

|   |  |                                 |                                 |                            |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>ENEA</b><br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br><b>Dipartimento Fusione e Tecnologie</b><br><b>per la Sicurezza Nucleare</b> | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>1 of 19 |
|   |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                            |

**TITLE**

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

**AUTORI**




I. Di Piazza


**CONTRIBUTI**

D. Martelli, M. Tarantino

**SOMMARIO**


*Il presente documento riporta la specifica tecnica per la fornitura e installazione della sezione di prova per studio del Flow Induced Vibration (FIV) su Fuel Pin Simulator (FPS) con caratteristiche simili a quelle del Fuel Assembly (FA) del reattore DEMO LFR ALFRED. La sezione verrà installata nell'impianto a piombo fluente HELENA.*

| REV. | WRITTEN/ELABORATO   | CHECKED / CONVALIDA  | APPROVED / APPROVAZIONE  |
|------|---|--|--|
| 0    | Ivan Di Piazza<br> | Daniele Martelli<br> | Mariano Tarantino<br> |

|  |  |                                 |                                 |                            |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>2 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                            |

## Index

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>                             | <b>3</b>  |
| <b>2. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA.....</b>        | <b>5</b>  |
| <b>3. STRUMENTAZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA .....</b>    | <b>9</b>  |
| <b>4. LAYOUT SEZIONE DI PROVA .....</b>                  | <b>12</b> |
| <b>5. SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI .....</b>             | <b>13</b> |
| <b>5.1 ELABORAZIONE DATI STRAIN GAUGES .....</b>         | <b>13</b> |
| <b>6. PROVE PRELIMINARI SU UNA SINGOLA BARRETTA.....</b> | <b>14</b> |
| <b>7. MATERIALI .....</b>                                | <b>14</b> |
| <b>8. ESTENSIONE DELLA FORNITURA .....</b>               | <b>14</b> |
| <b>9. PULIZIA .....</b>                                  | <b>15</b> |
| <b>10. IMBALLO E TRASPORTO .....</b>                     | <b>15</b> |
| <b>11. TEST DI ACCETTAZIONE.....</b>                     | <b>15</b> |
| <b>12. PAGAMENTI, GARANZIE, PENALITÀ.....</b>            | <b>15</b> |
| <b>13. NOMENCLATURE.....</b>                             | <b>17</b> |
| <b>14. LISTA DEI DISEGNI E DEGLI ALLEGATI .....</b>      | <b>18</b> |
| <b>15. LISTA DI DISTRIBUZIONE .....</b>                  | <b>19</b> |

|  |  |                                 |                                 |                            |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>3 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                            |

## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività di ricerca in supporto allo sviluppo del reattore DEMO LFR AFRED (progetto europeo PASCAL), ENEA ha assunto il compito di svolgere attività sperimentali sulle vibrazioni fluido indotte nell'elemento di combustibile di ALFRED per via del moto del piombo liquido.

Queste attività verranno svolte nella facility sperimentale a piombo fluente HELENA, collocata presso il centro ENEA di Brasimone in Italia.

HELENA è una facility che consiste in un loop rettangolare con una pompa di circolazione meccanica in grado di garantire portate sino a 60 kg/s. La facility è costituita da un circuito primario a metallo liquido fluente (piombo puro), un circuito secondario ad acqua in pressione, un sistema di Fill&Drain ed una parte gas per garantire la copertura di Argon nell'impianto. Un layout concettuale del circuito primario è riportato in Figura 1. La sezione di prova da fornire, FIVFPS (Flow Induced Vibration Fuel Pin Simulator), prenderà il posto del ramo verticale destro della facility (n. 7 in Figura 1, vedi allegato). Il circuito secondario non verrà utilizzato per le prove di vibrazione fluido indotte, visto che il tempo di prova si aggira nell'ordine di alcuni minuti e non occorre raffreddare il fluido termovettore per via del riscaldamento indotto dalla pompa di circolazione. Il circuito primario è costituito da tubazioni in acciaio austenitico AISI316L 2.5" Sch. 40 ed è progettato per 10 bar e 550 °C.

