

<b>ENEA</b> <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  1 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

TITLE

## **Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE**

AUTORI




I. Di Piazza


CONTRIBUTI

P. Lorusso, D. Martelli, M. Tarantino

SOMMARIO


*Il presente documento riporta la specifica tecnica per la fornitura e installazione della sezione di prova THETIS. La sezione di prova dovrà essere installata nell'impianto a piscina a piombo-bismuto CIRCE presso il C.R. ENEA del Brasimone*

REV.	WRITTEN/ELABORATO	CHECKED / CONVALIDA	APPROVED / APPROVAZIONE
0	Ivan Di Piazza 	Daniele Martelli 	Mariano Tarantino 

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  2 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	


## LISTA DELLE REVISIONI

Revisione	Data	Scopo della revisione	Pagina
0	16/06/2021	Prima versione	19
1	16/11/2021	Ridefinizione installazioni Fornitore/ENEA	21

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  3 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## Index

<b>LISTA DELLE REVISIONI .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA FACILITY CIRCE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA THETIS .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 FEEDING CONDUIT .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 FUEL PIN SIMULATOR .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3 FITTING VOLUME .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4 RISER .....</b>	<b>9</b>
<b>3.5 POMPA DI CIRCOLAZIONE PRIMARIA (MCP) .....</b>	<b>10</b>
<b>3.6 SEPARATORE .....</b>	<b>10</b>
<b>3.7 GENERATORE DI VAPORE A TUBI ELICOIDALI (HCSG) .....</b>	<b>10</b>
<b>3.8 VOLUME MORTO .....</b>	<b>11</b>
<b>3.9 FLANGIA SUPERIORE E TEST SECTION OVERALL LAYOUT .....</b>	<b>11</b>
<b>3.10 REACTOR VESSEL AUXILIARY COOLING SYSTEM (RVACS) .....</b>	<b>11</b>
<b>4. STRUMENTAZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA THETIS .....</b>	<b>13</b>
<b>5. DATI DI PROGETTO .....</b>	<b>13</b>
<b>6. MATERIALI .....</b>	<b>14</b>
<b>7. FABBRICAZIONE .....</b>	<b>14</b>
<b>8. SALDATURE .....</b>	<b>14</b>
<b>9. ESTENSIONE DELLA FORNITURA .....</b>	<b>15</b>
<b>10. ESCLUSIONI DELLA FORNITURA .....</b>	<b>15</b>
<b>11. PULIZIA .....</b>	<b>15</b>
<b>12. CONTROLLI DIMENSIONALI E PROVE IN OFFICINA .....</b>	<b>15</b>
<b>13. IMBALLO E TRASPORTO .....</b>	<b>16</b>
<b>14. TEST DI ACCETTAZIONE .....</b>	<b>16</b>
<b>15. PAGAMENTI, GARANZIE, PENALITÀ .....</b>	<b>16</b>
<b>16. ACRONYMS .....</b>	<b>18</b>
<b>17. LISTA DEI DISEGNI E DEGLI ALLEGATI .....</b>	<b>19</b>
<b>18. REFERENCES .....</b>	<b>20</b>
<b>LISTA DI DISTRIBUZIONE .....</b>	<b>21</b>

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  4 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività di ricerca in supporto allo sviluppo del reattore DEMO LFR ALFRED ed Accelerator Driven Systems (ADS), il progetto europeo PATRICIA (Partitioning And Transmuter Research Initiative in a Collaborative Innovation Action) è finanziato dalla Commissione Europea per sviluppare soluzioni innovative in supporto allo sviluppo della facility MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications) al SCK-CEN.

Queste attività verranno svolte nella facility sperimentale ad eutettico piombo-bismuto (LBE, Lead Bismuth Eutectic) CIRCE (CIRColazione Eutettica), collocata presso il centro ENEA di Brasimone in Italia.

La facility CIRCE è un impianto a piscina del diametro interno di circa 1200 mm ed altezza circa 8500 mm, che utilizza LBE come fluido primario ed acqua in pressione a circuito aperto come fluido secondario. Una nuova sezione di prova (test section, TS) chiamata THETIS (Thermal-hydraulic HELical Tubes Innovative System) sarà installata nel vessel principale di CIRCE e sostituirà l'attuale sezione di prova HERO (Heavy liquid mEtal – pRessurized water cOoled tube) utilizzata in precedenti campagne sperimentali.

La nuova sezione di prova THETIS presenta caratteristiche innovative rispetto alla sezione di prova HERO. In particolare, sono presenti una pompa meccanica ad asse verticale (Main Coolant Pump, MCP) per la circolazione dell'eutettico ed uno scambiatore di calore a tubi elicoidali (Helical Coil Steam Generator, HCSG). Quest'ultimo componente presenta notevoli vantaggi rispetto a precedenti soluzioni a tubi a baionetta in quanto risulta molto più compatto a parità di potenza scambiata e permette di aumentare la distanza tra i baricentri termici in circolazione naturale.

La sorgente termica della potenza di 1 MW, replicante nella geometria un elemento di combustibile di un impianto nucleare (Fuel Pin Simulator, FPS) e usata per il riscaldamento del fluido primario, sarà mantenuta inalterata come nelle precedenti sezioni di prova.

La presente specifica tecnica descrive la fornitura ed installazione della sezione di prova strumentata THETIS nella facility a piscina CIRCE per quanto riguarda le caratteristiche geometriche, i materiali e la strumentazione.

