tecniche di solfonazione delle membrane sviluppate. Inoltre, l'attività prevederà la caratterizzazione dei materiali sviluppati membrane

cationiche e relativi ionomeri con gruppi carichi negativamente per la necessaria conducibilità ionica. In particolare, la collaborazione dovrà indirizzarsi allo studio dei seguenti sistemi polimerici ionomerici e alla messa a punto delle corrispondenti membrane cationiche per la caratterizzazione elettrochimica e la valutazione delle prestazioni in celle elettrolitiche protonica (PEM) prototipali.

1. Ionomeri: saranno oggetto dello studio ionomeri a base di composti perfluorurati a basso peso molecolare come, ad esempio, i liquidi ionici caratterizzati da eccellente stabilità termica e conducibilità protonica nell'intervallo di temperatura di lavoro della cella e caratterizzati da bassa volatilità. Derivati di alchil-imidazolo trifluorometansulfonato saranno presi in considerazione e le loro prestazioni studiate in funzione della lunghezza del raggruppamento alchilico.
2. Membrane: saranno inoltre oggetto della collaborazione la realizzazione di membrane a scambio protonico a partire da polistireni funzionalizzati con gruppi solfonici e da copolimeri stirenici contenenti unità ripetenti di butadiene (idrogenato e non) allo scopo di modulare le proprietà meccaniche nell'intervallo di temperatura di funzionamento della membrana. Membrane PEM alternative saranno ottenute a partire da polimeri a base di etilenossido e arileteresulfone e loro copolimeri, funzionalizzati da unità solfoniche come gruppi laterali alla catena macromolecolare, con lo scopo di incrementare la resistenza termica e chimica nel tempo.

Output

- Rapporto tecnico: "Sintesi di ionomeri a base di polichetone funzionalizzato" [M12]
- Fornitura di ionomeri ottenuti da sintesi a base di polichetone funzionalizzato in soluzioni di vari solventi [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sintesi e caratterizzazione di catalizzatori alternativi a basso costo per celle a combustibile a bassa temperatura

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

LA3.1.3_A Sviluppo di elettrocatalizzatori basati su metalli e leghe di metalli M/C ad elevata area superficiale

Rif. Nr. Procedura: 3.1.3_A

Responsabile Accordo: Alfonso Pozio

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Importo: 48.000,00 €

Durata: 34 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito dell'attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate alla sintesi e caratterizzazione di catalizzatori alternativi a basso costo per celle a combustibile a bassa temperatura. Le celle a combustibile ad elettrolita polimerico (PEMFC) rappresentano la tecnologia chiave per l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico. Tuttavia, una riduzione del costo di produzione di questi dispositivi è indispensabile per permettere una loro maggiore commercializzazione. In questo contesto, la durata e il costo dei catalizzatori utilizzati per i processi redox, comunemente a base di Pt supportato su carbone, sono due problemi fondamentali che devono essere risolti per raggiungere una efficace commercializzazione delle PEMFCs. Inoltre, la maggior parte della perdita di efficienza della cella è dovuta alla lenta cinetica della reazione catodica di riduzione dell'ossigeno (ORR), di conseguenza un alto contenuto di Pt è necessario per favorirne la catalisi.

Al fine di superare queste limitazioni, l'attuale ricerca scientifica persegue più strategie: (i) sviluppo di leghe Pt-metallo; (ii) riduzione delle dimensioni delle particelle di catalizzatore e il miglioramento della loro dispersione; (iii) sviluppo di catalizzatori Pt-free a base di metalli non nobili e sviluppo di

catalizzatori low-Pt loading; (iv) sviluppo di supporti alternativi al carbone; (v) sviluppo di co-catalizzatori a base di ossidi inorganici. La collaborazione richiesta riguarda la sintesi e la caratterizzazione di catalizzatori alternativi a basso costo, più efficienti e durevoli per la reazione di riduzione dell'ossigeno (ORR).

In questa collaborazione viene richiesta la sintesi e la caratterizzazione di catalizzatori low-Pt e Pt-free per il processo ORR, basati su metalli non nobili supportati su carboni modificati da eteroatomi (N,S) oppure su carboni nanostrutturati ad elevata area superficiale e porosi da permettere una veloce diffusione dei gas. Viene richiesto lo sviluppo di ossidi inorganici sub-stechiometrici da utilizzare come co-catalizzatori per il Pt nella catalisi di ORR, con l'obiettivo di minimizzare il contenuto di platino e ad aumentare l'efficienza del processo. E' richiesta un'ottimizzazione di tali ossidi al fine di permettere al Pt di essere disperso in modo uniforme per prevenire l'aggregazione delle particelle, per assicurare la loro stabilità termica, prevenendo la dissoluzione nell'ambiente acquoso di reazione.

La caratterizzazione chimica, strutturale e morfologica dei catalizzatori prodotti dovrà essere verificata attraverso le tecniche più opportune tra cui: XRD, SEM-EDS, FTIR determinazione dell'area superficiale specifica. L'Accordo prevederà inoltre la caratterizzazione elettrochimica dei catalizzatori prodotti mediante voltammetria ciclica (CV) e misure con elettrodo a disco rotante (RDE). Eventualmente verranno predisposti test di accelerazione degradata (ATDs), allo scopo di valutare la loro stabilità.

I migliori catalizzatori prodotti saranno studiati in assemblati elettrodi/membrana elettrolitica (MEA) e caratterizzati in celle singole H₂/aria tramite lo studio delle prestazioni in termini di curve di polarizzazione (E vs I) e di durata.

Output

- Rapporto tecnico: "Produzione di catalizzatori PGM-free per celle a combustibile ad elettrolita polimerico" [M24]
- Rapporto tecnico: "Testing chimico fisico ed elettrochimico catalizzatori ed elettrodi" [M34]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio di metodiche di deposizione laser per deposizioni catalizzatori per celle a combustibile a bassa temperatura

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

LA3.1.3_B Sviluppo di elettrocatalizzatori basati su metalli e leghe di metalli M/C ad elevata area superficiale

Rif. Nr. Procedura: 3.1.3_B

Responsabile Accordo: Alfonso Pozio

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Importo: 36.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della linea di attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate allo studio di metodiche di deposizione laser per deposizioni catalizzatori per celle a combustibile a bassa temperatura. La voce di costo maggiore relativo alla produzione delle celle a combustibile (FC) è legata al platino, che svolge la funzione di catalizzatore delle reazioni di ossidazione dell'idrogeno e di riduzione dell'ossigeno, depositato su un supporto conduttivo a contatto con la membrana selettiva a scambio protonico (PEM). Gli sforzi diretti a migliorare l'efficienza di utilizzo del catalizzatore a base di platino, si sono concentrati sulla ricerca di configurazioni ottimali del materiale che riducano al minimo il carico di Pt soddisfacendo allo stesso tempo i requisiti di accesso al gas, e della conduzione di protoni e di elettroni.

Al fine di incrementare la reattività del catalizzatore, è importante che il rapporto tra superficie esposta e il volume sia elevato, per cui risulterebbe auspicabile che il platino venga depositato in forma nanoparticellare. In questo modo si potrebbe realizzare un deposito di catalizzatore con un contenuto di platino molto inferiore a quello realizzato con le attuali tecniche di deposizione (brush coating, spray coating, etc).

L'Accordo di collaborazione in questione riguarda lo sviluppo di una tecnica di deposizione a laser impulsato (PLD), che permetta di ottenere coating di alta qualità, in forma di nanoparticelle, senza intaccare lo stato di ossidazione del materiale da depositare.

La deposizione PLD dovrà ottimizzare la quantità e le dimensioni particellari del catalizzatore stabilendo il controllo dei parametri che caratterizzano il laser (lunghezza d'onda, durata dell'impulso, flukenza) e le condizioni di deposizione (preparazione del target, distanza target-substrato, irraggiamento selettivo del target, temperatura substrato, ecc.) in modo da poter ottenere risultati riproducibili. La collaborazione riguarderà risultati ottenuti con diversi tipi di deposizione: 1) deposizione PLD classica con l'utilizzo di impulsi laser ripetuti, della durata di qualche nanosecondo, 2) PLD con impulsi laser ultrabrevi (della durata di qualche centinaio di femtosecondi anziché nanosecondi), denominata PLD ultrabreve (uPLD), 3) l'evaporazione mediante laser impulsato assistita da matrice (MAPLE) che permette un processo di ablazione laser più delicato. Lo scopo finale sarà quello di individuare la tecnica migliore per la generazione di nanoparticelle di differente natura. La tecnica risultata più efficace verrà utilizzata per il deposito di materiali catalizzatori opportunamente selezionati.

Output

- Rapporto tecnico: "Produzione di catalizzatori per fuel cell via laser deposition" [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Ottimizzazione dei metodi di deposizione del platino su una matrice conduttiva

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

LA3.1.3_C Sviluppo di elettrocatalizzatori basati su metalli e leghe di metalli M/C ad elevata area superficiale

Rif. Nr. Procedura: 3.1.3_C

Responsabile Accordo: Alfonso Pozio

Responsabile LA: Alfonso Pozio

Importo: 36.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della linea di attività di ricerca ci si intende avvalere della collaborazione per attività mirate all'ottimizzazione dei metodi di deposizione del platino su una matrice conduttiva, che è un aspetto fondamentale per lo sviluppo delle fuel cells. L'attuale pratica commerciale prevede, generalmente, l'introduzione della polvere di catalizzatore in un inchiostro a base di grafite (carbon ink) con un rapporto ottimale Pt/C, al fine di ottenere un carico di catalizzatore di circa 0.2 mg/cm². La miscela Pt/C viene aggiunta ad una soluzione in Nafion al 5% in peso (precedentemente disciolto in una miscela acqua/alcol) e depositata sulla membrana attraverso diverse tecniche di coating come, ad esempio lo spennellamento su rulli e successiva evaporazione del solvente.

L'Accordo si focalizzerà sulla formulazione ed ottimizzazione del sistema Pt/C, utilizzando differenti tipologie di carbon ink, e sperimentando miscele di metalli ad elevata attività catalitica con rapporti stechiometrici noti, in funzione dei diversi tipi di deposizione che saranno implementati attraverso metodi sviluppati allo scopo basati su tecnologie laser (PLD) con l'obiettivo di garantire le migliori performance dal punto di vista tecnologico economico ed ambientale per la produzione degli elettrodi per FC. In particolare, saranno sviluppate matrici da depositare sia in forma metallica, che sotto forma di inchiostro partendo da materiali meno pregiati e costosi rispetto al metallo puro,

quali l'acido esacloroplatinico. Tale reattivo sarà opportunamente ridotto usando strategie a basso impatto ambientale ed economiche, al fine di produrre agglomerati nanoparticellari, utili per la deposizione laser.