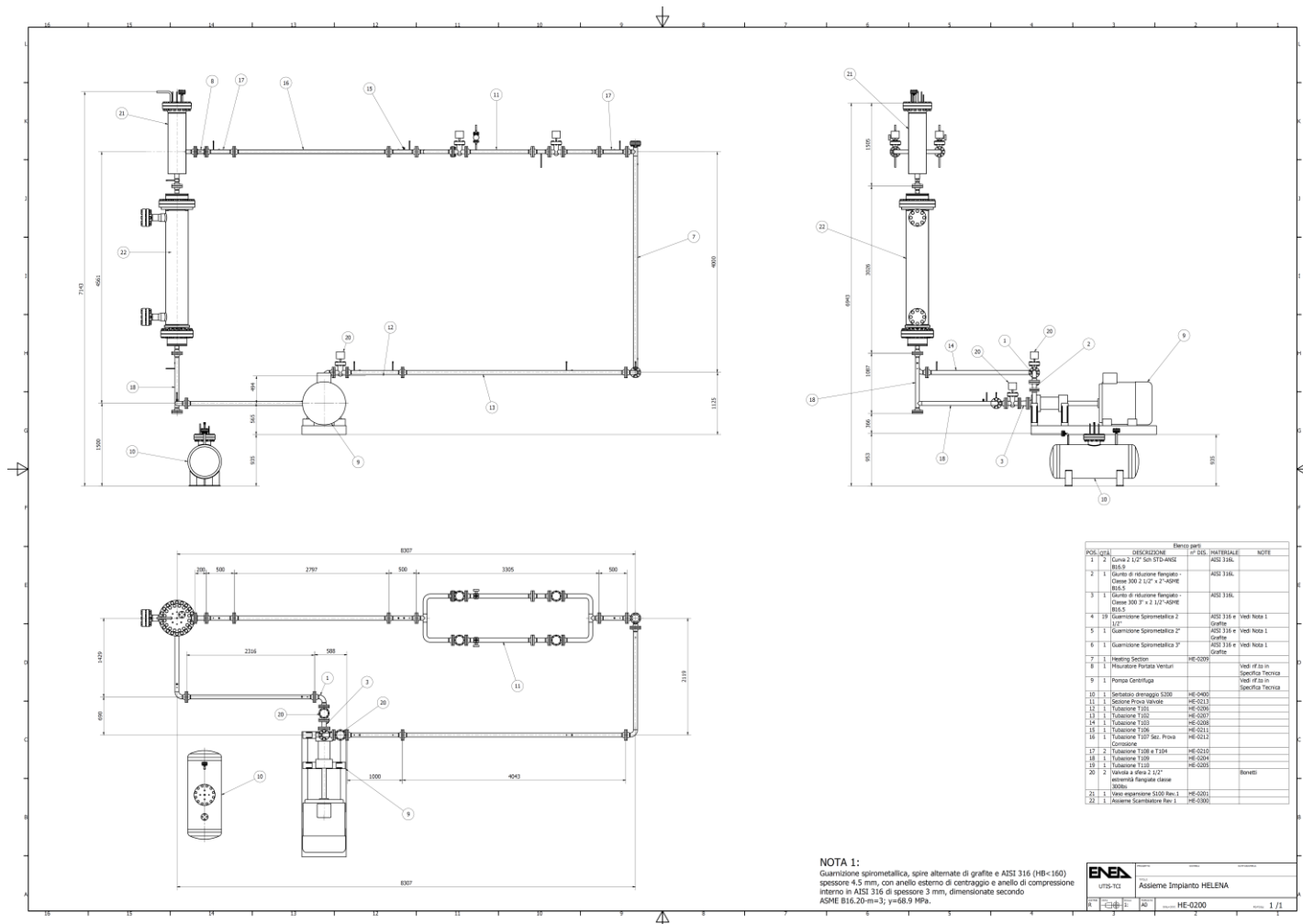
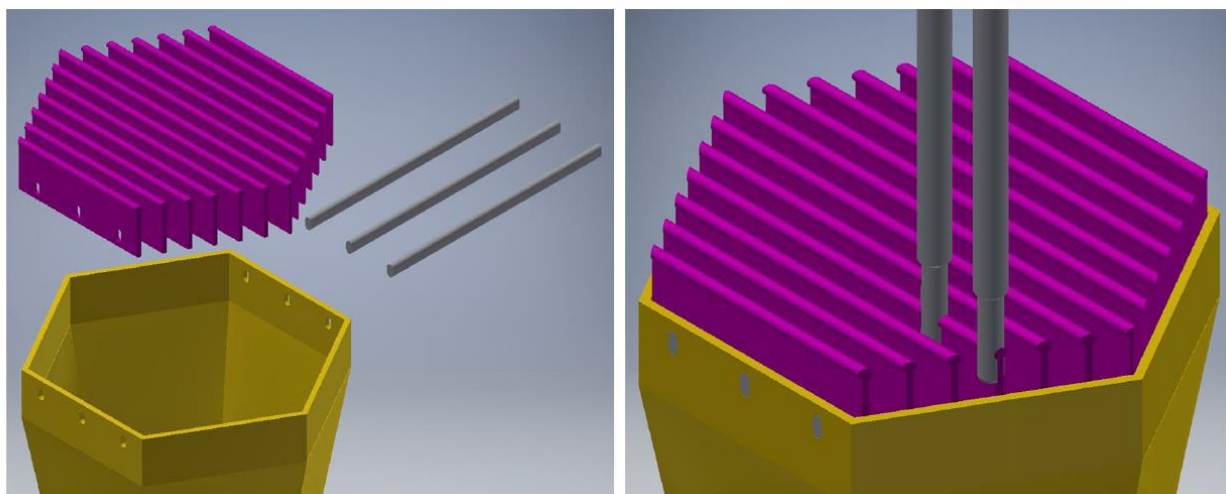


Figura 1 Layout concettuale impianto a metallo liquido HELENA.

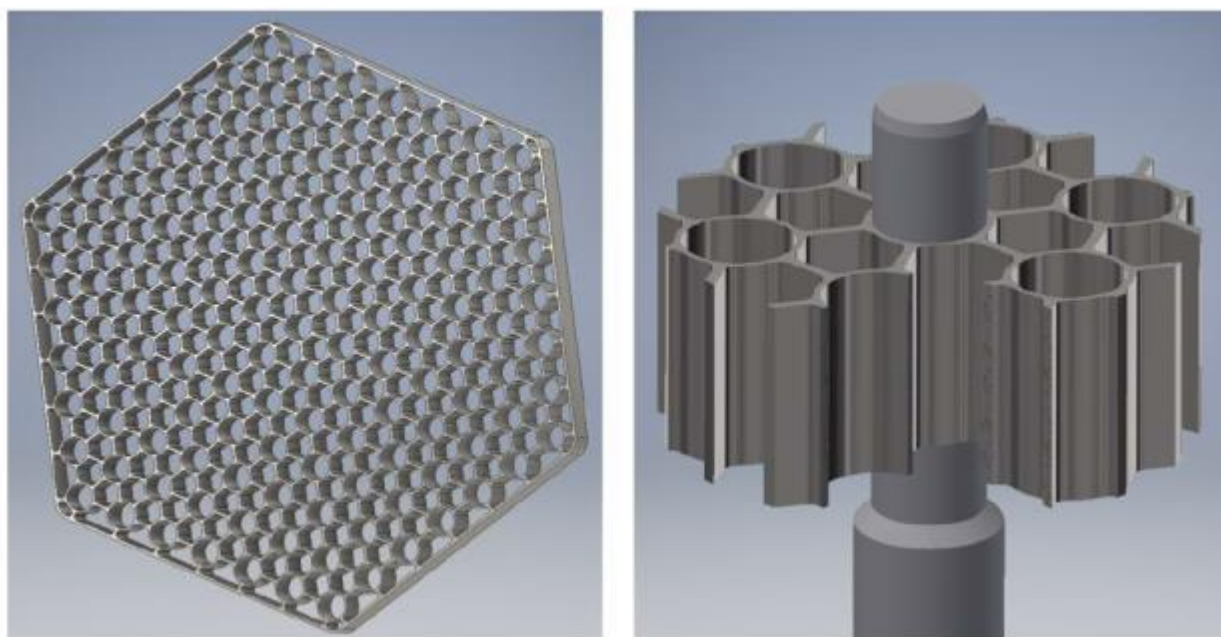
|   |  |                                 |                                 |                            |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>ENEA</b><br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br><b>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br/>per la Sicurezza Nucleare</b> | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>5 of 19 |
|   |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                            |