<b>ENEA</b> <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> <b>Dipartimento Fusione e Tecnologie</b> <b>per la Sicurezza Nucleare</b>	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  5 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## 2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA FACILITY CIRCE

La facility a piscina CIRCE è concepita per test integrali e per test componenti. Essa è composta dai seguenti sistemi e componenti:

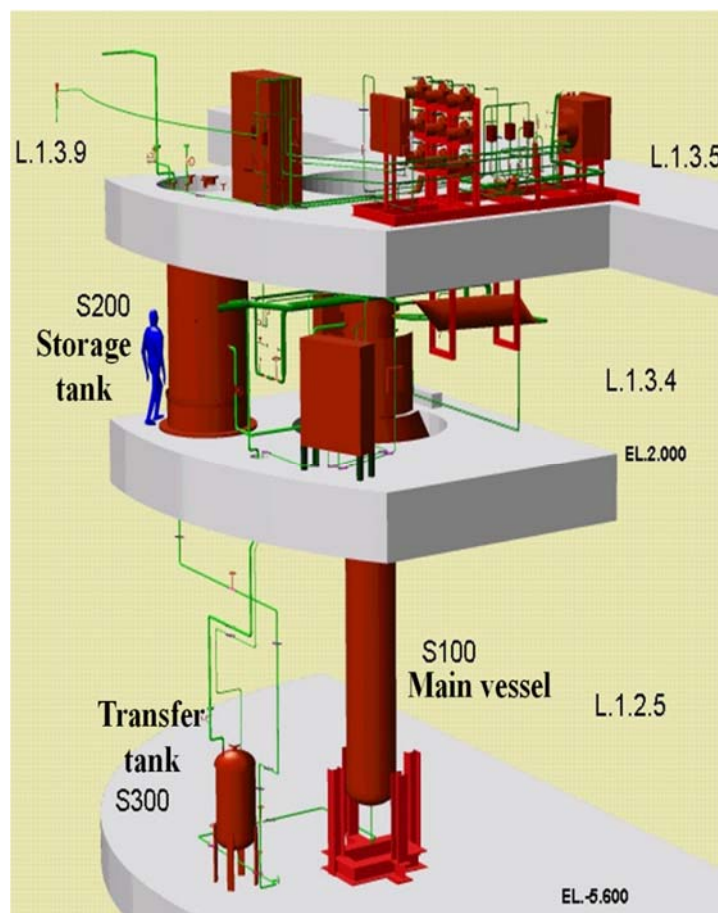
- Serbatoio principale S100, concepito per ospitare la sezione di prova. Ha un diametro interno di 1170 mm, uno spessore di 15 mm ed una altezza di 8500 mm. S100, durante il funzionamento, è parzialmente riempito con circa 70 tonnellate di LBE ed è presente un cover gas di argon in leggera sovrappressione. Il vessel principale è isolato esternamente con lana di vetro per minimizzare le perdite termiche verso l'esterno ed è equipaggiato con cavi scaldanti per garantire il pre-riscaldamento in fase di caricamento dell'eutettico. I cavi scaldanti possono raggiungere temperature di 250-300 °C. Il cover gas di S100 è equipaggiato anche con sistemi di scarico automatico e con dischi di rottura che proteggono il vessel da eventuali repentine sovrappressioni;
- Serbatoio di stoccaggio S200, nel quale il fluido primario (LBE) viene stoccato durante i periodi in cui non vengono effettuati test sperimentali;
- Serbatoio di trasferimento S300, usato durante il fill&drain del main vessel S100;
- Il sistema di circolazione di Argon, utilizzato per il gas-lift e costituito da 5 compressori connessi in parallelo ed utilizzato nelle precedenti configurazione come sistema di pompaggio per gas-lift nel riser; nella configurazione THETIS, la funzione di pompaggio sarà rimpiazzata con una pompa di circolazione primaria ad asse verticale;
- Il Reactor Vessel Auxiliary Cooling System (RVACS) che permette la refrigerazione della superficie esterna del vessel tramite circolazione di aria;
- Un secondario ad acqua a circuito aperto e a singolo passaggio che alimenta la feedwater dello scambiatore di calore ad una pressione massima di ~18 MPa ed una temperatura di 335°C.

I principali parametri geometrici ed operativi di CIRCE sono riassunti in Tabella 1, mentre uno sketch 3D della facility CIRCE è rappresentato in Figura 1.


**Tabella 1 Principali parametri geometrici ed operativi di CIRCE.**

Parameter	Unit	Designed
Outer Diameter	[mm]	1200
Wall Thickness	[mm]	15
Vessel height	[mm]	8500
Material	----	AISI316L
Max LBE Inventory	[kg]	90000
Temperature Range	[°C]	200 to 500
Power installed	[MW]	1.0
Pump min/max FR	[m <sup>3</sup> /h]	10/30
Pump min/max MFR	[kg/s]	28/84

<b>ENEA</b> <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  6 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	



*Figura 1 Sketch 3D della facility CIRCE.*

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  7 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

### 3. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA THETIS

Il presente paragrafo contiene la descrizione della sezione di prova THETIS con tutti i suoi componenti utile per la realizzazione della stessa. Per una descrizione integrativa della geometria di THETIS si veda il report 'CI-I-R-534' allegato. Il CAD dell'intera sezione di prova viene rilasciato in allegato alla presente specifica tecnica come 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp'. Il CAD contiene lo sviluppo concettuale dei diversi componenti ed i principali ingombri. Il Fornitore dovrà provvedere alla progettazione di dettaglio sulla base del CAD fornito, responsabilizzandosi sulle scelte proposte da ENEA.

