



ATTIVITÀ DI FISICA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI A ITER



Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF

G. Micciché

UTIS-PNIP

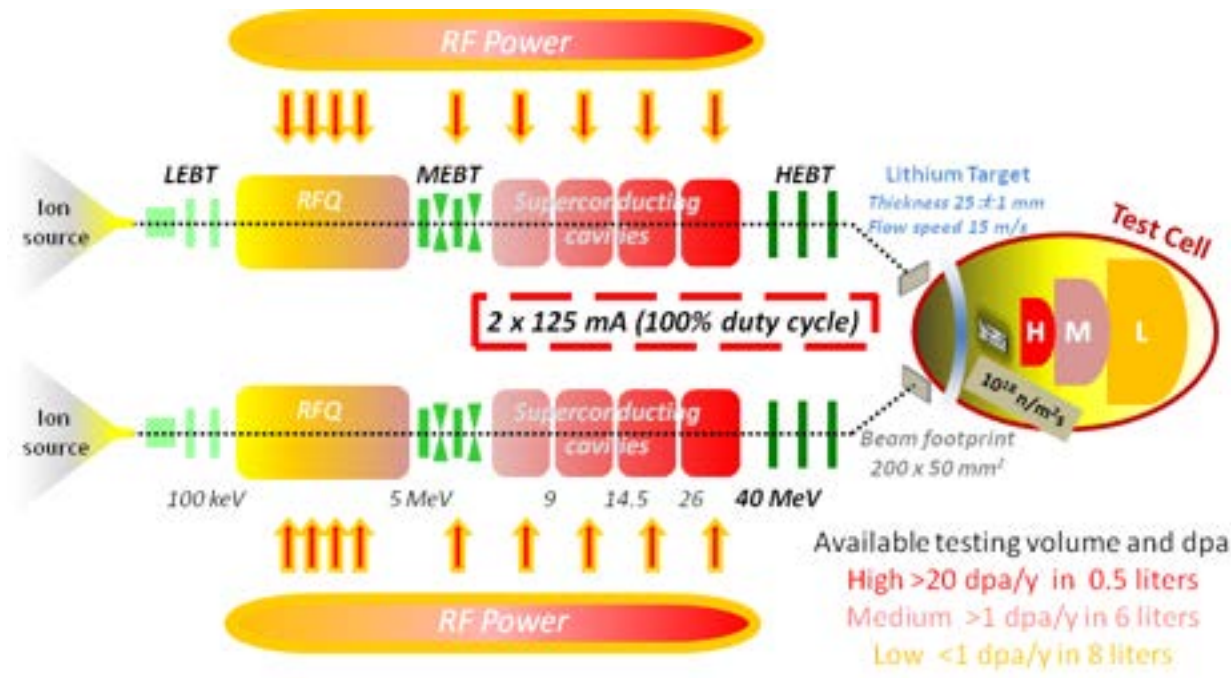
CR ENEA Brasimone

Contributi:

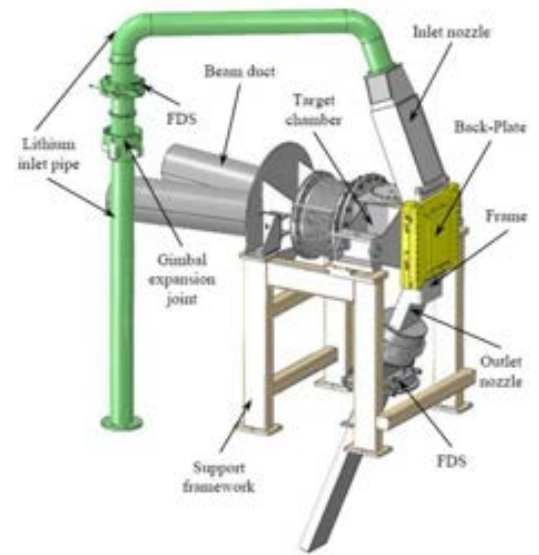
| | | | |
|--------------|----------------|---------------|-----------------------|
| A. Aiello | ENEA Brasimone | A. Tincani | ENEA Brasimone |
| P. Agostini | ENEA Brasimone | P.A. DiMaio | Università di Palermo |
| D. Bernardi | ENEA Brasimone | G. DiGironimo | Università di Napoli |
| P. Favuzza | ENEA Brasimone | R. Traversi | Università di Firenze |
| M. Frisoni | ENEA Bologna | | |
| L.Lorenzell | ENEA Brasimone | | |
| S. Mannori | ENEA Brasimone | | |
| F.S. Nitti | ENEA Brasimon | | |
| M.T. Porfiri | ENEA Frascati | | |
| T. Pinna | ENEA Frascati | | |