## 2. DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA

La sezione di prova consiste in un bundle di 37 pin (4 ranghi) tenuti in posizione da una griglia bassa ed una griglia alta, della tipologia rappresentate concettualmente rispettivamente in Figura 2 e Figura 3 (riferite al reattore ALFRED). Le griglie riprodurranno fedelmente quelle previste per il FA di ALFRED. In particolare la griglia superiore consentirà lo scorrimento della barretta in direzione assiale dovuta alla dilatazione termica mentre la griglia inferiore ancorerà la barretta saldamente attraverso un incastro.



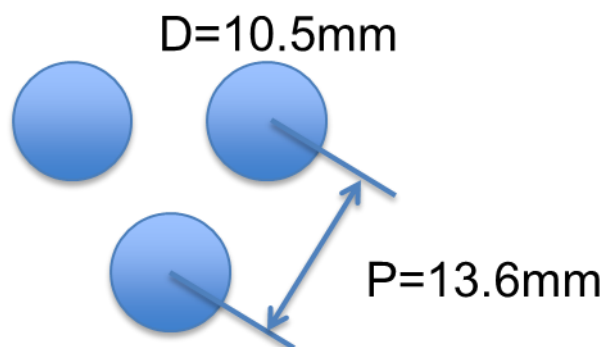
*Figura 2 Schema concettuale della griglia inferiore della sezione di prova.*



*Figura 3 Schema concettuale della griglia superiore della sezione di prova.*

|   |  |                          |                          |                     |
|---|--|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| <b>ENEA</b><br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br><b>Dipartimento Fusione e Tecnologie</b><br><b>per la Sicurezza Nucleare</b> | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | DOCUMENT<br>Confidential | ISSUE DATE<br>12/05/2021 | PAGE<br><br>6 of 19 |
|   |  | HE-I-S-539               | Rev : 0                  |                     |

La sezione di prova FIVFPS consisterà di 37 pin di acciaio inossidabile AISI316L, che dovrà simulare da un punto di vista vibrazionale la lunghezza attiva  $L_{active}=810$  mm ed una lunghezza complessiva della pin di 1710 mm. Il diametro esterno delle pin sarà  $D=10.5$  mm con uno spessore  $\delta$  di 0.6mm (diametro interno  $D_i=9.3$  mm) con un reticolo esagonale (sfalsato) con passo  $P=13.6$  mm, come illustrato in Figura 4.



**Figura 4 Struttura della cella elementare del Fuel Pin Bundle.**

Questa configurazione di fuel pin bundle è rilevante per il Fuel Assembly di ALFRED e ne riproduce le caratteristiche geometriche differendo soltanto per numero di pin rappresentate (37 contro 127).

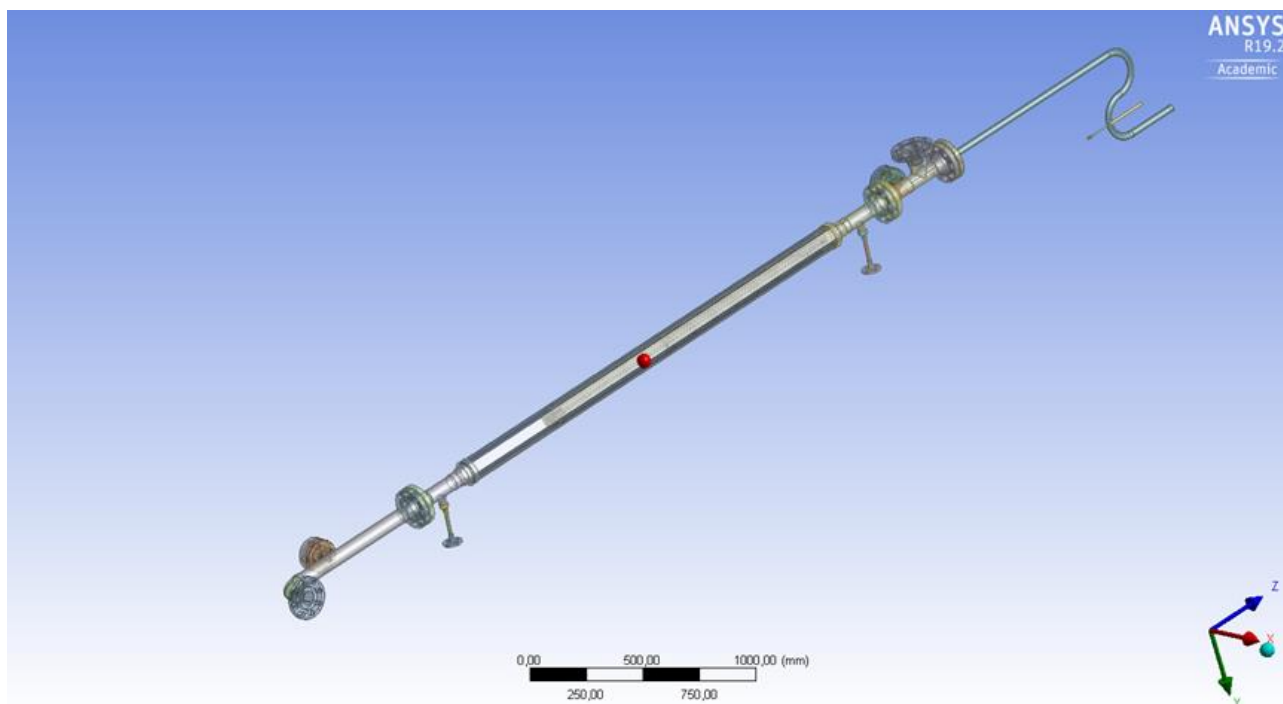
Gli obiettivi della campagna sperimentale sulla sezione di prova FIVFPS sulla facility HELENA sono i seguenti:

- determinazione delle frequenze fondamentali di vibrazione (modi I e II) sulla barretta del FPS in piombo fluente;
- determinazione dell'ampiezza di vibrazione associata;
- investigazione dei due punti precedenti al variare della portata di metallo liquido (10-50 kg/s) e dunque della velocità del fluido;

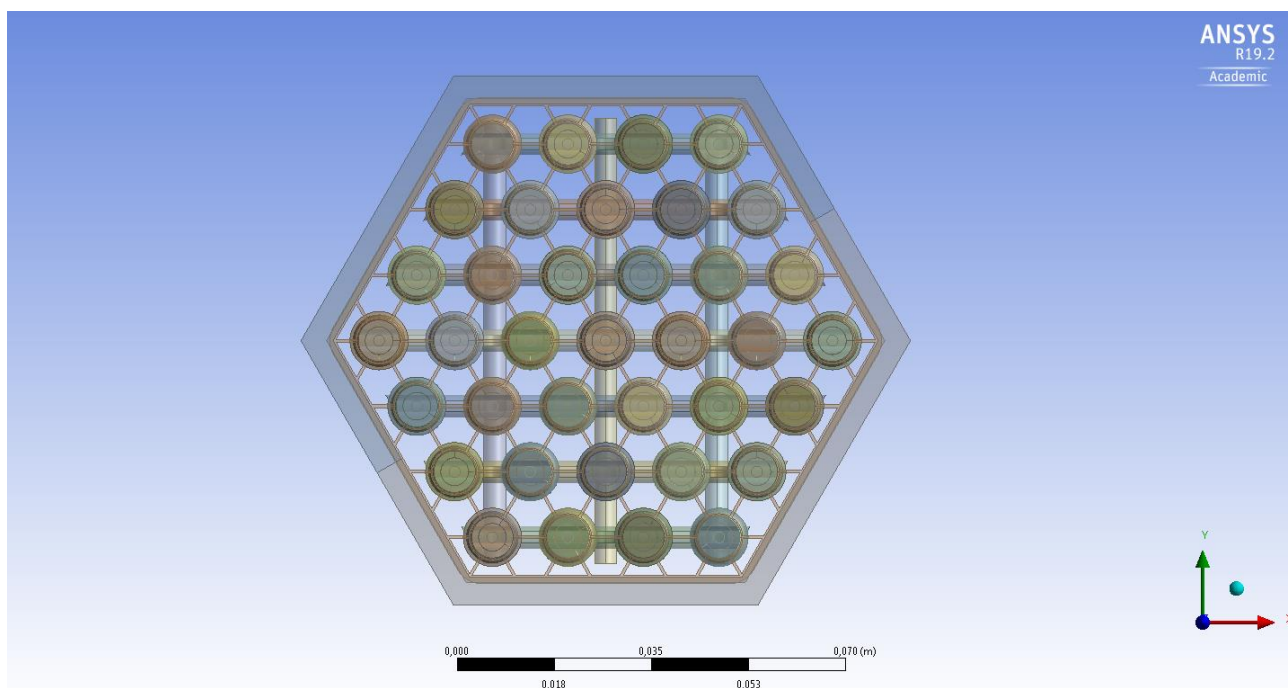
Partendo dalla portata massima nominale (canale caldo) per l'ALFRED FA (127 pin) di 153 kg/s di piombo liquido, la portata di riferimento per le prove con un mock-up di 37 pin sarà 45 kg/s (scaling-down); dunque il range di portate sperimentale varierà da 10 a 50 kg/s e coprirà tutto il range di interesse. La temperatura delle prove sarà di circa 450°C.