La sezione di prova sarà composta dai seguenti componenti (Figura 2):

- Il *Fuel Pin Simulator* (FPS), in rosso in Figura 2, scaldato elettricamente; esso consiste in un fascio di 37 barrette elettriche disposte a reticolo esagonale con una potenza termica nominale di ~1 MW ed una altezza attiva di 1 m; l'FPS è già installato nella facility ed è già strumentato; **l'FPS non verrà fornito in conto lavorazione e verrà assemblato al resto della sezione di prova in sito da ENEA dopo la consegna della sezione di prova stessa;**
- Il *Fitting Volume* (FV), in verde in Figura 2, che raccoglie il fluido caldo proveniente dal FPS;
- Il *riser*, in arancione in Figura 2, che connette il FV alla sezione di aspirazione della pompa;
- La *pompa di circolazione primaria* (Main Coolant Pump, MCP) [2], in giallo in Figura 2, per promuovere la circolazione forzata dell'eutettico; la pompa, fornita in conto lavorazione, dovrà essere installata nella sezione di prova;
- Il *separator*, in colore oro in Figura 2, alimenta lo scambiatore di calore a tubi elicoidali (HCSG), e verrà fornito in conto lavorazione;
- *HCSG*, in blu in Figura 2, per la rimozione del calore dal sistema primario; questo componente lavora in controcorrente, con l'LBE discendente lato mantello e l'acqua in pressione lato tubi;
- Il *volume morto* (dead volume), che consente l'inserimento e l'alimentazione dall'alto del FPS; il volume morto è verrà fornito in conto lavorazione.

Il percorso principale del fluido primario (LBE) in CIRCE è riportato in Figura 2 (a destra). Il metallo liquido entra dalla parte bassa del FPS, alimentando il 'feeding conduit' equipaggiato con un misuratore di portata Venturi che dovrà essere fornito insieme alla sezione di prova. Successivamente il fluido primario viene riscaldato dal FPS e raccolto nel fitting volume, dal quale, dopo avere cambiato direzione, fluisce nel riser e quindi all'imbocco della pompa (MCP). La MCP pompa il fluido verso l'alto e lo manda nel separatore, dove è presente un pelo libero. Dal separatore, l'LBE fluisce verso il basso attraverso HCSG lato mantello, dove viene raffreddato dal flusso controcorrente di acqua pressurizzata nei tubi elicoidali. Dal HCSG, il fluido primario viene scaricato in piscina per chiudere il circuito.

Il fluido primario può trovarsi in due regimi possibili di circolazione: in circolazione forzata grazie alla pompa primaria (MCP) o in circolazione naturale grazie alla differenza in altezza tra i baricentri termici di FPS e HCSG.

<b>ENEA</b> <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b> 
		CI-I-S-564	Rev : 1	8 of 21