International Fusion Materials irradiation Facility (IFMIF)

La International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) è la più promettente macchina progettata per la qualifica dei materiali strutturali da impiegare per la progettazione, costruzione, licensing dei futuri reattori nucleari a fusione (DEMO).



Deutoni at 40 MeV
Target Li: 250°C, 15 m/s
Flusso N: $10^{18} \text{ n} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
(14 MeV)



Disponibilità d'impianto richiesta 70%
Componenti critici: Acceleratore, Target Assembly e Test Modules

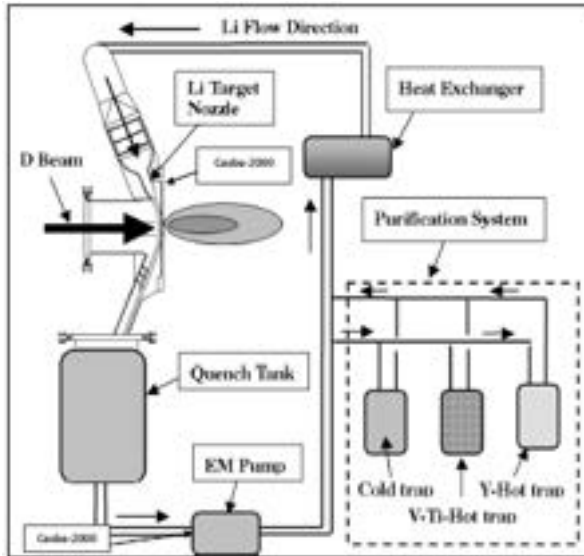
Contributo dell'ENEA alla progettazione di IFMIF



L'ENEA ha la responsabilità dei seguenti PA :

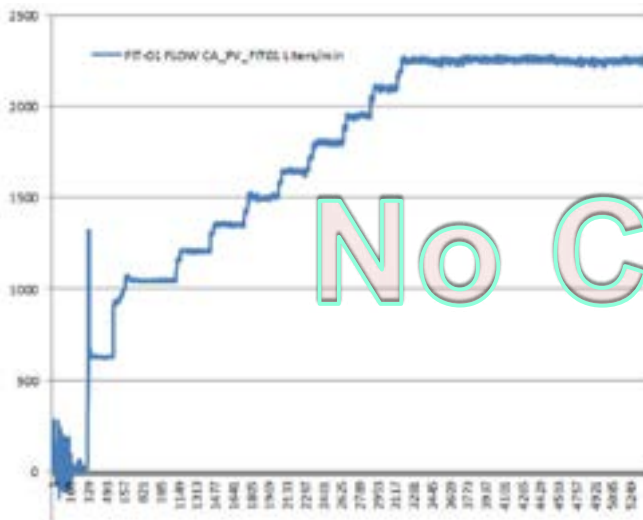
- ❑ Forniture ed implementazioni per la progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianto a litio ELTL Loop per IFMIF (Attività sperimentali Impianto ELTL di Oarai)
- ❑ Forniture ed implementazioni per le attività sperimentali per lo studio dei fenomeni di corrosione/erosione da litio per IFMIF
- ❑ Forniture ed implementazioni per le attività di qualifica sperimentale del sistema di purificazione Li
- ❑ Forniture ed implementazioni per la progettazione completa del target assembly per IFMIF
- ❑ Forniture ed implementazioni per lo sviluppo e la qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF

Campagna Sperimentale misure di cavitazione impianto ELTL di Oarai (Gen- Giu2014)