Una vista 3D della sezione di prova FIVFPS è riportata in Figura 5, mentre una vista dall'alto delle sole barrette con griglie è riportata in Figura 6. Lo sviluppo dell'intera sezione di prova compresa di flange di collegamento permettono di collegare la sezione di prova stessa all'impianto HELENA sostituendo il ramo dell'impianto denominato 'Heating Section' (come da allegato). Il collo d'oca rappresentato in alto in Figura 5 consentirà l'uscita della strumentazione dalla Test Section. Sono previste delle flange da 1" per il collegamento di trasduttori di pressione assoluti e delle flange da 1/2" per il collegamento di un trasduttore di pressione relativo. Le penetrazioni con le flange incluse flange cieche di chiusura sono parte integrante della fornitura, mentre i relativi trasduttori sono già in possesso di ENEA e sono esclusi dalla fornitura stessa. L'installazione dei trasduttori di pressione sarà a carico ENEA.

|   |  |                                 |                                 |                            |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>ENEA</b><br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br><b>Dipartimento Fusione e Tecnologie</b><br><b>per la Sicurezza Nucleare</b> | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>7 of 19 |
|   |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                            |



**Figura 5 3D view of the test section FIVFPS.**



**Figura 6 Vista dall'alto delle barrette del FPS comprese di griglie.**

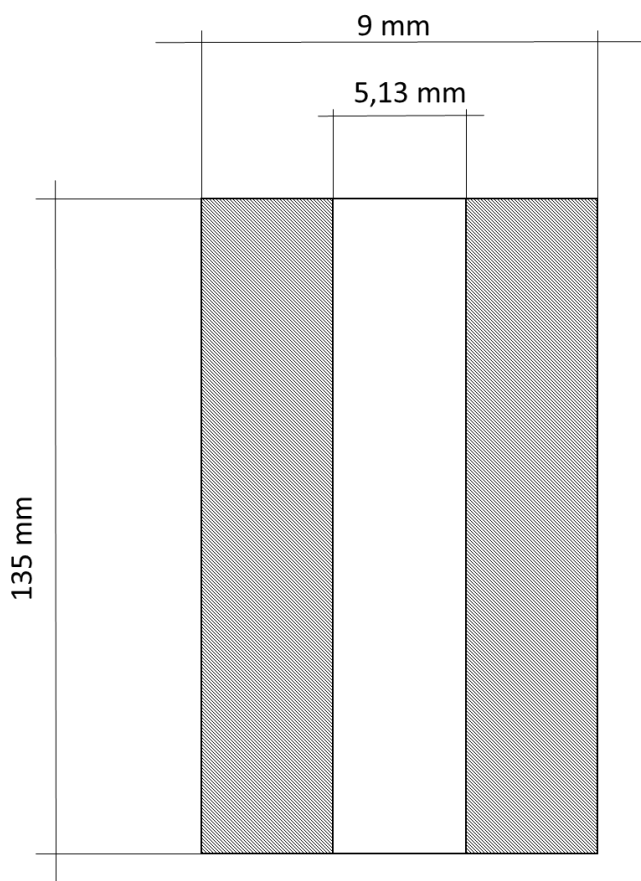
Per riprodurre il comportamento meccanico dal punto di vista vibrazionale è necessario rispettare la distribuzione dei pesi lungo le pin. Per questa ragione, le pin, in zona attiva, sono riempite con pellet forate di carburo di tungsteno, il cui peso riproduca quelle del combustibile della pin di ALFRED. Con una densità per il carburo di tungsteno pari a  $14700 \text{ kg/m}^3$ , per mantenere un peso uguale a quello del combustibile, occorre adottare pellet forate di diametro esterno 9 mm e diametro interno 5.13 mm. Considerato che l'altezza delle

|   |  |                                 |                                 |                            |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>ENEA</b><br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br><b>Dipartimento Fusione e Tecnologie</b><br><b>per la Sicurezza Nucleare</b> | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>8 of 19 |
|   |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                            |

‘pellet’ commerciali (cilindretti) è di 135 mm, ne occorreranno 6 per pin ( $6 \cdot 135 = 810$  mm) per coprire l’intera zona attiva, dunque per un totale di  $6 \cdot 37 = 222$  pellet. Il peso totale delle pellet per ciascuna pin sarà 510 g come nel FA di ALFRED. Uno schema concettuale di una singola pellet di carburo di tungsteno è mostrato in Figura 7. La singola pin riprodurrà fedelmente quella del reattore ALFRED, vedi disegno allegato ‘ALFRED v.2.00\_Fuel Assembly - Fuel Pin.pdf’. In particolare nella parte inferiore e superiore vi sono 2 pellet di materiale isolante (allumina) di altezza 15 mm e nella parte alta della pin sarà montata una molla che tiene in posizione le pellet. Nella parte bassa, oltre la pellet di allumina, viene inserita una pellet di materiale deformabile e la pin viene deformata (clampata) in modo da garantire che le pellet non possano scivolare in basso.


La presente specifica tecnica con i suoi allegati descrive il design concettuale della nuova sezione di prova FIVFPS con la relativa strumentazione.

Il Fornitore si dovrà responsabilizzare sulle scelte fatte da ENEA nel progetto concettuale, proponendo soluzioni migliorative se necessario, da concordare con ENEA, elaborando quindi il disegno meccanico di dettaglio, il piano di fabbricazione e controllo della sezione di prova con relativa strumentazione e procedure di assemblaggio.



**Figura 7** Disegno concettuale di una pellet di carburo di tungsten da inserire all’interno delle pin.



|  |  |                          |                          |                     |
|--|--|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | DOCUMENT<br>Confidential | ISSUE DATE<br>12/05/2021 | PAGE<br><br>9 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539               | Rev : 0                  |                     |