L'esecuzione dell'Accordo prevede la caratterizzazione dei depositi ottenuti mediante tecniche di microscopia a scansione elettronica (SEM) al fine di valutare e ottimizzare la uniformità della morfologia, parametro che impatta direttamente sulle caratteristiche funzionali del rivestimento catalitico. Prevede inoltre di effettuare analisi di diffrazione ai raggi X (XRD) dei domini cristallini depositati e del supporto utilizzato, ed inoltre analisi di stabilità termica tramite termogravimetria (TGA). Infine, prevede l'analisi del rendimento elettrico delle celle a combustibile prodotte (MEA) attraverso analisi impedenziometrica e comparazione con prodotti commerciali.

Output

- Rapporto tecnico: "Testing elettrochimico completo di catalizzatori ed elettrodi" [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

***Supporto alla progettazione di stack per celle a combustibile polimeriche ad alte prestazioni
tramite analisi numerica***

nell'ambito del

PNRR POR H2

***WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le
prestazioni e ridurre i costi***

***LA3.1.4 Gestione/Validazione ingegneria di stack mediante studi di modellistica per garantire
umidificazione/gestione temperatura***

Rif. Nr. Procedura: 3.1.4

Responsabile Accordo: Filippo Donato

Responsabile LA: Filippo Donato

Importo: 90.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Lo scopo dell'attività consiste nello sviluppare e validare modelli per la simulazione termica e fluidodinamica di stack al fine di poter progettare un flow field che ottimizzi gli aspetti critici per i sistemi Fuel Cell ad alte prestazioni. Si prenderanno a riferimento dei piatti per celle a combustibile con area attiva del MEA di 100 cm² e 400 cm². In particolare, si porteranno avanti le seguenti tematiche:

- Simulazione 3D fluidodinamica di una cella completa, tenendo conto di tutti i fenomeni coinvolti – fluidodinamica nei canali anodici e catodici, influenza del flow-field, scambio termico, flussi reagenti multicomponente e multifase, flusso protonico locale, flusso elettrico locale, flusso di massa, flusso elettrico in GDL tenendo conto del water management catodico.
- Progettazione fluidodinamica del flow-field, tenendo in considerazione tipologia e geometria dei canali lato catodo e anodo, al variare delle principali condizioni operative lungo la curva di polarizzazione. Saranno prese in considerazione condizioni dead-end ovvero a flusso passante con ricircolo, identificando il migliore compromesso tra densità di potenza ed efficienza globale della cella e dello stack.

- Valutazione dell'efficacia dello scambio termico tra MEA e canali di raffreddamento dello stack. Si valuterà l'effetto del materiale considerato e del dimensionamento dei piatti bipolari sull'efficacia del trasporto di calore, in modo da impattare il meno possibile sul consumo energetico dovuto alla movimentazione del refrigerante. Sarà inoltre possibile valutare la differenza di temperatura tra MEA e refrigerante, in modo da poter valutare l'impatto sull'efficienza di conversione.

Riguardo le geometrie del piatto, saranno valutate diverse soluzioni per la gestione della temperatura con sistemi di raffreddamento a liquido.

Dopo una prima progettazione prototipale di stack, la geometria prodotta verrà realizzata sia con piatti metallici (LA3.1.2) che con piatti in grafite e testata in modo da raccogliere dati utili alla verifica dei codici di calcolo. La validazione potrà contare di dati sia in termini di prestazioni elettrochimiche che di gestione di umidità e calore.

A valle della validazione si provvederà a utilizzare gli strumenti numerici validati nel tentativo di migliorare ulteriormente le prestazioni ottenute

I modelli dovranno essere sviluppati utilizzando il codice di calcolo commerciale ANSYS.

Output

Gli output dell'attività saranno costituiti dai seguenti rapporti tecnici:

- Definizione delle specifiche per stack di PEMFC ad alte prestazioni e validazione dell'approccio modellistico su geometria generale (zero-gradient) [M7]
- Progettazione geometria base di stack PEMFC e dei relativi sistemi di gestione della temperatura e dell'umidità con caratterizzazione elettrochimica, meccanica e termo-fluidodinamica [M18]
- Caratterizzazione sperimentale di stack PEMFC realizzati con piatto metallico e piatto in grafite e validazione della modellazione numerica di progetto [M33]
- Ottimizzazione mediante simulazione numerica di stack PEMFC a valle della sperimentazione su geometria prototipale [M36]

Faranno inoltre parte degli output tutti i file necessari a definire e lanciare le simulazioni effettuate con il citato codice ANSYS che il contraente si impegna a mettere a disposizione dell'ENEA, così come i file CAD che definiranno le geometrie utilizzate nell'attività.

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di modelli per celle a combustibile polimeriche e coprogettazione BoP

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le prestazioni e ridurre i costi

LA3.1.5_A Sviluppo del Balance of Plant per sistemi basati su celle a combustibile a membrana polimerica

Rif. Nr. Procedura: 3.1.5_A

Responsabile Accordo: Giuseppe Nigliaccio

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Importo: 60.000,00 €

Durata: 34 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Il Balance Of Plant (BoP), cioè l'insieme di sottosistemi funzionali allo stack a fuel cells, ha assunto negli ultimi anni notevole importanza relativamente agli aspetti economici, ma anche a quelli pratici legati alla gestione del funzionamento del sistema completo.

Nel 2016 il Department of Energy (DOE) statunitense stimava l'incidenza dello stack sul costo totale del sistema al 52%, un aggiornamento di questa stima, effettuato nel 2020 all'interno del Hydrogen and Fuel Cells Program finanziato dal DOE, riporta un valore del 41%.

Da un punto di vista operativo, la possibile immissione nello stack di contaminanti ne può compromettere l'efficienza o il funzionamento.

La progettazione e la scelta dei materiali per il BOP ed un corretto sistema di monitoraggio e controllo risultano quindi di importanza chiave nella realizzazione di un sistema a fuel cells.

Le attività previste all'interno dell'Accordo di collaborazione riguardano la progettazione del BoP su specifiche date dal committente. Per questo motivo saranno anche sviluppati dei modelli matematici di ciascun componente ed utilizzati per la simulazione di un sistema completo.

Nello specifico, l'attività prevede:

- Analisi preliminare del BoP per stack fuel cells polimerico (a bassa temperatura e ad alta temperatura).
- Sviluppo di database con prodotti commerciali del BoP.
- Modello 0D sistema completo commerciale (stack + BoP).
- Definizione dei requisiti per il sistema di controllo e delle procedure di test di risposta dinamica.
- Progettazione BoP ottimizzato su caratteristiche stack fornite dal committente.
- Validazione del modello 0D del sistema completo

I modelli forniti saranno sviluppati con software commerciali e saranno correlati da manuale descrittivo per l'utilizzo degli stessi.

Output

- Rapporto tecnico: "Analisi BoP per sistemi fuel cells polimerici a bassa ed alta temperatura e database prodotti commerciali [M12]"
- Modello 0D del sistema [M16]
- Rapporto tecnico: "Progettazione BoP, sulle caratteristiche dello stack fornite dal committente, e delle procedure di test di risposta dinamica [M20]
- Rapporto tecnico: "Validazione modello OD su dati sperimentali" [M34]

Faranno inoltre parte degli output tutti i file necessari a definire e lanciare le simulazioni effettuate.

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

***Progettazione e realizzazione sistema controllo sistemi a celle a combustibile con
membrana polimerica***

nell'ambito del

PNRR POR H2

***WP3.1 Ricerca e sviluppo di tecnologie di stack, componenti e processi, per migliorarne le
prestazioni e ridurre i costi***

***LA3.1.5 _B Sviluppo del Balance of Plant per sistemi basati su celle a combustibile a membrana
polimerica***

Rif. Nr. Procedura: 3.1.5_B

Responsabile Accordo: Giuseppe Nigliaccio

Responsabile LA: Giuseppe Nigliaccio

Importo: 60.000,00 €

Durata: 34 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'Accordo di collaborazione riguarda la progettazione, e l'implementazione prototipale su board di sviluppo di sistemi elettronici per l'ottimizzazione ed il controllo del Balance of Plant e dello stack di celle a combustibile.

La progettazione del sistema di controllo deve prendere in considerazione la flessibilità e modularità nei confronti della diversa componentistica da poter integrare nel sistema e della modularità che caratterizza la tecnologia delle celle a combustibile.

Deve essere previsto un sistema di misura e controllo della tensione sulle singole celle e la possibilità di variare i punti di funzionamento del BoP in funzione dei parametri operativi, al fine di migliorare le performance.

Si prevede inoltre un'attività di supporto alla realizzazione di 2 prototipi di cui uno applicato per il controllo di un sistema completo a fuel cells e un altro da utilizzare per il monitoraggio e la caratterizzazione della componentistica. Il software per la gestione deve essere trasferito con relativo manuale.

Output

- Rapporto tecnico “Analisi caratteristiche BoP e stack polimerici su specifiche fornite dal committente ed implementazione dell’architettura di gestione del singolo componente” [M16]
- Rapporto tecnico “Supporto all’integrazione prototipale e validazione del sistema” [M30]
- Rapporto tecnico “Analisi ed ottimizzazione della gestione dello stack” [M34]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Definizione caratteristiche di una rete di interfacciamento per una griglia di FC

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP 3.3 Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione

LA1. 3.3.1 Sviluppo di soluzioni modulari per sistemi basati su celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante

Rif. Nr. Procedura: 3.3.1

Responsabile Accordo: Manlio Pasquali

Responsabile LA: Manlio Pasquali

Importo: 90.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

In questa attività ci si propone di realizzare, a parità di prestazioni rispetto ad un carico esterno, tre diversi sistemi di FC, assemblati con modalità diverse, per poi confrontarne le prestazioni in termini di efficienza, ed affidabilità.

La prima soluzione è quella classica, ovvero l'accoppiamento di un singolo stack con un BOP, dove il tutto è dimensionato per soddisfare le specifiche richieste dall'applicazione considerata.

La seconda soluzione consiste nell'accoppiare, tramite una elettronica dedicata, in serie/parallelo dei sistemi cella 'standardizzati', la terza infine consiste nell'accoppiare in serie/parallelo i soli stack, per poi alimentarli a loro volta con dei BOP 'standard' che ne permettano l'esercizio.