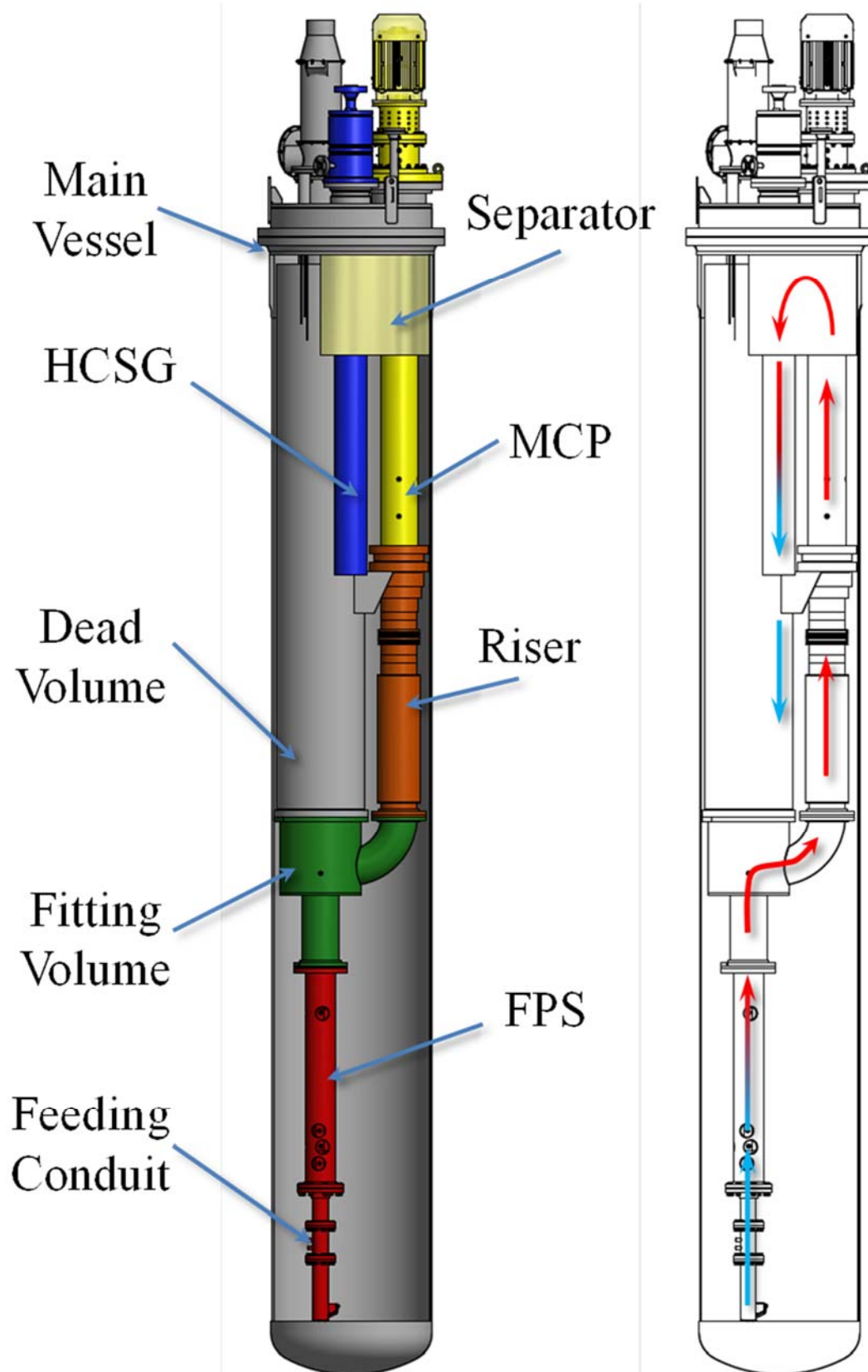



Figura 2 Vista schematica della sezione di prova THETIS

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  9 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

### 3.1 FEEDING CONDUIT

Il feeding conduit è composto da tre parti connesse da flange da 4", vedi Figura 3 in allegato 'CI-I-R-534'. Le parti inferiore e superiore sono tubi 4" Sch40 con lunghezze rispettivamente di 450 e 270 mm. Un misuratore di portata Venturi è installato tra le due parti. Il feeding conduit sarà fornito in conto lavorazione per la verifica dell'installazione del Venturi. Il Venturi andrà ricalcolato e fornito ex-novo per misurare una portata massima erogabile dalla pompa di 85 kg/s, vedi sezione strumentazione ed il report allegato 'CI-I-R-517' per ulteriori dettagli.

### 3.2 FUEL PIN SIMULATOR

Il Fuel Pin Simulator (FPS) è costituito da un fascio di 37 barrette scaldate elettricamente con potenza nominale complessiva di 1 MW. Il componente è già costruito e presente nel layout di CIRCE e dunque andrà solamente montato ed integrato insieme al resto della nuova sezione di prova THETIS. Per dettagli sulla geometria del FPS si veda allegato 'CI-I-R-534' e ref.[1].

ENEA provvederà allo smontaggio del componente dalla sezione di prova esistente. Il componente, non verrà fornito in conto lavorazione ma sarà assemblato in sito da ENEA dopo la fornitura del resto della sezione di prova.

### 3.3 FITTING VOLUME

Il Fitting Volume (FV) permette la connessione idraulica tra FPS e riser. L'LBE esce dal FPS attraverso 6 asole (vedi Figura 9 allegato 'CI-I-R-534') e fluisce verso l'alto attraverso un tubo (release pipe) da 8" Sch.40 connesso al FV.

Figura 11 di 'CI-I-R-534' mostra il posizionamento del release pipe rispetto al fitting volume, mentre Figura 12 di 'CI-I-R-534' mostra il particolare e le dimensioni geometriche del fitting volume con la flangia di connessione al riser. Nella parete superiore del FV sono previste delle tubazioni da 1/8" di sfiato per l'argon, al fine di consentire il completo riempimento del FV durante la fase di filling.

Il Fitting Volume proposto adotta una soluzione a doppia parete con un gap di aria dello spessore di 10 mm.

**Il Fornitore dovrà responsabilizzarsi sulla soluzione proposta concettualmente da ENEA e, se necessario, proporre soluzioni alternative su cui ENEA dovrà valutare e approvare verificandone la funzionalità termofluidodinamica.** La soluzione proposta dovrà in ogni caso garantire l'evacuazione del gas intrappolato nel volume interno durante la fase di riempimento.


Per i dettagli geometrici e tecnici si vedano gli allegati 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp' e 'C-I-R-534'.

### 3.4 RISER

Il riser ha la funzione di connettere il FV alla sezione di aspirazione della pompa. E' un tubo di 10" Sch.40 caratterizzato da una lunghezza totale di 2032mm ed equipaggiato con un soffietto assiale di lunghezza 380 mm, vedi Figura 13 di 'CI-I-R-534'. Un tubo a doppia parete riempito di aria nell'intercapedine garantisce l'isolamento termico del LBE dentro il riser (caldo) rispetto alla piscina (fredda) migliorando le performance dell'apparecchiatura durante i test sperimentali.

La sezione di uscita presenta un aumento di diametro per garantire l'accoppiamento con l'aspirazione della pompa, vedi in Figura 14 di 'CI-I-R-534' il particolare dell'accoppiamento.

Per ogni ulteriore dettaglio geometrico fare riferimento agli allegati 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp' (file step) ed al report 'CI-I-R-534'.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  10 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

### 3.5 POMPA DI CIRCOLAZIONE PRIMARIA (MCP)

La circolazione forzata del LBE in CIRCE-THETIS è promossa dalla pompa verticale centrifuga di circolazione primaria (MCP) [2], vedi Figura 15 di 'CI-I-R-534'. La pompa è già stata realizzata e si trova nella hall sperimentale PEC del C.R. Brasimone. La pompa verrà fornita in conto lavorazione per essere assemblata nella sezione di prova THETIS.