### 3. STRUMENTAZIONE DELLA SEZIONE DI PROVA

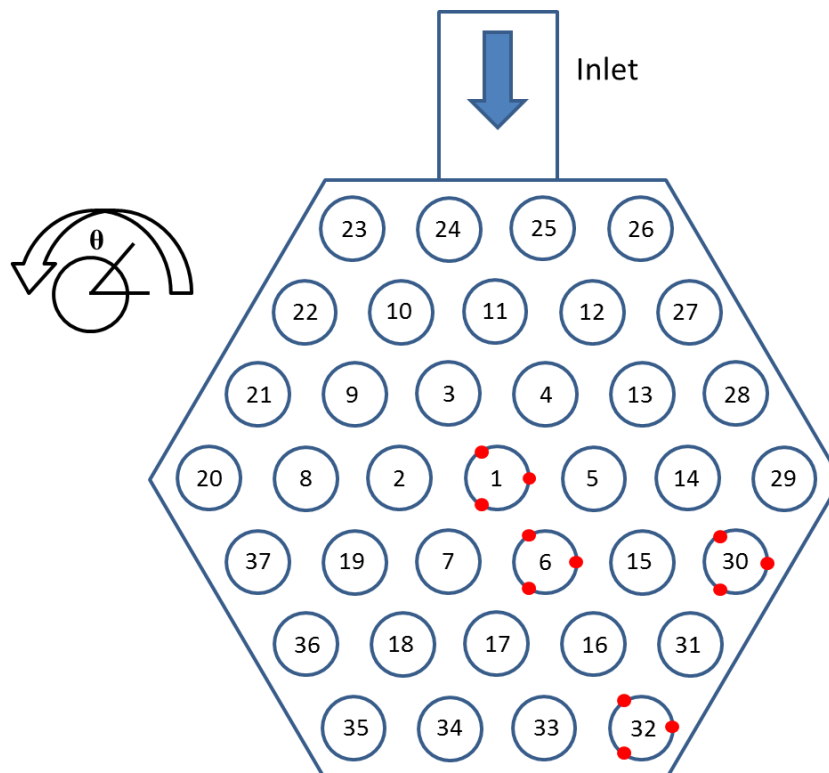
La strumentazione della sezione di prova consisterà in strain gauges (SG) da installare longitudinalmente lungo la direzione assiale delle pin sulla superficie delle stesse. Gli strain gauges dovranno avere una temperatura massima di utilizzo di 500°C ed una deformazione massima corrispondente ad una freccia radiale di 300 micron. Dopo una ricerca di mercato, si è optato per l'utilizzo di strain gauge specifici ad alta temperatura compatti, appartenenti alla famiglia KYOWA Encapsulated il cui datasheet è allegato alla presente specifica tecnica. In particolare si è optato per il modello KHC rivestito in inox (pagina 10 del catalogo allegato) e che corrisponde alle caratteristiche richieste.

Per catturare i primi due modi vibrazionali, gli SG andranno installati in mezzzeria tra i due vincoli (I modo) ed a  $\frac{3}{4}$  della distanza tra i vincoli (II modo). Assumendo come origine dell'asse z verticale la base delle pin in basso, avendo una lunghezza totale delle pin di 1710 mm con una distanza tra i vincoli (le due griglie) di circa 1700 mm, gli SG andranno posizionati a  $z=850$  mm e  $z=1275$  mm.

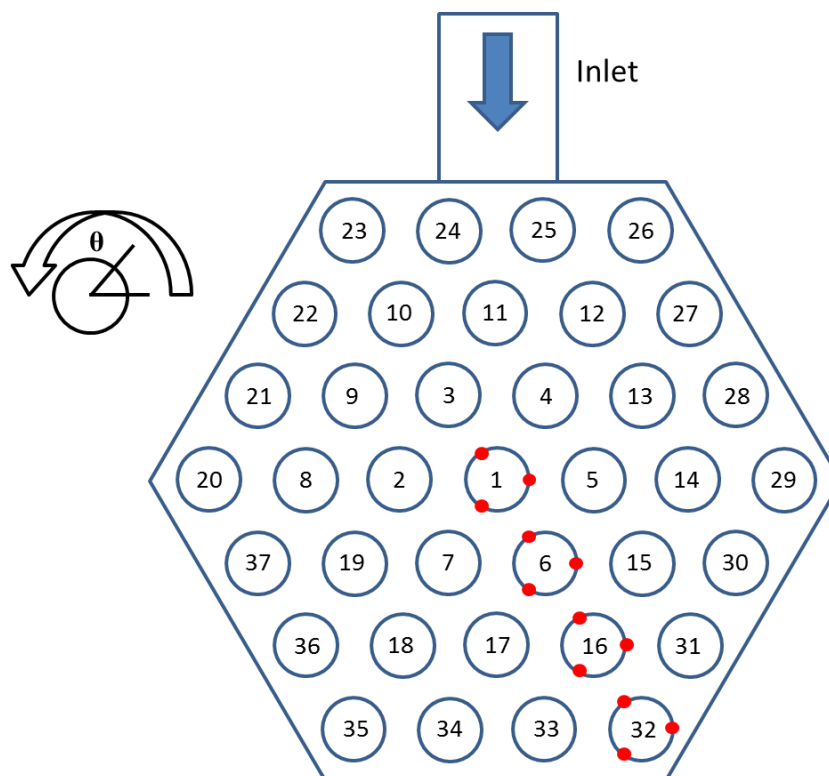
Per quanto riguarda la posizione azimutale degli SG si fa riferimento alle Figura 8 e Figura 9 per il loro posizionamento relativamente ai piani  $z=850$  mm (Figura 8) e  $z=1275$  mm (Figura 9). Figura 8 e Figura 9 riportano il bundle visto dall'alto con le pin numerate, le posizioni degli SG indicati, il sistema di riferimento per la misura dell'angolo azimutale e la tubazione di inlet del fluido. Si noti che per il piano di mezzzeria (Figura 8) sarà strumentata la pin di lato n.30, mentre per il piano a  $z=1275$  (Figura 9) sarà strumentata la pin del terzo rango n.16.