L'applicazione considerata come riferimento per questo studio sarà di tipo trasportistico, in cui il sistema cella potrà eventualmente essere a sua volta accoppiato a delle batterie o supercondensatori.

Nell'ambito dell'attività sopra descritta il lavoro richiesto consiste nella definizione delle caratteristiche dell'elettronica di interfacciamento che consenta di realizzare la 'griglia' di stack, inoltre per le tre soluzioni considerate, oltre alle caratteristiche dell'elettronica che mette in

collegamento i vari stack andranno considerate anche quelle del Sistema di interfacciamento verso il carico esterno.

Il lavoro dovrà essere corredato da uno strumento di modellazione delle prestazioni dell'elettronica, preferibilmente realizzato in ambiente Matlab/Simulink e da un dimostrativo in scala ridotta di una rete serie/parallelo costituita da almeno quattro sorgenti di corrente (come si può considerare una cella a combustibile dal punto di vista elettrico), le sorgenti non dovranno necessariamente essere delle celle, ma solo un sistema di emulazione che permetta di apprezzare le prestazioni dell'elettronica che realizza la griglia di accoppiamento.

Elenco degli output

- Rapporto tecnico "Sistema di accoppiamento di una rete di fuel cell, studio delle problematiche associate e proposta di una elettronica di gestione" [M8]
- Rapporto tecnico "Sistema di accoppiamento di una rete di fuel cell, struttura, analisi di un caso di riferimento tramite simulazione numerica" [M14]
- Rapporto tecnico "Sistema di accoppiamento di una rete di fuel cell, realizzazione di un dimostrativo in scala ridotta" [M24]
- Software di simulazione del sistema realizzato in ambiente Matlab/Simulink [M14]
- Rete dimostrativa [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Identificazione di applicazioni heavy duty per sistemi di movimentazione a celle a combustibile

PNRR POR H2

WP 3.3 Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione

LA.3.3.2 Sviluppo di soluzioni ibride basate su celle a combustibile per applicazioni heavy-duty di trasporto e logistica

Rif. Nr. Procedura: 3.3.2

Responsabile Accordo: Manlio Pasquali

Responsabile LA: Manlio Pasquali

Importo: 90.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

L'attività prevede di individuare dei veicoli heavy-duty di riferimento per applicazioni di movimentazione materiali e trasporto di merci o passeggeri quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo, macchine operatrici, autocarri, treni, o trattori per la logistica portuale, e di dimensionare un sistema di trazione ibrido composto da celle a combustibile e batterie e/o supercondensatori (scelta da effettuare in relazione all'applicazione considerata) per istituire un confronto sulle prestazioni tra questo sistema ed uno di tipo convenzionale.

Il sistema di tipo convenzionale potrà essere, ad esempio, quello di un corrispondente veicolo alimentato da batterie (al piombo o al Litio), oppure da un veicolo con motore a combustione interna.

Laddove la soluzione tradizionale consista in un veicolo alimentato a batterie il confronto potrà considerare fattori quali il tempo di ricarica (fondamentale in alcune applicazioni), la durata di vita ed i costi (in prospettiva) dei due sistemi, l'efficienza, la possibilità di lavorare in ambienti ostili (ad esempio, temperature estreme).

Nell'ambito dell'attività proposta si richiede di individuare diverse applicazioni di riferimento ed i mezzi che le realizzano con la determinazione dei relativi cicli di lavoro.

Si richiede inoltre di sviluppare un modello dinamico in ambiente Matlab/Simulink del sistema di trasporto/movimentazione per varie tipologie di veicoli che consenta, sulla base dei cicli di lavoro individuati, l'analisi delle prestazioni del veicolo alimentato a idrogeno (es. potenze medie e di picco, consumo di idrogeno, recupero di energia, ecc.) e la comparazione di diverse soluzioni tecniche di drive train (ibrido batterie/fuel cell, elettrico, con motore a combustione interna).

Output:

- Relazione tecnica "Identificazione di applicazioni heavy duty e definizione dei requisiti tecnici per il dimensionamento di power unit alimentate a idrogeno" [M12]
- Modello Matlab per la simulazione delle prestazioni di veicoli heavy duty e per il dimensionamento e la caratterizzazione di power unit ibride composte da batterie e celle a combustibile" [M18]
- Relazione tecnica "Caratterizzazione delle prestazioni di veicoli heavy duty alimentati a idrogeno" [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Modellistica di sistemi cella a combustibile PEM con attenzione ai fenomeni di invecchiamento

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP 3.3 Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione

LA 3.3.3 Sviluppo di modelli e della diagnostica per la valutazione delle performance di celle a combustibile

Rif. Nr. Procedura: 3.3.3

Responsabile Accordo: Manlio Pasquali

Responsabile LA: Manlio Pasquali

Importo: 90.000,00 €

Durata: 24 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Uno stack di celle a combustibile di tipo PEM è generalmente composto da una serie di celle elementari, le quali durante un esercizio a carico costante possono mostrare delle oscillazioni di tensioni, che derivano dalla variazione di umidità della membrana che separa i due piatti in cui circolano i gas (idrogeno e aria).

Durante il funzionamento la miscela aria/idrogeno forma dell'acqua, che va ad umidificare la membrana permeabile, che funziona in un punto di ottimo ad una determinata umidità, mentre se troppo secca o, al contrario 'affogata', perde di prestazioni, all'aumentare del tempo di esercizio aumenta l'umidità della membrana. Il sistema di controllo della cella cerca di quantificare l'umidità della membrana e di effettuare, tramite apporto di idrogeno ad 'alta' pressione, una operazione di espulsione dell'acqua dai canali e dalla membrana stessa quando l'umidità è troppo alta (spurgo).

In condizioni di invecchiamento le prestazioni della membrana si deteriorano, in particolare la resistenza non risulta più essere omogenea in tutta la sua superficie, determinando quindi una disomogeneità della distribuzione della corrente che la attraversa: questa disomogeneità contribuisce a sua volta ad invecchiare la membrana. Quindi con l'invecchiamento alla normale

dinamica della variazione di tensione della cella si va a sommare l'effetto del deterioramento delle prestazioni della membrana.

Se si vuole effettuare una valutazione dello stato di salute della cella occorre quindi distinguere tra le normali oscillazioni delle tensioni parziali causate dalla dinamica dello stack e quelle legate ai fenomeni di invecchiamento.

A supporto di questo studio si richiede una indagine preliminare sui fenomeni di invecchiamento associate all'utilizzo di celle a combustibile di tipo PEM e lo sviluppo di un modello dinamico di un sistema cella (stack e balance of plant), il modello dovrebbe essere focalizzato allo studio dei fenomeni legati all'invecchiamento.

Si richiede di fornire una versione del modello realizzata in ambiente Matlab/Simulink.

Output

- Rapporto tecnico "Indagine sui fenomeni di invecchiamento associati alle celle a combustibile di tipo PEM" [M12]
- Rapporto tecnico "Modello dinamico di un sistema Fuel Cell di tipo PEM" [M24]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile ad alta temperatura alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH₃, LOHC) per applicazioni nel settore marittimo

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP 3.3 Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione

LA3.3.4 Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile ad alta temperatura alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH₃, LOHC) per applicazioni nel settore marittimo

Rif. Nr. Procedura: 3.3.4

Responsabile Accordo: Viviana Cigolotti

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Importo: 75.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Le attività di ricerca sui sistemi energetici con celle a combustibile ad alta temperatura, alimentate da carrier di idrogeno alternativi (NH₃, LOHC), dovranno essere incentrate sullo studio ed analisi delle configurazioni impiantistiche ottimali che consentono di raggiungere elevata efficienza e adeguata applicabilità nel settore marittimo. Tale studio dovrà essere condotto mediante lo sviluppo di modelli system-level in grado di simulare sistemi complessi che integrano diversi componenti, da quelli strettamente termochimici ed elettrochimici a quelli meccanici. Importante sarà fornire una caratterizzazione puntuale del BOP in base al tipo di carrier di idrogeno (es. ammoniacale e metanolo) e in base ai vincoli legati alla gestione del calore, alla regolazione della pressione, alle portate massiche ed alla composizione dei flussi di alimentazione allo stack.

Il design dei sistemi integrati innovativi "SOFC-based", da installarsi a bordo nave in sostituzione delle attuali tecnologie basate sui motori a combustione interna, dovrà essere sviluppato partendo da dettagliate valutazioni sul comportamento delle celle a ossidi solidi in un ampio range di

funzionamento considerando l'alimentazione diretta con gli hydrogen carriers. L'analisi tecnica dovrà essere affiancata da valutazioni economiche volte a definire la fattibilità delle soluzioni ottimali individuate. Tutte le valutazioni dovranno essere rivolte ai diversi segmenti del settore marittimo, che possono andare dai piccoli traghetti (ferry boats) alle navi container.

Nello specifico le attività di ricerca dovranno essere focalizzate su: i) individuazione dei profili di missione (in porto ed in navigazione) in base al tipo di nave; ii) selezione dei componenti da integrarsi per realizzare i nuovi sistemi propulsivi tenendo conto delle problematiche relative alla sicurezza, al peso e al volume; iii) definizione di diverse configurazioni impiantistiche in base alla tipologia di nave e al profilo di missione; iv) analisi delle prestazioni in termini di efficienza, densità di potenza ed emissioni; v) analisi di fattibilità economica.

Output:

- Rapporto tecnico “Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico innovativo basato su tecnologia SOFC ed alimentato con carrier di idrogeno” [M6]
- Rapporto tecnico “Definizione delle configurazioni impiantistiche in base alla tipologia di nave, al profilo di missione e al carrier di idrogeno” [M18]
- Rapporto tecnico “Report tecnico sui risultati delle attività di modellazione relative ai componenti e al sistema integrato per le configurazioni ottimali individuate” [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile a bassa temperatura alimentate a idrogeno puro o carrier alternativi (NH₃, LOHC) per applicazioni nel trasporto marittimo

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP 3.3 Sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione

LA3.3.5 Studio e ottimizzazione di configurazioni di sistemi basati su celle a combustibile a bassa temperatura alimentate a idrogeno puro o carrier alternativi (NH₃, LOHC) per applicazioni nel trasporto marittimo, ferroviario e aeronautico

Rif. Nr. Procedura: 3.3.5

Responsabile Accordo: Viviana Cigolotti

Responsabile LA: Viviana Cigolotti

Importo: 60.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Le attività di ricerca sui sistemi energetici con celle a combustibile a bassa temperatura alimentate direttamente con idrogeno o indirettamente con hydrogen carriers dovranno essere incentrate sullo studio ed analisi delle configurazioni impiantistiche ottimali che consentono di raggiungere elevata efficienza e adeguata applicabilità nel settore marittimo.