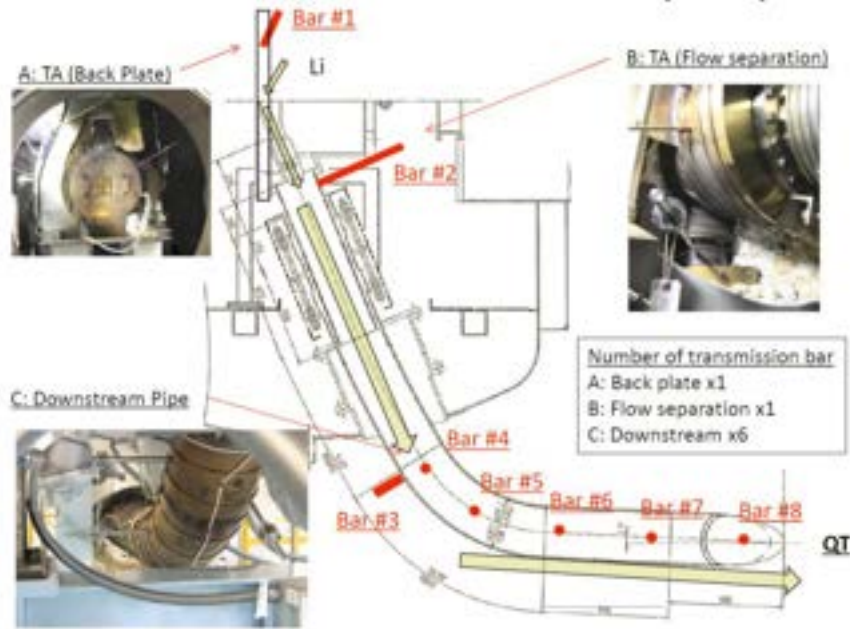
La campagna sperimentale è stata articolata in due fasi:

- ❑ Misure di cavitazione sul TA e all'ingresso della EMP (Gen.- Feb. 2014)
- ❑ Misure di cavitazione sul TA ed in posizione intermedia tra il TA stesso e la vasca di raccolta (QT) (Giugno 2014)