Tabella 1 riporta la posizione azimutale ed assiale dei 24 SG da installare sulle pin come indicato in Figura 8 e Figura 9. Gli SG su una singola pin alla stessa quota sono previsti a 120° l'uno dall'altro in modo da cogliere sempre almeno una componente di oscillazione. Gli SG previsti secondo lo schema di Tabella 1 e Figura 8 e Figura 9 coprono tutti e 4 i ranghi del Fuel Pin bundle e tutti possibili casi. A partire dai 3 SG per punto di misura attraverso opportuno post-processamento dati sarà possibile risalire alla freccia dell'oscillazione ed alla sua frequenza.


|   |  |                                 |                                 |                             |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <b>ENEA</b><br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>10 of 19 |
|   |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |



**Figura 8** Layout schematico del Fuel Pin Bundle FIVFPS visto dall'alto sul piano  $z=850$  mm (piano di mezzeria).




**Figura 9** Layout schematico del Fuel Pin Bundle FIVFPS visto dall'alto sul piano  $z=1275$  mm (piano a 3/4).

|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>11 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

**Tabella 1 Posizione azimutale ed assiale degli Strain Gauges (SG) nella sezione di prova**

| Strain Gauge | Pin | $\theta$ (°) | z [mm] |
|--------------|-----|--------------|--------|
| SG-01        | 1   | 0            | 850    |
| SG-02        | 1   | 120          | 850    |
| SG-03        | 1   | 240          | 850    |
| SG-04        | 6   | 0            | 850    |
| SG-05        | 6   | 120          | 850    |
| SG-06        | 6   | 240          | 850    |
| SG-07        | 30  | 0            | 850    |
| SG-08        | 30  | 120          | 850    |
| SG-09        | 30  | 240          | 850    |
| SG-10        | 32  | 0            | 850    |
| SG-11        | 32  | 120          | 850    |
| SG-12        | 32  | 240          | 850    |
| SG-13        | 1   | 0            | 1275   |
| SG-14        | 1   | 120          | 1275   |
| SG-15        | 1   | 240          | 1275   |
| SG-16        | 6   | 0            | 1275   |
| SG-17        | 6   | 120          | 1275   |
| SG-18        | 6   | 240          | 1275   |
| SG-19        | 16  | 0            | 1275   |
| SG-20        | 16  | 120          | 1275   |
| SG-21        | 16  | 240          | 1275   |
| SG-22        | 32  | 0            | 1275   |
| SG-23        | 32  | 120          | 1275   |
| SG-24        | 32  | 240          | 1275   |

|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>12 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

#### 4. LAYOUT SEZIONE DI PROVA

I dettagli geometrici della sezione di prova sono ricavabili dal disegno CAD allegato (.stp) alla presente specifica tecnica. In particolare le diverse riduzioni e curve necessarie per la connessione con la facility HELENA dovranno essere rispettate.

Lo scopo della fornitura è la progettazione di dettaglio, fabbricazione, assemblaggio ed il montaggio del fuel pin bundle simulator FIVFPS (vedi allegato) con la scatola esagonale e tutte le parti e le flange necessarie per la connessione alla facility HELENA.

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

- Pressione di progetto: 10 bar
- Temperatura di progetto: 550 °C


Il materiale di cui è costruito l'intero pin bundle sarà acciaio AISI316L..

Solo 2 griglie saranno realizzate per tenere in posizione le pin del bundle: la griglia inferiore e quella superiore.

Un collo d'oca nella flangia superiore a 'T' permetterà la fuoriuscita della strumentazione e sarà sigillato con LBE (fornito da ENEA, insieme alla procedura di sealing).

L'intera sezione di prova dovrà essere smontabile in modo da potere inserire in un secondo momento una griglia intermedia. L'eventuale griglia intermedia da inserire in un secondo momento sarà fornita da ENEA.

Il fornitore dovrà provvedere ad una soluzione per la scatola esagonale che eviti eccessive deformazioni a seguito di eventuali saldature.

|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>13 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

## 5. SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

Il fornitore dovrà provvedere al sistema di acquisizione dati degli strain gauges da integrare con il sistema di acquisizione dati e controllo della facility HELENA.

Per la acquisizione degli SG, dopo attenta ricerca, è stata individuata la tecnologia appartenente alla famiglia Dewesoft che è in grado di garantire robustezza, flessibilità di utilizzo e modularità con acquisizione a 24bit su più canali sincronizzati tra loro al microsecondo. L'HW può essere collegato tramite interfaccia USB/Ethercat a qualsiasi PC con sistema operativo Windows.

Il software per la gestione dei segnali dovrà essere sviluppato su tecnologia Dewesoft.

Il framework messo a disposizione offre una serie di tool opzionali per l'analisi di dettaglio (analisi FFT, order tracking, analisi dinamiche strutture, ecc.) garantendo parallelamente la possibilità di sviluppare diverse interfacce, tramite linguaggi di programmazione come C++.

L'elevato grado di customizzazione consente di estendere l'enorme set di funzionalità del software o automatizzare i processi di test ed esportazione dei dati.

### 5.1 ELABORAZIONE DATI STRAIN GAUGES


Il fornitore si occuperà della configurazione dei sensori, del pre-processing dei dati, dello sviluppo di interfacce di visualizzazione ad hoc.

L'elaborazione dati della campagna sperimentale per i segnali degli SG sarà a carico del fornitore.

L'elaborazione comprenderà:

1. la conversione dei segnali degli strain gauges (deformazioni in 3 direzione con 3 SG pr punto di misura) in ampiezza di oscillazione radiale della barretta (freccia);
2. L'analisi in frequenza (FFT) dell'ampiezza di oscillazione in modo da determinare la frequenza dei primi due modi di oscillazione della barretta;

Il fornitore fornirà assistenza anche durante le prove sperimentali. Sarà inoltre da prevedere, sempre a carico del fornitore, un corso per 2 persone per l'utilizzo degli strain gauges e la loro acquisizione.

|  |  |                          |                          |                      |
|--|--|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | DOCUMENT<br>Confidential | ISSUE DATE<br>12/05/2021 | PAGE<br><br>14 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539               | Rev : 0                  |                      |

## 6. PROVE PRELIMINARI SU UNA SINGOLA BARRETTA

Una singola barretta correttamente vincolata e strumentata con 3 SG a 120° in mezzeria sarà oggetto di test preliminari in aria. La barretta verrà sollecitata tramite martello strumentato e si verificherà il software di post-processamento e la capacità di elaborazione dell'intera catena di acquisizione e post-processamento.