Lo studio dovrà essere condotto avvalendosi della modellazione numerica sia del tipo component-level che system-level così da ottenere una caratterizzazione sia dei singoli componenti che delle configurazioni impiantistiche complesse specificatamente progettate per la propulsione marittima. Nel caso di alimentazione indiretta delle celle PEM con hydrogen carriers sarà necessario studiare e analizzare le tecnologie di produzione e purificazione di idrogeno in modo da valutare le più idonee dal punto di vista energetico-ambientale.

Nel design delle configurazioni impiantistiche dei nuovi sistemi propulsivi studiati sarà necessario analizzare e caratterizzare il BOP sia sulla base del tipo di combustibile (H₂ o hydrogen carrier) che

sulla scorta dei vincoli legati alla gestione termica degli stack e dei componenti necessari alla produzione/purificazione dell'idrogeno. Le strategie di ottimizzazione dovranno essere sviluppate in riferimento alle prestazioni energetiche-ambientali e ai vincoli di massa e volume a bordo nave. Nello specifico le attività di ricerca dovranno essere focalizzate su: i) definizione e analisi dei profili di missione in ambito mobilità marittima; ii) selezione dei componenti e dei dispositivi necessari (scambiatori, sistemi di accumulo, cracker/reformer, etc) per assicurare il funzionamento ottimale dei sistemi con celle PEMFC tenendo conto delle criticità relative al peso, al volume e alla sicurezza a bordo; iii) definizione delle possibili configurazioni impiantistiche per il settore navale con riferimento al diverso tipo di fuel; iv) modellazione numerica dei componenti e dei sistemi integrati; v) valutazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni in relazione agli specifici profili di missione; vi) analisi di fattibilità economica.

Output:

- Rapporto tecnico “Selezione dei componenti e dei dispositivi necessari per assicurare il corretto funzionamento del sistema energetico basato su tecnologia PEMFC e definizione delle configurazioni impiantistiche in base al profilo di missione e al carrier di idrogeno per applicazioni navali” [M18]
- Rapporto tecnico “Sviluppo dei modelli numerici, caratterizzazione delle configurazioni ottimali e analisi delle prestazioni del sistema PEMFC per applicazioni navali” [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio sui contaminanti provenienti dalle diverse tecnologie di produzione di biogas

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.4 Studio e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile, alimentati con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionale, per applicazioni stazionarie e per comunità energetiche locali

LA3.4.1_A Studio parametrico dei principali meccanismi di degrado legati all'utilizzo di miscele di gas non convenzionali in sistemi SOFC

Rif. Nr. Procedura: 3.4.1_A

Responsabile Accordo: Davide Pumiglia

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Importo: 60.000,00 €

Durata: 18 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Nell'ambito della LA 3.4.1 si prevede di sviluppare metodologie sperimentali in grado di determinare con precisione la natura dei fenomeni di degrado relativi a celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC) alimentate con miscele di gas non convenzionali in cui la presenza di specie contaminanti può risultare dannosa per l'operazione di cella. Per ciascun tipo di contaminante, l'obiettivo è di individuare le interazioni dei singoli contaminanti con i processi fisico-chimici che avvengono in cella e le mutue interazioni nella compresenza di contaminanti, e definire limiti di tolleranza per le principali specie chimiche nocive.

Al fine di definire un *Design of Experiment (DoE)* delle campagne sperimentali che sia quanto più accurato possibile, è necessario identificare, a monte, le principali specie chimiche considerate nocive per le SOFC e prodotte da: a) processi di gassificazione di biomasse, b) processi di digestione anaerobica dei rifiuti organici, c) miscele idrogeno-gas naturale (qualità gas di rete, odorizzato). Per ciascuna sorgente, è necessario che tipologia e quantità relative di ciascun gas contaminante siano accuratamente definite sulla base di dati provenienti da impianti di produzione reali.

Output

- Report tecnico su studio sistematico sull'analisi dei contaminanti contenuti nei gas prodotti dalle diverse sorgenti [M18]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Modellazione matematica e numerica di celle a combustibile ad alta temperatura di tipo SOFC

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.4 Studio e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile, alimentati con idrogeno puro, miscele idrogeno-metano e feedstock non convenzionale, per applicazioni stazionarie e per comunità energetiche locali

LA3.4.1_B Studio parametrico dei principali meccanismi di degrado legati all'utilizzo di miscele di gas non convenzionali in sistemi SOFC

Rif. Nr. Procedura: 3.4.1_B

Responsabile Accordo: Davide Pumiglia

Responsabile LA: Davide Pumiglia

Importo: 75.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Il presente Accordo di collaborazione ha come obiettivo lo sviluppo e validazione di un modello matematico tridimensionale, reattivo, non isoterma e tempo-variante in grado di descrivere la distribuzione di pressione, velocità, temperatura e concentrazione di prodotti e reagenti all'interno di una cella a combustibile ad alta temperatura di tipo SOFC, schematizzata come un dominio fluido e parzialmente poroso. Il modello matematico dovrà essere implementato e risolto numericamente utilizzando un codice di calcolo non commerciale di tipo open source (ad es. openFoam®) e dovrà essere basato sul metodo dei volumi finiti. Il modello potrà essere utilizzato per analizzare gli effetti di invecchiamento (Aging) di una singola cella valutando sia gli stress termici dei materiali che l'eventuale deposizione di particelle carboniose nei siti di reazione in funzione delle condizioni operative.

Output

- Report tecnico sulla modellazione matematica selezionata per strutturare il modello [M12]
- Report tecnico sulla validazione del modello a partire da dati sperimentali [M20]

- Report tecnico sull'applicazione del modello per l'analisi di effetti di degrado e ottimizzazione delle prestazioni [M30]
- Modello matematico completo e validato in un codice di calcolo di tipo open source [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Attività di formazione sulle diverse tecnologie per l'uso dell'idrogeno in applicazioni con celle a combustibile

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP3.5 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie e sistemi innovativi di celle a combustibile, analisi tecnico economiche, SLCA, LCA, e formazione di figure professionali

LA3.5.5 Utilizzo della H2 Valley e dei laboratori presenti nei Centri di Casaccia, Portici, Bologna per promuovere formazione sulle diverse tecnologie per l'uso dell'idrogeno in applicazioni con celle a combustibile. Organizzazione di Summer School tematiche

Rif. Nr. Procedura: 3.5.5

Responsabile Accordo: Carla Menale

Responsabile LA: Carla Menale

Importo: 60.000,00 €

Durata: 36 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

La transizione energetica richiede indubbiamente investimenti, oltre che nello sviluppo tecnologico, anche in azioni di crescita culturale rivolte ai cittadini, cui dev'essere fornita l'opportunità di aggiornare e riqualificare le proprie conoscenze sugli argomenti più innovativi.

Di assoluto rilievo è favorire la divulgazione, l'istruzione e la formazione a tutti i livelli per sviluppare un'ampia base di conoscenze sulle potenzialità dell'utilizzo dell'idrogeno e di competenze specifiche sulle tecnologie e usi finali ad esso collegati. Per la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno su larga scala è necessario supportare la crescita e formazione di figure professionali. Gli obiettivi principali sono:

- fornire accesso a conoscenze professionali e abilità pratiche di alta qualità nell'area delle tecnologie delle celle a combustibile;
- formare una forza lavoro adeguata e capace per costruire e mantenere una catena del valore competitiva dell'idrogeno pulito e far crescere l'industria emergente delle celle a combustibile.

Per tali ragioni è richiesta una collaborazione con un istituto universitario, con provata esperienza nei processi elettrochimici, che dovrà provvedere a organizzare corsi, eventi, sessioni di apprendimento pratico e materiali didattici relativi alla tecnologia delle celle a combustibile.

Nello specifico l'università dovrà occuparsi di:

- sessioni tematiche all'interno di master universitari;
- corsi specifici sul tema delle tecnologie, basandosi su un'esperienza consolidata sulla tematica in oggetto;
- realizzazione di pacchetti di formazione con prodotti audio-visivi sulla tematica specifica;
- individuare modalità interattive di approccio alla tematica della produzione di idrogeno con intento di formazione di studenti e operatori del settore.

In particolare, i risultati attesi sono:

- Definizione programmi di formazione;
- Organizzazione di sessioni tematiche di master universitari dedicati alla tematica idrogeno e celle a combustibile;
- Organizzazione di eventi, corsi e piattaforme di diffusione di prodotti di formazione scolastica e professionale.
- Organizzazione di eventi, corsi e piattaforme di diffusione di prodotti di formazione universitaria e postuniversitaria.

Output

- Rapporto tecnico "Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per le celle a combustibile 1° anno" [M6]
- Rapporto tecnico "Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per le celle a combustibile 2° anno" [M18]
- Rapporto tecnico "Rapporto tecnico "Attività di formazione su tecnologie per le celle a combustibile 3° anno" [M30]
- Rapporto tecnico "Impatti derivanti dalle azioni di formazione/divulgazione sul tema delle celle a combustibile" [M36]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio e definizione di logiche di controllo dei convertitori di interfaccia per elettrolizzatori e celle a combustibile utilizzati in reti intelligenti caratterizzate da avanzata penetrazione del vettore idrogeno

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP4.1 Ricerca, sviluppo e implementazione di algoritmi di smart management per infrastrutture basate sull'idrogeno, per l'erogazione di servizi ancillari e l'interoperabilità con altri sistemi e reti. Test e applicazioni

LA4.1.1 Progettazione e test di dispositivi e apparati per l'interfacciamento, la gestione e la protezione di sistemi basati su idrogeno con capacità di erogazione di servizi ancillari alle reti energetiche

Rif. Nr. Procedura: 4.1.1

Responsabile Accordo: Giovanna Adinolfi

Responsabile LA: Giovanna Adinolfi

Importo: 33.000,00 €

Durata: 23 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Obiettivo principale delle attività di ricerca sarà la definizione delle logiche e degli algoritmi di controllo dei convertitori switching che vengono utilizzati per l'interfacciamento di elettrolizzatori e celle a combustibile con la rete elettrica.

Partendo dalla letteratura di settore saranno analizzate le soluzioni topologiche e le strategie di controllo adottate nei sistemi di accumulo di idrogeno per il trasporto e la distribuzione, per le applicazioni stazionarie (come le comunità energetiche) e per i contesti di produzione di idrogeno verde da fonte solare e/o eolica.