La pompa, incluso l'impeller, è costruita in acciaio austenitico AISI316 ed è sostenuta sulla flangia superiore del vessel tramite una flangia di accoppiamento appropriata. Figura 16 di 'CI-I-R-534' mostra un dettaglio della flangia di accoppiamento con il riser, e della sezione di aspirazione con l'impeller.

La posizione della pompa è riportata in Figura 17 di 'CI-I-R-534'. Per ulteriori dettagli geometrici si veda il file step allegato alla presente specifica tecnica 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp' ed il report descrittivo della geometria 'CI-I-R-534'.

### 3.6 SEPARATORE

Il separatore raccoglie il flusso di LBE proveniente dal FPS attraverso il riser e la pompa di circolazione, vedi Figura 19 e Figura 20 di 'CI-I-R-534'. Il livello di LBE nel separatore varia in funzione della perdita di carico e quindi della portata della pompa. Da calcoli CFD preliminari, è stato possibile stimare la perdita di carico nel HCSG alla massima portata della pompa (85 kg/s) e quindi stimare una altezza del separatore di 850 mm, sufficiente ad evitare la tracimazione del LBE. Il pelo libero del separatore è in contatto con il cover gas di Argon.

Dal separatore, LBE caldo fluisce verso il basso attraverso HCSG (lato mantello), fungendo così da tramite tra il riser-pompa ed il ramo discendente (HCSG).

Il separatore, inoltre, funge da vaso di espansione per consentire le variazioni di volume del refrigerante dovute a variazioni di temperatura dello stesso.

Per ulteriori dettagli geometrici sul separatore si veda il file step allegato alla presente specifica tecnica 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp' ed il report descrittivo della geometria 'CI-I-R-534'.

### 3.7 GENERATORE DI VAPORE A TUBI ELICOIDALI (HCSG)


Il generatore di vapore a tubi elicoidali (Helical Coil Steam Generator, HCSG) rappresenta una soluzione prototipica che utilizza un fascio di tubi elicoidali che garantisce un'elevata superficie di scambio limitando gli ingombri. HCSG è concepito per lavorare in contro-corrente, con LBE (fluido primario) che scorre dall'alto verso il basso lato mantello ed un sistema aperto di acqua in pressione lato tubi.

La vista dall'alto e la vista 3D del progetto concettuale del componente sono rappresentati rispettivamente in Figura 21 e Figura 22 di 'CI-I-R-534'. I parametri geometrici fondamentali del fascio tubiero e del mantello (sia inner che outer) sono riportati in Tabella 2 e Tabella 3 del documento allegato 'CI-I-R-534'.

Ogni tubo del fascio tubiero parte dal collettore della feedwater scende dritto nello spazio centrale (con LBE stagnante) sino alla parte bassa, poi curva e risale avvolgendosi elicoidalmente. Il fascio tubiero elicoidale è organizzato in 3 ranghi orizzontali, interno, intermedio ed esterno, composti rispettivamente da 4, 5 e 6 tubi.

I versi di avvolgimento sono orari per il rango interno ed esterno ed antiorari per il rango centrale.

Da Figura 21 di 'CI-I-R-534' si può notare come il mantello esterno sia doppiamente incapsulato con un gap di aria interposto, per garantire l'isolamento termico del componente dalla piscina. Il tubo centrale (mantello

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  11 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

interno), che alloggia i tubi dritti della feedwater discendente è ugualmente doppiamente incapsulato per minimizzare lo scambio termico tra il LBE stagnante e l'LBE discendente.

Per ogni altro dettaglio geometrico del HCSG si faccia riferimento al file CAD 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp' ed al report 'CI-R-534', allegati della presente specifica tecnica.

Per dettagli sulla progettazione concettuale e le performance del componente HCSG, si faccia riferimento al report 'CI-I-S-538' allegato alla presente specifica tecnica.

### 3.8 VOLUME MORTO

Il volume morto è composto da due tubi concentrici e consente alle barrette del Fuel Pin bundle (FPS) di essere inserite nella parte bassa della piscina. Il volume morto è rappresentato in Figura 23 di 'CI-I-R-534'.

Il tubo interno nella parte bassa è provvisto di flangia di accoppiamento per l'FPS, mentre nella parte alta è accoppiato alla flangia di testa di CIRCE sostenendo l'intero peso della sezione di prova THETIS.

Il volume del tubo interno è chiamato 'volume di isolamento' ed alloggia le code fredde del FPS incluse le connessioni elettriche per l'alimentazione delle barrette. Tale volume è costantemente refrigerato tramite flusso di aria, mentre lo spazio anulare tra tubo esterno ed interno ha un gap di aria che consente di minimizzare le perdite dal volume di isolamento verso la piscina.

Il volume morto è già realizzato e verrà dato in conto lavorazione al Fornitore.

Per ogni ulteriore dettaglio geometrico del volume morto si faccia riferimento al file CAD 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp', ed al report 'CI-R-534', allegati della presente specifica tecnica.

### 3.9 FLANGIA SUPERIORE E TEST SECTION OVERALL LAYOUT


Il posizionamento quotato della sezione di prova THETIS dentro la piscina di CIRCE è rappresentato in Figura 25 di 'CI-I-R-534' e le quote sono rappresentate dal livello '0.0 mm' in corrispondenza della flangia superiore della TS come riportato in Figura 25 e Figura 26 di 'CI-I-R-534'. La flangia di accoppiamento con il main vessel di CIRCE con tutte le penetrazioni e flange per i diversi componenti sarà realizzata ex-novo oppure ricavata a partire dalla flangia esistente secondo la convenienza del Fornitore. A tale scopo la flangia superiore verrà fornita da ENEA in conto lavorazione insieme al resto della sezione di prova.