Sarà eseguita una prova in bianco per validare l'architettura definita. La singola pin incastrata alle estremità sarà sollecitata meccanicamente al fine di indurre una vibrazione sulla stessa e verificare la corretta acquisizione della strumentazione individuata e l'elaborazione da parte del sistema di acquisizione. Sarà inoltre sviluppato da parte del fornitore un modello FEM semplificato per verificare i modi propri di vibrare. La simulazione darà anche un primo feedback sui punti di massima sollecitazione attesi sulla singola pin al fine di validare o eventualmente modificare i punti di installazione della sensoristica individuata.

## 7. 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.

## 8. ESTENSIONE DELLA FORNITURA

Oltre la sezione di prova, dotata di flange cieche di chiusura, dovranno essere forniti n.2 tronchetti flangiati in acciaio austenitico AISI316L 2.5" S40, con flange 2.5" ASME 300 lb.


I tronchetti dovranno avere una distanza flangia-flangia di 1992 mm.

Nella fornitura sono incluse, come parti di ricambio, le guarnizioni di tenuta delle flange per la sezione di prova, incluso le penetrazioni per i trasduttori, e per i tronchetti flangiati. In particolare, dovranno essere forniti 5 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 .stp
- ✓ Rapporto sulla procedura di assemblaggio dell'intero FPS

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

|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>15 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

## 9. 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.

## 10. 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.

## 11. 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;
- II. Test di funzionamento degli strain gauges installati;
- III. Prova di tenuta sulla sezione di prova;

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 visive per verificare l'integrità della sezione di prova dopo il trasporto;
- II. Test di funzionamento degli strain gauges installati;

L'accettazione della fornitura sarà considerata ultimata ad avvenuta installazione del componente sulla facility HELENA, al collaudo del sistema di acquisizione dati degli SG e a seguito della approvazione di ENEA del Dossier di fine Fabbricazione.


## 12. PAGAMENTI, GARANZIE, PENALITÀ

La fornitura dovrà essere completata entro 12 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:

- 30% del prezzo totale dopo la consegna e l'accettazione da parte di ENEA del Piano di fabbricazione e controllo;


|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br><b>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br/>per la Sicurezza Nucleare</b> | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>16 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

- 30% del prezzo totale dopo i test di accettazione presso il fornitore;
- 40% del prezzo totale dopo accettazione della fornitura in sito e approvazione del Dossier di fine Fabbricazione da parte di ENEA.

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.



|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>17 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

### 13. NOMENCLATURE


|          |   |
|----------|---|
| $D$      | Diametro esterno pin                                      |
| $D_i$    | Diametro interno pin                                      |
| FA       | Fuel Assembly   |
| FIVFPS   | Flow Induced Vibration Fuel Pin bundle Simulator          |
| HLM      | Heavy Liquid Metal  |
| LBE      | Lead Bismuth Eutectic                                     |
| SG       | Strain Gauges   |
| SG-XX    | Nomi convenzionali degli Strain Gauges                    |
| $z$      | Coordinata verticale con origine la parte bassa della pin |
| $\theta$ | Angolo azimutale  |
| $\delta$ | spessore pin  |

|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>18 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

#### 14. LISTA DEI DISEGNI E DEGLI ALLEGATI

- ‘Assieme Impianto HELENA.pdf’ messa in tavola layout impianto HELENA
- ‘HELENA FIVFPS Test Section Assembly.pdf’ messa in tavola disegno HELENA FIVFPS
- ‘S1171EN1018 Rev00\_HELENA\_Heating section.dwg’ disegno tecnico Heating Section
- ‘Kyowa Strain gauge data sheet.pdf’ data sheet degli strain gauges
- ‘ALFRED v.2.00\_Fuel Assembly - Fuel Pin.pdf’ Alfred Fuel Pin

ENEA consegnerà al fornitore un CAD 3D (format .stp) concettuale del bundle FIVFPS non strumentato, mentre la posizione ed il numero di strain gauges da installare sono fissati nella presente specifica tecnica.

|  |  |                                 |                                 |                             |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <br><b>SEZIONE PROGETTI INNOVATIVI</b><br>Dipartimento Fusione e Tecnologie<br>per la Sicurezza Nucleare | Specifica Tecnica per la<br>Fornitura ed<br>Installazione della<br>Sezione di prova<br>FIVFPS per l'impianto<br>HELENA | <b>DOCUMENT</b><br>Confidential | <b>ISSUE DATE</b><br>12/05/2021 | <b>PAGE</b><br><br>19 of 19 |
|  |  | HE-I-S-539                      | Rev : 0                         |                             |

## 15. LISTA DI DISTRIBUZIONE

|               |             |
|---------------|-------------|
| S. CATI       | FSN-ING-PRO |
| I. DI PIAZZA  | FSN-PROIN   |
| D. MARTELLI   | FSN-ING-PRO |
| A. MUSOLESI   | FSN-ING-PRO |
| G. POLAZZI    | FSN-ING-PRO |
| M. SERRA      | FSN-ING-PRG |
| M. TARANTINO  | FSN-PROIN   |
| M. VALDISERRI | FSN-ING-PRO |
| ARCHIVIO      | FSN-ING     |