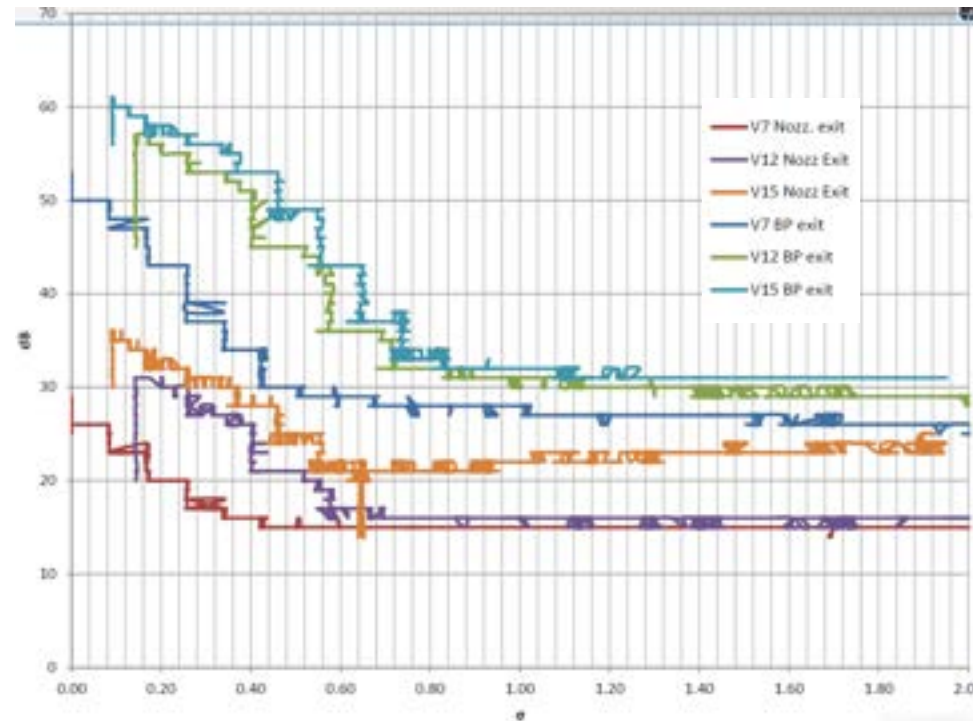


No Cavitazione





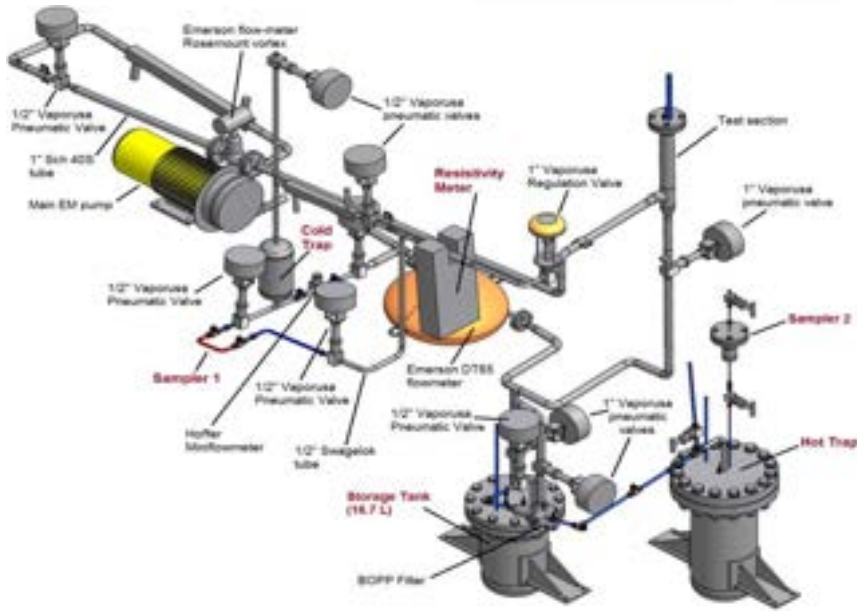
2^a Campagna Sperimentale (Giugno 2014)
Misure di cavitazione sul TA (ingresso del Target - e in posizione intermedia tra il TA stesso e la vasca di raccolta (QT))



Fenomeni di cavitazione sono stati osservati a:

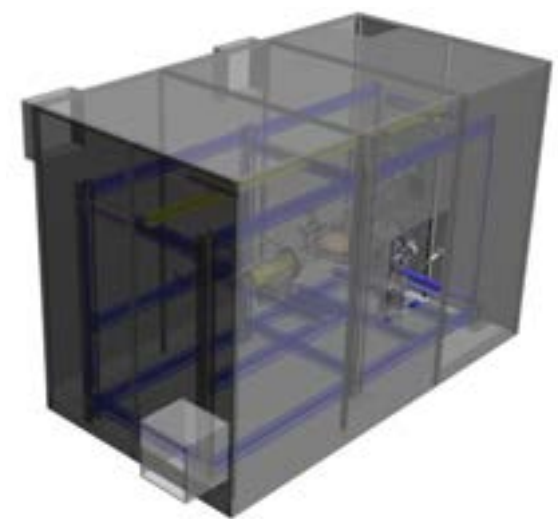
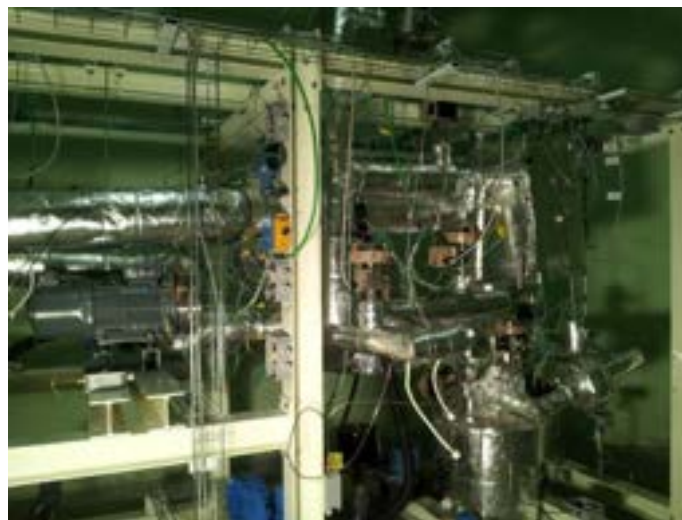
- Bassa pressione
- Bassa pressione ed alta velocità
- Risultati coerenti con il numero di cavitazione σ calcolato per le condizioni sperimentali di test
- Stessi risultati dei sensori commerciali Giapponesi