Il Fornitore, se lo ritiene opportuno, potrà recuperare la flangia di accoppiamento con il volume morto per poi utilizzarla sulla nuova cover. A tale scopo la sezione di prova esistente potrà essere trasportata presso le officine del Fornitore a proprie spese. Il FPS resterà invece presso il sito ENEA e reso disponibile per le operazioni di assemblaggio della nuova sezione di prova.

Per ogni ulteriore dettaglio geometrico si faccia riferimento al file CAD 'PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp', allegato alla presente specifica tecnica.

### 3.10 REACTOR VESSEL AUXILIARY COOLING SYSTEM (RVACS)


L'RVACS, escluso dalla presente fornitura, è un sistema di circolazione di aria concepito per rimuovere il calore di decadimento a lungo termine attraverso il main vessel nel caso in cui il DHR non sia più in grado di svolgere la sua funzione. Il sistema RVACS è già presente in CIRCE e non occorrono modifiche geometriche e costruttive al sistema per renderlo operativo. Il sistema andrà però strumentato come specificato successivamente nella sezione strumentazione.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  12 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

Calcoli preliminari [3] mostrano che il sistema può evacuare sino a 22 kW con una portata di 0.2 m<sup>3</sup>/s di aria ambiente. Bisognerà quindi prevedere una soffiante che garantisca la portata di aria richiesta di 0.2 m<sup>3</sup>/s per effettuare i test nel progetto PATRICIA.

I principali parametri geometrici del sistema RVACS sono riportati in Figura 27 di 'CI-I-R-534' con un gap (per la circolazione di aria) di 100 mm tra il vessel e l'isolamento, con l'aria che scorre dall'alto verso il basso e le bocche di ingresso e di uscita a 90° l'una rispetto alle altre.

Per ogni ulteriore dettaglio geometrico si faccia riferimento al documento 'CI-I-R-534' allegato alla presente specifica tecnica.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  13 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

#### 4. STRUMENTAZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA THETIS

La sezione di prova THETIS sarà altamente strumentata al fine di acquisire dati sperimentali di riferimento per la validazione dei codici di calcolo e di transitori rilevanti per la progettazione dei reattori nucleari di quarta generazione refrigerati a metallo liquido pesante (e.g. ALFRED e MYRRHA).

La strumentazione prevista sarà in parte installata dal Fornitore ed in parte installata da ENEA in sito una volta consegnata la sezione di prova, come specificato nel seguito della presente sezione.

Un numero totale di 223 termocoppie, 11 bubble tubes, 1 Venturi flow meter, due sonde ossigeno per LBE, 3 sensori di livello in LBE saranno implementati ed acquisiti ad 1 Hz. Le sonde ossigeno per LBE saranno realizzate in ENEA e verranno installate in sito da ENEA tramite appositi attacchi flangiati sul coperchio della sezione di prova preventivamente predisposti dal Fornitore.

L'installazione delle termocoppie in piscina per il monitoraggio della stratificazione, le installazioni esterne al coperchio, ed i cablaggi al quadro di acquisizione e controllo saranno effettuati da ENEA.

La fornitura e installazione delle aste di supporto per la strumentazione relativa alla stratificazione in piscina sarà a cura del Fornitore.

La fornitura e la installazione delle termocoppie sui tubi elicoidali per monitorare la distribuzione di temperature in HCSG saranno a carico del Fornitore.

Il Fornitore provvederà inoltre al rifacimento del sistema di alimentazione dei bubble tubes in piscina, inclusa la strumentazione, come specificato in 'CI-I-R-534'. I bubble tubes in piscina per monitorare le pressioni nei diversi punti saranno a carico del Fornitore.

Il Venturi e il relativo feeding conduit, parte della presente fornitura, saranno installati da ENEA insieme all'FPS, provvedendo inoltre alla installazione dei bubble tubes sul Venturi per la misura del salto di pressione da convertire in portata.

I sensori di livello on-off in piscina saranno forniti ed installati da ENEA.

Per ogni ulteriore dettaglio ed integrazione sulla strumentazione si faccia riferimento al report 'CI-I-R-517' allegato alla presente specifica tecnica.


#### 5. DATI DI PROGETTO

I dettagli geometrici della sezione di prova (TS) sono ricavabili dal disegno CAD ('PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp') allegato alla presente specifica tecnica.

Lo scopo della fornitura è la progettazione di dettaglio, fabbricazione, assemblaggio ed il montaggio della sezione di prova THETIS all'interno della facility CIRCE. Il montaggio del FPS e l'installazione di parte della strumentazione saranno a carico ENEA, come specificato nella sezione sulla strumentazione.

La sezione di prova deve essere progettata con le seguenti caratteristiche di progetto:

- Fluido di processo: Lega eutettica piombo-bismuto (LBE);
- Temperatura di processo lato LBE: 550 °C;
- Gas di copertura in esercizio: Argon;
- Pressione gas di esercizio: <0.15 barg;
- Fluido di processo lato tubi HCSG: acqua pressurizzata;
- Pressione di progetto lato tubi HCSG: 9 MPa;

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  14 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

- Temperatura di progetto lato tubi HCSG: 550°C;
- Temperatura di progetto camera vapore: 500°C

Il materiale di cui è costruito l'intera sezione di prova sarà acciaio AISI316L/AISI316/AISI304/AISI304L.