Laddove non presenti in letteratura, dovranno essere proposti algoritmi coerenti con le caratteristiche e necessità degli ambiti applicativi.

Per ogni logica di controllo dei convertitori proposta e/o tratta dalla letteratura specialistica dovranno essere forniti le specifiche, il diagramma di flusso e lo pseudocodice. Sulla base delle

analisi dei diversi contesti applicativi, sarà richiesto lo sviluppo pre-implementativo delle logiche più significative (una strategia di controllo per il controllore a bordo dell'elettrolizzatore e una strategia di controllo per il controllore a bordo della cella a combustibile).

Nello specifico, le attività di ricerca dovranno essere focalizzate su:

- i) Identificazione e/o definizione di strategie di controllo da implementare a bordo di convertitori di interfaccia di elettrolizzatori utilizzati negli ambiti del trasporto e della distribuzione dell'idrogeno;
- ii) Identificazione e/o definizione di strategie di controllo da implementare a bordo di convertitori di interfaccia di celle a combustibile utilizzate in applicazioni stazionarie (comunità energetiche) e nel trasporto stradale, ferroviario e marittimo;
- iii) Identificazione e/o definizione di strategie di controllo da implementare a bordo di convertitori di interfaccia di elettrolizzatori e celle a combustibile utilizzate in contesti di produzione di idrogeno verde da fonte solare e/o eolica con conseguente accumulo e generazione di energia elettrica;
- iv) Identificazione e/o definizione di strategie di controllo da implementare a bordo di convertitori di interfaccia di elettrolizzatori e celle a combustibile utilizzati per la fornitura di servizi ancillari di rete, anche in collaborazione o supporto ad altri apparati di rete.

Tali logiche di controllo dovranno prevedere azioni di coordinamento con quelle implementate nei controllori degli elettrolizzatori e delle celle a combustibile della LA4.1.2. Esse dovranno, inoltre, consentire l'attuazione di procedure attuabili da remoto.

Output:

- Rapporto tecnico: "Logiche di controllo da implementare a bordo di convertitori di interfaccia di elettrolizzatori e celle a combustibile in diversi ambiti applicativi" [M15]
- Rapporto tecnico: "Sviluppo pre-implementativo delle logiche più significative (una strategia di controllo per il controllore a bordo dell'elettrolizzatore e una strategia di controllo per il controllore a bordo della cella a combustibile) per gli ambiti applicativi di interesse" [M23]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Studio e sviluppo di casi d'uso, architettura e flussi logici di controllo per reti energetiche avanzate caratterizzate da avanzata penetrazione del vettore idrogeno

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP4.2 Sperimentazione e validazione di una infrastruttura basata sull'idrogeno in scala microgrid

LA4.2.1 Infrastrutture basate sull'idrogeno: studio sperimentale in emulazione dell'integrazione nei diversi ambiti applicativi su scala microrete

Rif. Nr. Procedura: 4.2.1

Responsabile Accordo: Maria Valenti

Responsabile LA: Maria Valenti

Importo: 45.000,00 €

Durata: 30 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Obiettivo principale delle attività di ricerca sarà la definizione di architetture di reti energetiche multisettoriali, basate sull'utilizzo di vettori energetici multipli, con particolare riguardo al vettore idrogeno. Le architetture di rete devono essere coerenti a casi d'uso specifici, definiti sulla base di differenti strategie energetiche. I casi d'uso si baseranno su una elevata penetrazione dell'idrogeno all'interno del framework energetico, contemplando pertanto differenti ambiti di produzione di H₂, così come diverse soluzioni di utilizzo. Il quadro complessivo dei casi d'uso definiti, e delle architetture di rete proposte, deve essere tale da permettere di applicare diversi casi d'uso ad ogni architettura di rete, e di associare diverse architetture di rete per ogni caso d'uso. Per ogni architettura di rete energetica proposta dovrà essere fornito il flusso logico di controllo per la gestione delle risorse energetiche coinvolte: tale logica sarà alla base della definizione degli algoritmi di alto e basso livello da applicare all'interno delle architetture di rete.

Nello specifico, le attività di ricerca dovranno essere focalizzate su:

- i) Definizione di casi d'uso di reti energetiche, caratterizzate sull'utilizzo del vettore idrogeno, basati sulla condivisione di risorse (produzione, consumo) o infrastrutture energetiche. I casi

d'uso dovranno essere riconducibili a diversi ambiti applicativi, e coinvolgere attivamente le infrastrutture energetiche basate sul vettore idrogeno;

- ii) Modellazione delle configurazioni strutturali di reti energetiche (microgrid) caratterizzate da una elevata penetrazione del vettore idrogeno. La microgrid deve contemplare differenti soluzioni di produzione, stoccaggio ed utilizzo di idrogeno, come ad esempio l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico decarbonizzato all'interno delle reti gas, o come carburante per l'autotrazione. Le reti energetiche devono risultare compatibili con almeno due casi d'uso definiti al punto i);
- iii) Definizione dei flussi logici di controllo delle reti energetiche, finalizzato alla gestione delle risorse energetiche coinvolte nelle differenti condizioni d'uso.

Output:

- Rapporto tecnico: "Produzione dei casi d'uso connessi a diversi ambiti applicativi e modellazione delle configurazioni architetture delle reti energetiche" [M20]
- Rapporto tecnico: "Produzione dei flussi logici di controllo per la gestione delle reti energetiche" [M30]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

Sviluppo di metodi avanzati di analisi spaziale per la valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in relazione alle reti di trasporto e distribuzione e ai nodi di produzione e utilizzo dislocati in siti ottimali

nell'ambito del

PNRR POR H2

WP4.3 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di tecnologie emergenti, componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate sull'idrogeno e formazione di figure professionali

LA4.3.3 Metodologie e strumenti GIS per la identificazione di siti ottimali e la valutazione del potenziale di idrogeno

Rif. Nr. Procedura: 4.3.3

Responsabile Accordo: Grazia Fattoruso

Responsabile LA: Grazia Fattoruso

Importo: € 55.000,00

Durata: 12 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Obiettivo principale delle attività di ricerca sarà la definizione di metodologie spazialmente basate per l'identificazione di siti idonei per l'installazione di *facility* di produzione dell'idrogeno verde e dei punti di prelievo/distribuzione, e per la valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in relazione al sistema di reti dell'idrogeno. Allo scopo sarà necessario definire modelli digitali del sistema di reti di idrogeno nelle componenti di trasporto e distribuzione nonché individuare criteri specifici di *site suitability* per i nodi di produzione ed utilizzo dell'idrogeno. I criteri selezionati, implementati come variabili geografiche, sono alla base del processo di elaborazione di mappe di *site suitability* per l'idrogeno, visualizzabili e interrogabili tramite *map viewer*. I modelli digitali delle reti di idrogeno unitamente a parametri, opportunamente identificati, sono alla base della valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno in relazione sia alle reti di trasporto e distribuzione che ai nodi di produzione e utilizzo dislocati nei siti ottimali.

Nello specifico, le attività di ricerca dovranno essere focalizzate su:

- Definizione e sviluppo di modelli digitali del sistema di reti di idrogeno in riferimento a casi d'uso opportunamente individuati
- Definizione di criteri di *site suitability* per la dislocazione ottimale di componenti di produzione, stoccaggio, distribuzione delle reti di idrogeno e di valutazione del potenziale di idrogeno.

Output:

- Rapporto tecnico: “Definizione e sviluppo dei modelli digitali delle reti di idrogeno” [M8]
- Rapporto tecnico: “Definizione di criteri di *site suitability* e di valutazione del potenziale tecnico dell'idrogeno” [M12]

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

**Supporto allo sviluppo di componentistica per gemello digitale delle reti di trasporto e
distribuzione idrogeno**

nell'ambito del

PNRR POR H2

***WP4.3 Definizione di standard, metodologie e linee guida per il test e la validazione di
tecnologie emergenti, componenti e sistemi di gestione e controllo per infrastrutture basate
sull'idrogeno e formazione di figure professionali***

***LA4.3.4 DIGITAL TWIN: MODELLISTICA DELLA RETE DI TRASPORTO E DI DISTRIBUZIONE
DELL'IDROGENO***

Rif. Nr. Procedura: 4.3.4

Responsabile Accordo: Saverio De Vito

Responsabile LA: Saverio De Vito

Importo: € 55.000,00

Durata: 12 mesi

Oggetto dell'Accordo di collaborazione

Obiettivo principale delle attività di ricerca sarà il supporto allo sviluppo dell'architettura di un sistema digital twin per infrastrutture di trasporto/distribuzione idrogeno mediante lo sviluppo di componentistica SW per gemelli digitali di reti ad-hoc o che ne supportino l'utilizzo.

L'attività include

- a) Definizione di modelli fisico/chimici di trasporto di fluidi, incluse miscele, in pressione.
- b) Definizione di codici numerici di simulazione temporale di componenti specifiche di tali reti quali ad esempio nodi di prelievo ed immissione/compressione, segmenti di trasporto e componenti di storage.

Le componenti dovranno essere implementate mediante linguaggi di scripting o con linguaggi alternativi interfacciabili con essi. Dovranno essere inoltre pienamente configurabili nei parametri fondamentali e componibili al fine di realizzare modelli globali interattivi della rete stessa con l'obiettivo di simulare il completo funzionamento e la generazione dati da reti sensoriali distribuite in condizioni operative:

1. Nominali,
2. sottoposte a variazione parametrica,
3. guasto.

Output:

- Rapporto tecnico: “Modelli fisico-chimici e componenti per la simulazione di nodi e segmenti significativi di reti di trasporto e distribuzione del vettore Idrogeno” [M6]
- Componenti SW: “Componenti di simulazione fisico-chimica di nodi e segmenti significativi di reti di trasporto e distribuzione del vettore Idrogeno” [M12]

Allegato 7 alla Disposizione n. 465/2022/PRES



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

AVVISO DI MANIFESTAZIONE DI INTERESSE

Per la partecipazione alla procedura per la selezione di soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca, dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative, con i quali collaborare nell'ambito del PNRR POR H2.

Con il presente avviso l'ENEA – Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – Lungotevere Grande Ammiraglio Thaon di Revel, n. 76 – 00196 Roma – URL <http://www.enea.it> – Codice NUTS ITI43 – Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili – Divisione Produzione, Storage e Utilizzo dell'energia (TERIN-PSU), intende effettuare un'indagine per procedere all'affidamento di collaborazioni nell'ambito del PNRR POR H2. L'indagine approvata con **Disposizione n. ____/2022/PRES del _____**, è finalizzata all'individuazione di soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca per l'affidamento degli Accordi la cui lista sintetica è riportata in allegato.