Attività sperimentali per lo studio dei fenomeni di Erosione e corrosione



LiFUS6 è stato interamente progettato e realizzato al CR ENEA del Brasimone:

- ❑ Loop principale: Isotermo (350 °C)
- ❑ Velocità litio 16 m/s (in sezione di prova)
- ❑ Loop secondario: Sistema di purificazione (H,C,O)
- ❑ Sistema di purificazione (N) separato
- ❑ Sistemi di campionamento per analisi del litio
- ❑ Sistema di monitoring online (N)
- ❑ Litio disponibile in vasca di stoccaggio ~8,4 litri



Attività sperimentali per lo studio dei fenomeni di Erosione e corrosione

Stato di LiFus6 :

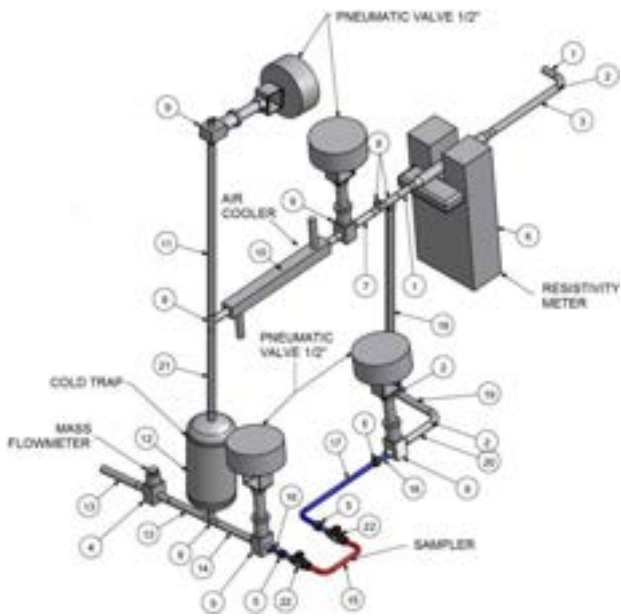
- Costruzione impianto completata
- Attualmente è in fase di completamento il commissioning
- Sostituzione di alcuni componenti (in fase di esecuzione)
- Start delle attività sperimentali (Luglio 2015)

Matrice di prova di LiFus6

| Test | Materials | Duration [h] | Li speed [m/s] | Temperature [°C] | Nitrogen Conc. [wppm] | Specimen Roughness [μm] | Specimen s n° |
|------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| Short Term | Eurofer 97 + F82H | 1000 | 15 | 350 | < 30 | < 3.0 | 4 + 4 |
| Mid Term | Eurofer 97 + F82H | ~ 2000 | 15 | 350 | < 30 | < 3.0 | 4 + 4 |
| Long Term | Eurofer 97 + F82H | ~ 4000 | 15 | 350 | < 30 | < 3.0 | 2 + 2 |

Ulteriori campagne sperimentali alla temperatura di funzionamento di IFMIF (250°C) sono previste per il 2016/2017

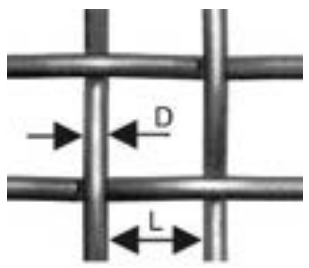
Attività di qualifica sperimentale del sistema di purificazione



Vista 3D circuito di purificazione

Comprende:

- Trappola fredda SS 316L (H,C,O)
- Misura online di N (RM)
- Trappola calda (N) non in linea



D = 0.18 mm
L = 0.25 mm
Mesh: 60

| Material of construction | Operating Temperature | Volume | Cristallization Volume | Lithium Flow Rate | Lithium Residence Time | N°of Sheets / Distance | Wire Mesh Amount |
|--------------------------|-----------------------|---------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| AISI 316 L | 200 °C | ~ 3.0 L | 2.58 L | ~ 0.3 L/min | ~ 10 min | 64 / 3 mm | ~ 775 g |