## 6. MATERIALI

L'approvvigionamento e la ricezione dei materiali dovranno essere condotti conformemente alle norme ASTM, UNI e DIN, accompagnati da certificati di origine, comprovanti le caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche ed i trattamenti subiti relativi al lotto di materiale della fornitura.

Per le parti per le quali non sia applicabile alcuna delle norme indicate, il Fornitore dovrà procedere secondo il proprio standard aziendale, previa autorizzazione del Cliente.

In particolare, verrà utilizzato l'acciaio AISI316L per la sezione di prova.

Le flange e le contro-flange commerciali impiegate dove necessario devono rispettare la norma ASTM A 182 F316L.

Le guarnizioni di tenuta dovranno essere del tipo spirometallico a spire alternate grafite e AISI 316 (HB<160) di spessore 4.5 mm, con anello esterno di centraggio e anello di compressione interno in AISI 316 con spessore di 3 mm, dimensionate secondo ASME B16.20 (m=3.00;Y=68.9 MPa.)

La bulloneria di collegamento tra le flange, con interposte le guarnizioni spirometalliche, dovrà essere in acciaio inossidabile austenitico secondo ASTM A193 B8 o acciaio inox AISI 304 marcato A2 70 (minimo).

## 7. FABBRICAZIONE

La fabbricazione dovrà essere eseguita conformemente alle norme UNI applicabili alle costruzioni saldate.

Nell'assemblare i componenti dovrà essere prestata particolare attenzione al rispetto delle tolleranze dimensionali stabilite dalla norma UNI EN ISO 13920.


Per la realizzazione della sezione di prova (TS) dovranno essere adottate le classi di tolleranza migliori previste dalla norma stessa.

## 8. SALDATURE

Il riferimento normativo per quanto riguarda i giunti saldati è la Direttiva 97/23/CE (PED).

Per le saldature dovrà essere prodotto un documento che riporti per ogni giunzione:

- ✓ procedimento usato;
- ✓ qualifica saldatura;
- ✓ tipo di elettrodo e omologazione;
- ✓ qualifica del saldatore;
- ✓ controlli non distruttivi previsti.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  15 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## 9. ESTENSIONE DELLA FORNITURA

Nella fornitura sono incluse, come parti di ricambio, le guarnizioni di tenuta delle flange per la sezione di prova. In particolare, dovranno essere forniti 3 guarnizioni aggiuntive relative ad ogni giunto flangiato.

Il Fornitore dovrà consegnare i seguenti documenti in formato digitale:

- ✓ Progetto Esecutivo
- ✓ Dossier di fine fabbricazione
- ✓ Piano di fabbricazione e controllo
- ✓ Disegno meccanico di dettaglio dell'intero manufatto in formato 3D (stp)
- ✓ Rapporto sulla procedura di assemblaggio

Tutti i documenti dovranno essere rivisti e approvati da ENEA (entro 15 giorni solari).

I componenti della sezione di prova descritta devono essere progettati, messi in opera, certificati, collaudati e garantiti dal Fornitore. Ogni soluzione progettuale individuata dal Fornitore deve essere proposta al Cliente che provvederà all'approvazione o alle eventuali richieste di modifica.

Sono inclusi nella fornitura 4 dischi di rottura da 2", tarati a 500 mbarg, da installare su due tubazioni con flangia RF 2" 150 lb (area di scarico 13.26 cm<sup>2</sup>) collegate al mantello di S100 in cover gas.

## 10. ESCLUSIONI DELLA FORNITURA

Sono esclusi dalla fornitura:

- ✓ FPS, che verrà tenuto in sito e successivamente assemblato da ENEA;
- ✓ la pompa centrifuga ad asse verticale, che verrà fornita in conto lavorazione;
- ✓ RVACS;
- ✓ Air-cooling system FPS accoppiato al volume morto;


## 11. PULIZIA

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla pulizia dei manufatti, sia in fase di fabbricazione sia durante il trasporto. Dovrà essere garantito un alto livello di pulizia necessario a evitare che residui di lavorazioni meccaniche, scorie di saldatura, polvere ecc. possano depositarsi all'interno dei componenti di impianto.

**Tutti i componenti di impianto dovranno essere sgrassati e decapati presso le officine del Fornitore, adottando un'apposita procedura che dovrà essere elaborata e proposta dal Fornitore e successivamente approvata da ENEA.**

## 12. CONTROLLI DIMENSIONALI E PROVE IN OFFICINA

Il Cliente si riserva, in accordo con il Fornitore, di eseguire visite presso l'officina dello stesso durante la fabbricazione al fine di controllarne l'andamento.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	DOCUMENT Confidential	ISSUE DATE 16/11/2021	PAGE  16 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

Durante tali visite potranno essere eseguiti i controlli dimensionali per verificare la congruità dell'assemblato con quanto indicato nei disegni forniti.

Qualora gli scostamenti dalle tolleranze teoriche generali risultassero rilevanti al fine di non soddisfare i requisiti indicati nella presente specifica, il Fornitore, in accordo con il Cliente dovrà procedere ai necessari aggiustaggi per raggiungerli.

Per l'accettazione della fornitura dovrà essere realizzato, a seguito dell'esito positivo della prova di tenuta della sezione di prova installata in CIRCE e dei controlli dimensionali, un attento esame visivo, per verificarne il buon stato di pulizia e conservazione.