L'Agenzia si riserva la possibilità di sospendere, modificare o annullare, in tutto o in parte, il procedimento avviato, e di non dar seguito all'affidamento degli Accordi di cui trattasi, senza che i soggetti richiedenti possano vantare alcuna pretesa a qualsiasi titolo. L'Agenzia si riserva la facoltà di affidare il singolo accordo anche in presenza di una sola proposta formalmente valida, purché ritenuta congrua e conveniente per l'ENEA.

1. Oggetto degli Accordi

Gli Accordi di collaborazione hanno per oggetto Servizi di ricerca e sviluppo sperimentale CPV 73100000-3

Codice NUTS: ITI43 (Roma)

2. Durata e importo degli Accordi

L'importo presunto complessivo delle collaborazioni da affidare ammonta ad **Euro 4.213.000,00**

La durata dei singoli Accordi di collaborazione è desunta dalle rispettive Schede di Attività.

3. Requisiti di partecipazione

I requisiti richiesti per la partecipazione sono lo status di soggetto pubblico avente finalità istituzionali e statutarie di ricerca.

Nel caso di soggetti diversi dalle università pubbliche sarà richiesto il relativo statuto per dimostrare il possesso dei suddetti requisiti.

4. Termini e modalità di presentazione della manifestazione d'interesse

La presente procedura sarà gestita con modalità telematica. A tal fine, si invitano i soggetti interessati, che non siano già registrati alla piattaforma telematica U-BUY dell'ENEA, ad effettuare il processo di registrazione per l'ottenimento delle credenziali di accesso, quale operatore economico, attraverso la piattaforma telematica di e-procurement utilizzata dall'ENEA e disponibile all'indirizzo web: <https://enea.ubuy.cineca.it/PortaleAppalti/it/homepage.wp>.

Per ottenere le credenziali di accesso quale operatore economico, le informazioni sulla piattaforma, le modalità di registrazione, le modalità di inoltro della manifestazione di interesse si consiglia di accedere al link: <https://www.enea.it/it/imprese/registrazione-piattaforma-telematica-enea>

Si evidenzia che non sarà ammessa altra modalità di presentazione della richiesta di partecipazione alla presente procedura di gara, pertanto gli operatori economici che presenteranno richiesta via PEC non saranno presi in considerazione.

Recapiti da usare esclusivamente nel caso di mancato funzionamento della piattaforma telematica adottata per lo svolgimento della procedura. Nominativo: Dr. Carmine Marchetti, numero telefonico: tel. 06/30486566; PEC: carmine.marchetti@cert.enea.it

Attraverso l'utilizzo delle credenziali di accesso, gli operatori interessati potranno accedere alla loro Area Riservata ed inviare la loro manifestazione di interesse.

La manifestazione di interesse per la partecipazione alla presente indagine dovrà essere resa secondo quanto indicato nel documento "PNRR POR H2_Procedura per la partecipazione" attraverso la compilazione e l'invio del modulo "PNRR POR H2_Modulo Manifestazione Interesse" con gli allegati richiesti.

La documentazione richiesta dovrà pervenire, **entro e non oltre il giorno _____.**

Il Modulo di manifestazione di interesse ed i documenti allegati dovranno essere firmati mediante “firma digitale” del Legale Rappresentante, o Procuratore, del soggetto partecipante.

5. Data dell’invio e della pubblicazione sul profilo committente

Il presente avviso è stato pubblicato sulla **piattaforma telematica di e-procurement utilizzata dall’ENEA** e disponibile all’indirizzo web: <https://enea.ubuy.cineca.it/PortaleAppalti/it/homepage.wp> il .

Resterà pubblicato e valido ai fini della manifestazione d’interesse in oggetto per **15** giorni solari consecutivi, a partire dalla data di pubblicazione.

6. Criterio di affidamento

Si rimanda al documento “PNRR POR H2_Procedura per l’assegnazione”.

7. Altre informazioni

Il trattamento dei dati inviati dai soggetti interessati si svolgerà conformemente alle disposizioni contenute nel D. Lgs. n. 196/2003, per finalità unicamente connesse alla procedura in argomento.

8. Responsabile Amministrativo

Per ulteriori informazioni relative al presente Avviso rivolgersi al Dr. Daniele Remoli – tel. 06-3627.2310 – e-mail: daniele.remoli@enea.it – PEC: daniele.remoli@cert.enea.it

Il Direttore del Dipartimento TERIN

Allegato 8 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

A ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti
Rinnovabili
Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma Italia

Oggetto: Manifestazione di interesse ad essere invitato alla procedura negoziata per collaborazioni relative alle attività del PNRR Idrogeno (PNRR, Missione 2, Componente 2, Investimento 3.5, NEXT GENERATION EU)

Il sottoscritto NOME COGNOME nato/a a LUOGO DI NASCITA (AA) il 12-08-1968 in qualità di legale rappresentante / procuratore speciale del soggetto giuridico XXXXXXXX YYYYYYY, Codice Fiscale inserire codice fiscale, partita IVA Inserire partita iva, con sede legale in Via delle Ville 56, 00123 Roma (IT), PEC: pec@cert.pec.it, e-mail: mail@lr.com

DICHIARA

ai sensi del D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445

A. il proprio interesse a rispondere all'avviso pubblicato dall'ENEA con riferimento alle attività di seguito specificate:

Procedura	Oggetto	Importo
1.1.2	Progettazione stack AEL ad alte prestazioni	90.000,00

B. di essere in possesso dei requisiti di partecipazione indicati nell'avviso di manifestazione di interesse.

Luogo, Napoli
Data come da firma digitale

Firma

Allegare copia documento di identità del firmatario ed eventuale procura speciale se la persona che sottoscrive non è il Legale Rappresentante.

Allegare copia dello statuto se la Tipologia di Soggetto è Altro.

Allegato 9 alla Disposizione n. 465/2022/PRES



ACCORDO DI COLLABORAZIONE

TRA

l'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (nel seguito denominata "ENEA"), con sede legale in Lungotevere Grande Ammiraglio Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma, (Codice Fiscale: 01320740580 – Partita IVA: 00985801000) nella persona dell'Ing. Giorgio Graditi, Direttore del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili (giusta delega rilasciata con Disposizione n. ____/2022/PRES del ____), domiciliato per la carica presso la suindicata sede

E

l'Università ____ (nel seguito denominata "Soggetto Pubblico Prescelto"), con sede legale in ____ (Codice Fiscale: ____ – Partita IVA: ____), nella persona del Legale rappresentante ____, domiciliato per la carica presso la suindicata sede; (ENEA e Soggetto Pubblico Prescelto nel seguito denominate anche, singolarmente, la "Parte" e, congiuntamente, le "Parti")

PREMESSO CHE:

- l'ENEA è un ente di diritto pubblico finalizzato alla ricerca e all'innovazione tecnologica, nonché alla prestazione di servizi avanzati e supporto tecnico-scientifico alle imprese, alla pubblica amministrazione e alla comunità nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile;
- l'ENEA è il Soggetto Realizzatore (insieme a CNR ed RSE in qualità di Soggetti Co-Realizzatori) del PNRR POR H2 stipulato a valle dell'Accordo di programma fra MITE ed ENEA per la regolamentazione dei rapporti in relazione allo svolgimento di attività di ricerca nell'ambito



del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 2
“rivoluzione verde e transizione ecologica” – Componente 2 “energia
rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile” – Investimento 3.5
“ricerca e sviluppo sull'idrogeno”, finanziato dall'Unione Europea – Next
Generation EU;

- l'ENEA, per attuare il POR approvato, intende affidare, sulle varie Linee di Attività previste, degli Accordi di collaborazione con soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca, dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative;
- i temi di ricerca delle collaborazioni hanno carattere di ricerca fondamentale e/o sperimentale, a totale beneficio della collettività. Pertanto, i risultati degli Accordi di collaborazione non possono formare oggetto di alcun diritto di uso esclusivo o prioritario, né di alcun vincolo di segreto o riservatezza, così come richiesto dall'art. 158 del D. Lgs 19 aprile 2016 n. 50, “Codice degli Appalti” (CA). Pertanto al riguardo non si applica il citato CA.
- il Soggetto Pubblico Prescelto è stato selezionato attraverso l'Avviso pubblico di Manifestazione di Interesse;
- il Soggetto Pubblico Prescelto ha presentato la propria manifestazione di interesse, in risposta al suddetto Avviso, in relazione alla Linea di Attività ____;
- il Soggetto Pubblico Prescelto, ____, è un ateneo istituito ____
- l'ENEA e il Soggetto Pubblico Prescelto intendono sottoscrivere il presente Accordo di collaborazione per lo svolgimento delle attività indicate nella Scheda di Attività relativa alla Linea di Attività ____.



VISTO CHE:

- tutta la normativa eurounionale e nazionale, così come le circolari adottate dal Ministero dell'economia e delle finanze, Dipartimento della Ragioneria generale dello Stato e dal Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, Dipartimento dell'Unità di missione per il PNRR, richiamate tra le premesse, i visti e i considerata del citato Accordo di Programma sono da considerarsi parte integrante del preambolo del presente Accordo di Collaborazione;

TUTTO CIÒ PREMESSO E VISTO, SI CONVIENE E SI STIPULA

QUANTO SEGUE:

Art. 1

(Premesse)

- Le premesse e i visti costituiscono parte integrante e sostanziale del presente Accordo e si considerano integralmente riportate nel presente articolo.

Art. 2

(Finalità e Oggetto)

- L'ENEA e il Soggetto Pubblico Prescelto intendono collaborare alla implementazione delle attività previste nella Scheda di Attività relativa alla Linea di Attività ____ del PNRR POR H2.
- Ai fini del precedente comma 1, l'ENEA e il Soggetto Pubblico Prescelto metteranno reciprocamente a disposizione le proprie rispettive conoscenze e competenze sulle tematiche di interesse per lo sviluppo delle attività.
- La collaborazione fra le Parti sarà basata sui principi di reciprocità, trasparenza ed equa distribuzione di oneri e benefici scaturiti.



Art. 3

(Task e rispettivi ruoli delle Parti)

1. Le attività oggetto di collaborazione si articolano secondo quanto descritto nella Scheda di Attività _____ che è parte integrante e sostanziale del presente Accordo.
2. Per ciascun task di attività il Soggetto Pubblico Prescelto dovrà produrre l'output previsto nei tempi stabiliti come previsti nella Scheda di Attività.
3. L'ENEA, in qualità di soggetto Realizzatore del PNRR POR H2, ricopre il ruolo di leader della presente collaborazione.
4. La partecipazione del Soggetto Pubblico Prescelto è funzionale al raggiungimento degli scopi previsti nel POR ed in particolare relativi alla Linea di Attività ____.