Collaborazione con UniFi

Messa a punto finale della procedura di analisi offline del Litio, per la quantificazione delle impurezze di Azoto (collaborazione con UniFi):

- ❑ verifica della completezza del processo di distillazione dell'Ammoniaca;
- ❑ studio della reazione Litio-Acqua;
- ❑ valutazione precisione intrinseca, riproducibilità, sensibilità della tecnica cromatografica (HPLC);
- ❑ confronto incrociato (esito positivo) con i risultati prodotti dal JAEA su medesimo campione di Litio (Round Robin)



Apparato ENEA per l'analisi del Litio

Caratterizzazione del getter della Trappola Calda di Lifus 6 in collaborazione con l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del CNR (Fi):

Attraverso la **Porosimetria ad Inclusione di Mercurio** si è determinata l'Area Superficiale Specifica della Spugna di Titanio usata come getter per l'Azoto (**4.7 m²/g**). Con un valore di questo tipo, il tempo teorico per la purificazione di tutta la massa di Litio nell'impianto risulta **< 1 secondo**. Tale ottimistica previsione andrà comunque verificata durante l'esecuzione reale della purificazione del Litio.

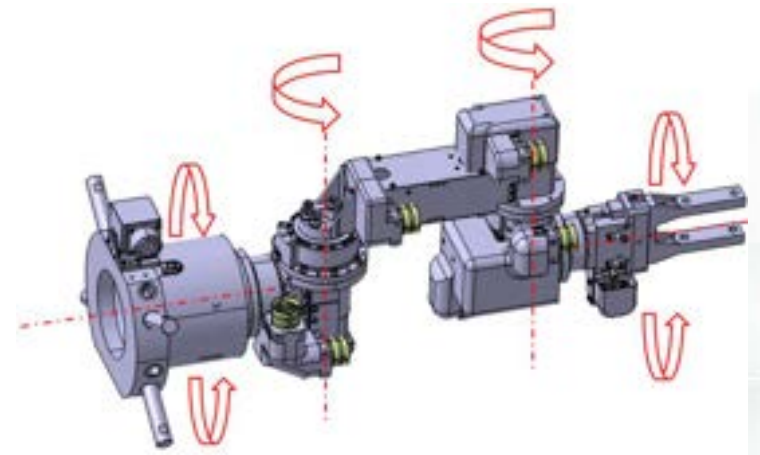
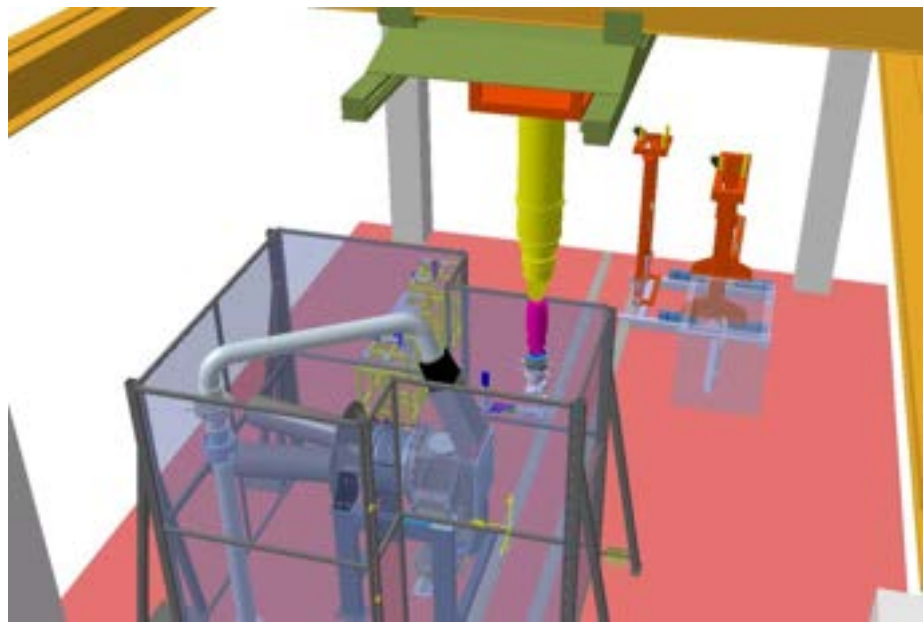