### 13. IMBALLO E TRASPORTO

Gli imballi dovranno essere idonei a garantire la conservazione della pulizia, la protezione delle parti e l'integrità strutturale della fornitura, durante il trasporto fino al sito ENEA del Brasimone. La fornitura dovrà inoltre essere dotata di un idoneo sistema di movimentazione al fine di consentirne l'estrazione dagli imballi senza incorrere in danneggiamenti e/o perdita dell'integrità geometrica.

### 14. TEST DI ACCETTAZIONE

I test di accettazione saranno effettuati presso il Fornitore.

I test di accettazione consisteranno di:

- I. Ispezione visiva del manufatto con verifica quote funzionali;

Il test di accettazione finale avrà luogo presso la hall sperimentale ENEA al C.R. di Brasimone.

Il test finale di accettazione consisterà di

- I. Ispezione visiva per verificare l'integrità della sezione di prova dopo il trasporto;
- II. Verifica pulizia del manufatto;
- III. Verifica corretta installazione;

L'accettazione della fornitura sarà considerata ultimata ad avvenuta installazione del componente sulla facility CIRCE e a seguito della approvazione di ENEA del Dossier di Fine Fabbricazione.


### 15. PAGAMENTI, GARANZIE, PENALITÀ

La fornitura dovrà essere completata entro 6 mesi dalla data di stipula del contratto.

I componenti consegnati saranno garantiti per un periodo di 24 mesi a partire dai test di accettazione finale.

I pagamenti saranno effettuati previa autorizzazione ad emissione fattura da parte del Responsabile Unico di Procedimento in accordo al seguente schema:

- ✓ 40% dell'ammontare totale a esito positivo dell'accettazione del progetto esecutivo di dettaglio;
- ✓ 30% dell'ammontare totale a seguito della consegna in sito di tutti i componenti oggetto della


 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  17 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

presente specifica tecnica;

- ✓ 30% dell'ammontare totale ad esito positivo dell'accettazione della fornitura in sito e previa consegna di tutta la documentazione prevista dal contratto.


Il pagamento sarà fatto tramite bonifico bancario, entro 60 giorni dalla data di ricevimento fattura, previa verifica della regolarità contributiva (DURC).

In caso di ritardo sulla data di consegna del manufatto, sarà applicata una penale del 0.3% del prezzo totale di vendita alla settimana con un massimo del 10% del prezzo totale.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  18 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## 16. ACRONYMS


ADS	Accelerator Driven System
ALFRED	Advanced LFR European Demonstrator
CIRCE	CIRColazione Eutettico
DHR	Decay Heat Removal system
FPS	Fuel Pin Simulator
FR	Flow Rate
FV	Fitting Volume
HCSG	Helical Coil Steam Generator
LBE	Lead-Bismuth Eutectic
MCP	Main Coolant Pump
MFR	Mass Flow Rate
MYRRHA	Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications
O.D.	Outer Diameter
PATRICIA	Partitioning And Transmuter Research Initiative in a Collaborative Innovation Action
RVACS	Reactor Vessel Auxiliary Cooling System
THETIS	Thermal-hydraulic HELical Tubes Innovative System
TS	Test Section

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  19 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## 17. LISTA DEI DISEGNI E DEGLI ALLEGATI


- ‘CI-I-R-534.pdf’ report sulla geometria della sezione di prova THETIS;
- ‘CI-I-R-517.pdf’ report sulla strumentazione della sezione di prova THETIS;
- ‘CI-I-R-538.pdf’ report sul design del HCSG;

ENEA consegnerà al Fornitore un CAD 3D (formato .stp) concettuale ‘PATRICIA\_THETIS\_rev1.stp’ dell’intera sezione di prova THETIS non strumentata, mentre la strumentazione da installare è fissata nella presente specifica tecnica e negli allegati.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  20 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## 18. REFERENCES

- [1] P. Lorusso, I. Di Piazza, D. Martelli, A. Musolesi, M. Tarantino, Preliminary Design Of Thetis Test Section For The Circe Facility, CI-I-R-534, ENEA report, 2021.
- [2] M. Tarantino, PRIMARY PUMP per impianto sperimentale a metallo liquido pesante CIRCE, CI-D-S-355, ENEA report, October, 11, 2018.
- [3] I. Di Piazza, P. Lorusso, D. Martelli, Conceptual design of the RVACS for the CIRCE facility, CI-I-R-457, ENEA report, April, 2, 2020.

 <b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b> Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare	Specifica Tecnica per la Fornitura ed Installazione della Sezione di Prova THETIS per l'impianto CIRCE	<b>DOCUMENT</b> Confidential	<b>ISSUE DATE</b> 16/11/2021	<b>PAGE</b>  21 of 21
		CI-I-S-564	Rev : 1	

## LISTA DI DISTRIBUZIONE

S. CATI	FSN-ING-PRO
M. CUZZANI	FSN-ING-PRO
I. DI PIAZZA	FSN-PROIN
D. GIANOTTI	FSN-ING-PRO
L. LAFFI	FSN-ING-PRO
P. LORUSSO	FSN-FUSTEC-TES
D. MARTELLI	FSN-ING-PRO
A. MUSOLESI	FSN-ING-PRO
G. POLAZZI	FSN-ING-PRO
L. RAPEZZI	FSN-ING-PRO
V. SERMENGHI	FSN-ING-PRO
M. TARANTINO	FSN-PROIN
M. VALDISERRI	FSN-ING-PRO
ARCHIVIO	FSN-ING