Art. 4

(Responsabili dell'Accordo)

1. Al fine dell'attuazione del presente Accordo l'ENEA designa quale Responsabile dell'Accordo ____.
2. Il Soggetto Pubblico Prescelto dovrà comunicare all'ENEA il nominativo del relativo responsabile.

Art. 5

(Obblighi delle Parti)

1. Per l'attuazione del presente Accordo le Parti si impegnano a:
 - a) utilizzare le proprie risorse umane e strumentali per svolgere le attività nel rispetto della normativa vigente;
 - b) svolgere le attività di propria competenza con la massima cura e diligenza e secondo quanto previsto al precedente art. 3;



c) informare l'altra Parte sulle attività effettuate e sulle criticità eventualmente rilevate nell'ottica del miglioramento continuo delle attività.

2. Il Soggetto Pubblico Prescelto si impegna altresì, con riferimento alle attività di propria competenza, a:

- a. assicurare il rispetto di tutte le disposizioni previste dalla normativa comunitaria e nazionale, con particolare riferimento a quanto previsto dal regolamento (UE) 2021/241 e dal decreto-legge n. 77 del 2021, convertito, con modificazioni, dalla legge n. 108 del 2021;
- b. assicurare che la realizzazione delle attività progettuali sia coerente con i principi e gli obblighi specifici del PNRR relativamente al principio "non arrecare un danno significativo" (DNSH) ai sensi dell'articolo 17 del Reg. (UE) 2020/852 e delle indicazioni fornite dalla circolare MEF-RGS del 13 ottobre 2022, n. 33, recante "Aggiornamento Guida operativa per il rispetto del principio di non arrecare danno significativo all'ambiente";
- c. assicurare, ove applicabili, che la realizzazione delle attività progettuali sia coerente con i principi del Tagging clima e digitale, della parità di genere (Gender Equality) in relazione agli articoli 2, 3, paragrafo 3, del TUE, 8, 10, 19 e 157 del TFUE, e 21 e 23 della Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea, nonché della protezione e valorizzazione dei giovani e del superamento dei divari territoriali;
- d. dare piena attuazione al progetto, garantendone l'avvio tempestivo e la realizzazione operativa, per non incorrere in ritardi attuativi e



concluderli nella forma, nei modi e nei tempi previsti, al fine di garantire il soddisfacente conseguimento, secondo le scadenze concordate con l'Unione europea, delle milestone/target ad essi collegate, per la quota parte di competenza del progetto;

e. individuare eventuali fattori che possano determinare ritardi che incidano in maniera considerevole sulla tempistica attuativa e di spesa, definita nel cronoprogramma di progetto, relazionando ad ENEA, il quale a sua volta riferirà tempestivamente all'Amministrazione centrale titolare dell'intervento;

f. garantire, nel caso in cui si faccia ricorso alle procedure di appalto, il rispetto della normativa applicabile in materia;

g. rispettare, in caso di ricorso diretto ad esperti esterni all'Ente, la conformità alla pertinente disciplina comunitaria e nazionale, nonché alle eventuali specifiche circolari/disciplinari che potranno essere adottati dal Ministero;

h. assicurare ad ENEA il trasferimento dei dati di avanzamento finanziario, fisico e procedurale della proposta progettuale di cui al presente Accordo;

i. presentare ad ENEA la rendicontazione delle spese effettivamente sostenute, o dei costi esposti maturati nel caso di ricorso alle opzioni di costo semplificate, propedeutiche alle istanze di erogazione di cui all'articolo 6 del presente Accordo;

j. effettuare i controlli interni previsti dalla legislazione nazionale applicabile per garantire la regolarità delle procedure e delle spese sostenute;



- k. adottare misure adeguate volte a rispettare il principio di sana gestione finanziaria secondo quanto disciplinato nel regolamento finanziario (UE, Euratom) 2018/1046 e nell'articolo 22 del regolamento (UE) 2021/241, in particolare in materia di prevenzione dei conflitti di interessi, delle frodi, comprese le frodi sospette, della corruzione e di recupero e restituzione dei fondi che sono stati indebitamente assegnati nonché di garantire l'assenza del c.d. doppio finanziamento ai sensi dell'articolo 9 del regolamento (UE) 2021/241;
- l. garantire una tempestiva diretta informazione agli organi preposti tenendo informato ENEA sull'avvio e l'andamento di eventuali procedimenti di carattere giudiziario, civile, penale o amministrativo che dovessero interessare le operazioni oggetto del progetto e comunicare le irregolarità, le frodi, i casi di corruzione e di conflitti di interessi riscontrati, nonché i casi di doppio finanziamento a seguito delle verifiche di competenza e adottare le misure necessarie in linea con quanto indicato dall'articolo 22 del regolamento (UE) 2021/241;
- m. assicurare la completa tracciabilità delle operazioni e la tenuta di una codificazione contabile adeguata (o adozione di un sistema di contabilità separata) e informatizzata per tutte le transazioni relative alla proposta progettuale;
- n. garantire la conservazione della documentazione progettuale in fascicoli cartacei o informatici per assicurare la completa tracciabilità delle operazioni - nel rispetto di quanto previsto



all'articolo 9, comma 4, del decreto-legge n. 77 del 2021, convertito, con modificazioni, dalla legge n. 108 del 2021 - che, nelle diverse fasi di controllo e verifica dovranno essere messi prontamente a disposizione su richiesta di ENEA, dell'Amministrazione centrale titolare di intervento PNRR, del Servizio centrale per il PNRR, dell'Unità di Audit, della Commissione europea, dell'OLAF, della Corte dei Conti europea (ECA), della Procura europea (EPPO) e delle competenti Autorità giudiziarie nazionali e autorizzare la Commissione, l'OLAF, la Corte dei conti e l'EPPO a esercitare i diritti di cui all'articolo 129, paragrafo 1, del regolamento finanziario (UE; EURATOM) 1046/2018;

o. garantire il rispetto degli adempimenti in materia di trasparenza amministrativa ex D.lgs. 25 maggio 2016, n. 97;

p. rispettare l'obbligo di indicazione del CUP su tutti gli atti amministrativo/contabili inerenti agli interventi ammessi a finanziamento e dei codici identificativi di gara (CIG) ove pertinenti;

q. rispettare gli obblighi in materia di comunicazione e informazione previsti dall'articolo 34 del regolamento (UE) 2021/241, attraverso l'indicazione, nella documentazione progettuale, che il progetto è finanziato nell'ambito del PNRR, con una esplicita dichiarazione di finanziamento che reciti “finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU” e valorizzando l'emblema dell'Unione europea;



- r. rispettare ogni altra disposizione, principio, istruzione, linea guida, circolare, prevista per l'attuazione del PNRR, ove di competenza.

Art. 6

(Importo dell'Accordo)

1. L'importo che l'ENEA erogherà al Soggetto Pubblico Prescelto per lo svolgimento del presente Accordo è pari ad € ____ (____/00) a valere sul finanziamento di cui al PNRR POR H2.
2. Il suddetto importo sarà erogato secondo le seguenti modalità: anticipazione del 20%, la parte rimanente in quote uguali all'approvazione da parte del Responsabile dell'Accordo ENEA di ciascun output previsto.
3. Per ciascun pagamento il Soggetto Pubblico Prescelto invierà Nota di Debito all'indirizzo mail fatture.dte@enea.it.
4. Ciascuna Nota di Debito dovrà riportare i seguenti elementi:
Attività di collaborazione relativa alla **Linea di Attività _____**
del PNRR, Missione2, Componente2, Investimento3.5, NEXT
GENERATION EU
CUP: I83C22001170006
5. I pagamenti saranno effettuati entro 30 giorni dal ricevimento delle Note di Debito.

Art. 7

(Obblighi di riservatezza)

1. In relazione al presente Accordo le Parti si impegnano a non utilizzare per sé, né fornire a terzi, dati e informazioni compresi nell'Accordo, o pubblicare in maniera parziale o totale i contenuti degli stessi, senza il preventivo ed espresso assenso dell'altra Parte.



Art. 8

(Diritti di tutela/Proprietà intellettuale ed utilizzo dei risultati)

1. I temi di ricerca oggetto del presente Accordo hanno carattere di ricerca fondamentale e/o sperimentale, svolta nell'interesse pubblico allo scopo di favorire la generazione e la divulgazione di nuova conoscenza a beneficio della collettività; pertanto, i risultati derivanti dalle attività di ricerca svolte non possono formare oggetto di alcun diritto di uso esclusivo o prioritario, né di alcun vincolo di segreto o riservatezza.

Art. 9

(Trattamento dei dati)

1. Le Parti dichiarano di essersi reciprocamente informate e di acconsentire espressamente che i dati personali forniti, anche verbalmente, o comunque raccolti in conseguenza e nel corso dell'esecuzione del presente Accordo vengano trattati esclusivamente per le finalità dello stesso, nel rispetto di quanto previsto dal D. Lgs. n. 30/06/2003 n. 196, così come novellato dal D. Lgs. n. 101/2018 e dal GDPR 679/2016.
2. Le Amministrazioni stipulanti sono titolari del trattamento dei dati personali contenuti nei documenti dalle stesse prodotti. Al fine di consentire l'erogazione delle funzioni di cui al presente Accordo, ciascuna di esse nomina l'altra quale Responsabile Esterno del trattamento dei dati personali.
3. I Responsabili Esterni possono a loro volta ricorrere alla nomina in forma scritta di altri responsabili e/o incaricati esterni del trattamento, eventualità che dovrà essere resa nota preventivamente al titolare.
4. Nell'ipotesi di recesso di una delle Parti ovvero alla scadenza dell'Accordo,



per qualsivoglia causa, le designazioni a Responsabile Esterno e incaricato del trattamento dei dati personali che sono state poste in essere decadono automaticamente.

Art. 10

(Durata, decorrenza e proroga)

1. La durata del presente Accordo è stabilita in ____ (____) mesi a decorrere dalla data di sottoscrizione dello stesso.
2. In ogni caso la scadenza del presente Accordo non potrà superare la scadenza del PNRR POR H2 al momento fissata al 31/12/2025.
3. Le Parti potranno concordare nel corso delle attività un'estensione della durata dell'Accordo, che in ogni caso non potrà superare il periodo di eleggibilità della spesa della presente programmazione.