Spugna di Titanio in pellets, impiegata come getter

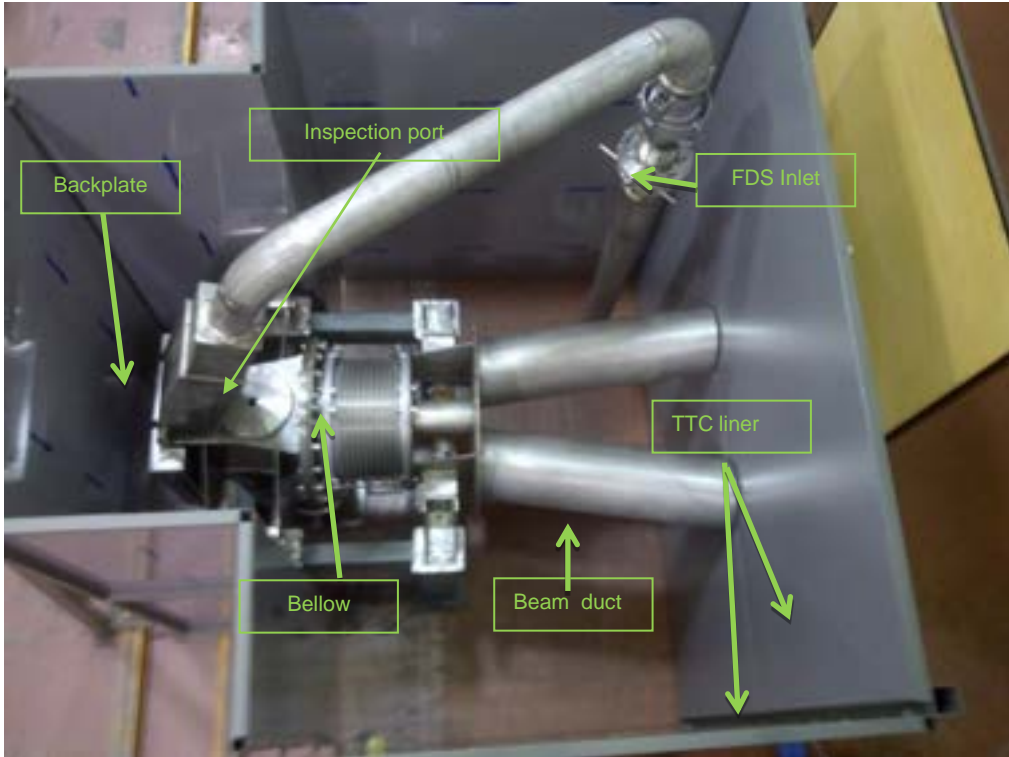
Attività di sviluppo e qualifica del sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF

- ❑ Sviluppo e ottimizzazione delle procedure di manutenzione remotizzata del TA
- ❑ Sviluppo dei dispositivi di RH
- ❑ Simulazione in realtà virtuale del processo di Man. **UniNa/Create**
- ❑ Validazione delle operazioni di manutenzione remotizzata
- ❑ Calcolo del tempo d'intervento
- ❑ Calcolo del tempo di residenza dei dispositivi nella TC

| Step | Task | RHE |
|-------------------|--|------------------------|
| TA Removal | | |
| 0 | Overhead crane in rest position (START) | |
| 1 | Dock the 7 DoF RBT | Crane + TM |
| 2 | Take the ABT | Crane + TM+ RBT |
| 3 | Move the Overhead crane above the TC | Crane |
| 4 | Deploy the RBT inside the TC | Crane |
| 5 | Release the FDS in the inlet side | TM+RBT+BT |
| 6 | Release the FDS in the beam side | TM+RBT+BT |
| 7 | Compact the bellow in the beam side | TM+RBT+BT |
| 8 | Release the FDS in the outlet side | TM+RBT+BT |
| 9 | Extraction of the RBT from the TC | TM |
| 10 | Back the overhead crane to RBT docking station | Crane+ TM |
| 11 | Release the ABT | TM+ RBT |
| 12 | Release the RB | TM |
| 13 | Dock the TA gripper | Crane + PFCT |
| 14 | Move the Overhead crane above TC | Crane |
| 15 | Deploy and align the TA gripper in the TC | Crane+ PFCT |
| 16 | Dock the TA | PFCT+ TA gripper |
| 17 | Lift the TA | PFCT+ TA gripper |
| 18 | Extract the TA from the TC | PFCT+ TA gripper |
| 19 | Transfer the old TA to the hot cell (not included in the simulation) | |
| 20 | Release the TA on its support | Crane+PFCT+ TA gripper |
| 21 | Back the overhead crane from hot cell(not included in the simulation) | |