Art. 11

(Modifiche)

1. Le Parti potranno concordare modifiche al presente Accordo per la migliore realizzazione delle attività previste, purché formalizzate in forma scritta.

Art. 12

(Recesso)

1. Il recesso è possibile su richiesta di una delle Parti stipulanti ed avrà effetto decorsi 6 (sei) mesi dalla comunicazione. Resta inteso che le attività già avviate, coerenti con il programma e con le finalità del presente Accordo, che dovessero avere comportato obbligazioni vincolanti per una delle Parti, saranno regolarmente portate a compimento anche se parte consistente di esse dovesse eccedere il termine del recesso stesso.

Art. 13



**(Codice di comportamento dei dipendenti e Piano di Prevenzione della
Corruzione e della Trasparenza)**

1. Ciascuna Parte prende atto del Codice di comportamento dei dipendenti e del Piano di Prevenzione della Corruzione e della Trasparenza adottati dall'altra e dichiara di impegnarsi a tenere un comportamento, in relazione all'oggetto del presente Accordo, uniforme alle disposizioni previste in detti documenti.

Art. 14

(Disposizioni di rinvio)

1. Per tutto quanto non previsto dai precedenti articoli, in ordine ai rapporti che sorgono dal presente Accordo tra le Amministrazioni stipulanti, si fa rinvio a quanto previsto dalle vigenti norme sulla Contabilità di Stato, nonché dalle disposizioni del Codice Civile e dalle specifiche normative vigenti nelle materie oggetto dell'Accordo.

Art. 15

(Controversie)

1. Le eventuali controversie che dovessero sorgere tra le Parti, concernenti validità, interpretazione ed esecuzione del presente Accordo, saranno composte in via amministrativa bonaria e, in mancanza, sarà competente in via esclusiva il Foro di Roma.

Art. 16

(Firma digitale, registrazione e spese)

1. Il presente Accordo è sottoscritto con apposizione di firma digitale;
2. Il presente accordo è soggetto a registrazione solo in caso d'uso ai sensi del D.P.R. n.131 del 26 aprile 1986 e s.m.i., le spese di registrazione saranno a



carico della Parte richiedente.

3. Il presente Accordo e la relativa Scheda di Attività sono soggetti all'imposta di bollo fin dall'origine ai sensi dell'art. 2, Tariffa Parte I del D.P.R. 642/1972, assolta per un importo di € 16,00 ogni 4 facciate dal Soggetto Pubblico Prescelto ai sensi dell'art. 15 del D.P.R. n. 642/1972.

LETTO, CONFERMATO E SOTTOSCRITTO CON FIRMA DIGITALE

L'ENEA

il Soggetto Pubblico Prescelto

Allegato 10 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

Procedura per la presentazione della manifestazione di interesse

Con l'Avviso di Manifestazione di Interesse del _____ il l'ENEA rivolge un invito a tutti i soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca, dotati di adeguate competenze tecnico-professionali ed organizzative per collaborare **nell'ambito del PNRR POR H2**.

Il file riepilogativo contenente l'Elenco delle Procedure riporta sinteticamente i dati di ciascuno Accordo di collaborazione da affidare.

Nel file Schede di Attività sono descritti gli oggetti e gli output previsti per ciascun accordo.

Per manifestare interesse alla singola collaborazione, il soggetto interessato dovrà presentare una specifica domanda di partecipazione.

Ciascun soggetto interessato potrà presentare al massimo n. 4 (quattro) domande di partecipazione (una per ciascun accordo di collaborazione).

Nel caso in cui pervenissero dallo stesso soggetto un numero superiore di domande, saranno scartate d'ufficio le domande eccedenti secondo l'ordine di ricezione delle stesse sul portale.

Il soggetto partecipante sarà identificato sulla base del relativo codice fiscale (nel caso di più Dipartimenti appartenenti allo stesso Ateneo permane il limite complessivo di 4 domande di partecipazione avendo tutti i Dipartimenti il medesimo codice fiscale).

Nel caso di soggetti non universitari, alla domanda di partecipazione dovrà essere allegato il relativo statuto per verificare il possesso del requisito di partecipazione previsto (soggetti pubblici aventi finalità istituzionali e statutarie di ricerca).

Individuazione della procedura di interesse

Sul portale dedicato è disponibile l'Elenco delle procedure relative agli Accordi di collaborazione da attivare. Tale elenco riporta il numero identificativo della procedura, l'oggetto, il responsabile dell'Accordo ed il relativo importo.

Individuata la procedura di interesse è possibile consultare la relativa Scheda di Attività presente all'interno del file "PNRR POR H2_Schede Attività". All'interno del file la singola Scheda di Attività è identificata con lo stesso numero della procedura.

Compilazione della Manifestazione di Interesse

Per partecipare alla manifestazione di interesse il soggetto candidato deve utilizzare il file "PNRR POR H2_Modulo Manifestazione Interesse" in formato XLSX, compilando le informazioni nelle schede:

- Manifestazione Interesse
- Pubblicazioni
- Progetti e Network
- Elenco CV

Scheda “Manifestazione Interesse”

In questa scheda è necessario compilare i dati anagrafici evidenziati; quindi, tramite apposito menù a tendina, selezionare nel campo “Procedura” il numero identificativo dell’attività per la quale si intende partecipare.

Scheda “Pubblicazioni”

In questa scheda inserire le informazioni relative a massimo 5 pubblicazioni inerenti l’oggetto della procedura per la quale si concorre avendo cura di organizzare i dati nel seguente modo: autori, titolo, sede di pubblicazione (rivista o conferenza), anno e DOI.

Scheda “Progetti e Network”

In questa scheda è necessario inserire le informazioni che riguardano la partecipazione a progetti e/o network inerenti l’oggetto della procedura per la quale si concorre.

Nel caso di progetti finanziati con risorse pubbliche è necessario che nel campo “fonte finanziamento” sia specificato il bando di selezione ed eventualmente il codice identificativo del contratto.

Nel caso di progetti con finanziamenti privati, nel medesimo campo, è necessario specificare la ragione sociale del committente.

Fornire inoltre una descrizione breve (max 300 caratteri) dell’oggetto del progetto o dell’associazione.

È possibile inserire un massimo di 5 referenze fra progetti ed associazioni.

Scheda “Elenco CV”

In questa scheda è necessario elencare i nominativi ed il profilo delle persone che saranno coinvolte nelle attività previste, per ciascuna delle quali si dovrà allegare il relativo curriculum vitae.

Per i profili sono disponibili le seguenti scelte:

- Professore ordinario
- Professore associato
- Ricercatore
- RTD A (Ricercatore a Tempo Determinato Tipo A)
- RTD B (Ricercatore a Tempo Determinato Tipo B)
- Personale non strutturato (Assegni di ricerca, Dottorati, Borse di studio).

È possibile inserire un massimo di 5 curriculum vitae di massimo 5 pagine cadauno ed in formato europeo.

Firma

Terminata la compilazione del file è necessario stampare la scheda “Manifestazione Interesse” in formato PDF e sottoscriverla digitalmente.

Trasmissione della documentazione

La manifestazione di interesse dovrà essere trasmessa esclusivamente attraverso il portale U-BUY in risposta all'avviso pubblicato.

Per ogni singola manifestazione di interesse relativa ad un singolo Accordo di collaborazione dovrà essere allegato al messaggio di trasmissione da inviare tramite portale quanto segue:

1. La scheda "Manifestazione Interesse" trasformata in pdf e sottoscritta digitalmente dal Legale Rappresentante o Procuratore Speciale del soggetto interessato.
2. Il file XLSX "PNRR POR H2_Modulo Manifestazione Interesse" contenente tutte le informazioni richieste.
3. Eventuale copia della procura speciale attestante i poteri di firma, qualora il soggetto firmatario fosse diverso dal Legale Rappresentante.
4. Curriculum vitae del personale indicato nella scheda "Elenco CV";

Attenzione: specificare nell'oggetto del messaggio di trasmissione dei suddetti allegati quanto segue: "PNRR POR H2, Manifestazione Interesse, <Nr. Procedura>".

Notifica avvenuta acquisizione

Una volta inviato il singolo messaggio di trasmissione con i relativi allegati il sistema memorizza la data ed ora dell'invio ed assegna al messaggio pervenuto un numero di protocollo.

Con messaggio successivo (purché con avviso ancora aperto) può essere modificata o ritirata una domanda precedentemente sottoposta.

Allegato 11 alla Disposizione n. 465/2022/PRES

Procedura per l'assegnazione degli Accordi di collaborazione

I Moduli di Manifestazione di Interesse ed i relativi allegati pervenuti in tempo utile tramite portale, dopo le verifiche formali, saranno sottoposti all'esame della Commissione di esperti che sarà appositamente nominata dall'ENEA dopo la scadenza dei termini previsti per la presentazione.

Per ciascun Accordo di collaborazione, la Commissione esaminerà le singole Manifestazioni di Interesse pervenute ed attribuirà a ciascuna di esse un punteggio tecnico secondo quanto segue:

Criterio	Punteggio massimo
Pubblicazioni	20 punti
Progetti e network	20 punti
CV	20 punti
Totale	60 punti

Si procederà all'individuazione dei soggetti prescelti per ciascun accordo, anche in presenza di una sola proposta formalmente valida, purché il punteggio tecnico assegnato alla proposta ritenuta migliore raggiunga la soglia minima di 30/60.

Nel caso in cui sulla singola procedura non pervenisse alcuna manifestazione di interesse ovvero nessuna delle domande pervenute raggiunga il punteggio minimo, si procederà ad assegnazione diretta da parte di ENEA dell'attività di collaborazione ad un'istituzione pubblica reputata idonea per quella specifica attività, tramite accordo di collaborazione tra Enti Pubblici ai sensi dell'articolo 5, commi 6 e 7, del d.lgs. n. 50 del 2016.

Nel caso in cui due domande dovessero risultare le migliori ottenendo lo stesso punteggio si procederà all'assegnazione al soggetto che avrà ottenuto il maggior punteggio relativo ai CV presentati.

Al termine dei lavori la Commissione presenterà la propria proposta di affidamento degli accordi al Direttore del Dipartimento TERIN.

Il Direttore TERIN con propria Determinazione affiderà i singoli Accordi di collaborazione.

I verbali della Commissione e la Determinazione del Direttore del Dipartimento TERIN saranno pubblicati nella sezione "Amministrazione Trasparente" del sito istituzionale dell'ENEA.

I singoli accordi, sottoscritti dall'ENEA, saranno inviati ai soggetti affidatari attraverso la piattaforma telematica UBUY.