Prototipo del Target assembly di IFMIF (1:1) per validazione operazioni di manutenzione



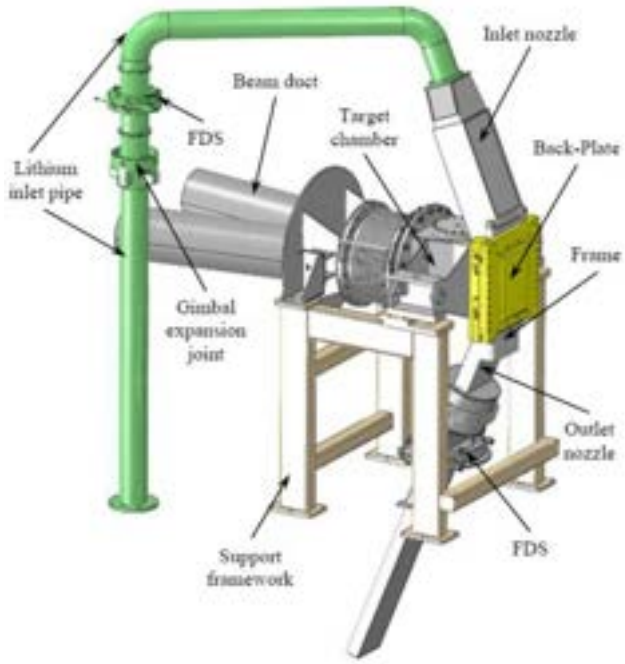
Risultati:

- ❑ Progetto del Target Assembly integrato di tutte le funzionalità richieste per le attività di manutenzione;
- ❑ Le procedure sviluppate sono coerenti con i tempi attesi di manutenzione;
- ❑ I dispositivi robotici costruiti sono idonei all'esecuzione delle operazioni
- ❑ I tempi di residenza dei dispositivi all'interno della TC sono stati minimizzati
- ❑ Miglioramenti al progetto del TA (FDS, Sistema di centraggio...) sono stati richiesti;

Operazioni di manutenzione non validate :

- ❑ Pulizia delle superfici per la rimozione del litio;
- ❑ Connessioni elettriche (potenza e segnali);
- ❑ Procedure di accettazione dei componenti

| Maintenance Time | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Operation | Average Time [h:min:] |
| Back Plate Refurbishment | 11:24 |
| Target Assembly Refurbishment | 23:38 |

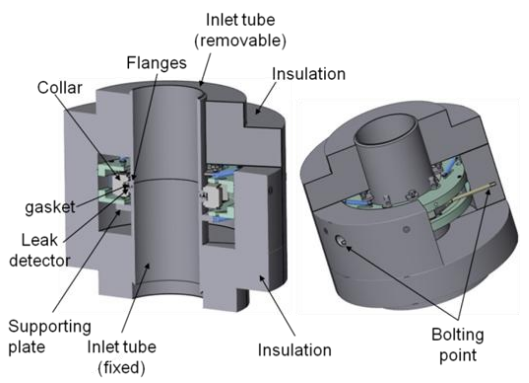


Il concetto Europeo sviluppato da ENEA (bayonet concept):

- Componente di tipo modulare ;
- Consente la sostituzione del solo bersaglio o dell'intero TA (solo se necessario)
- Connesso con l'impianto a litio per mezzo di connessioni rapide- Fast Disconnecting Systems (forte riduzione dei tempi d'intervento, non inquinamento dell'area di manutenzione)
- Fornito da un sistema di bloccaggio del bersaglio (skate system) in grado di chiudere due lati del bersaglio con due soli bulloni.
- Profilo di riferimento del bersaglio (Nitti profile)

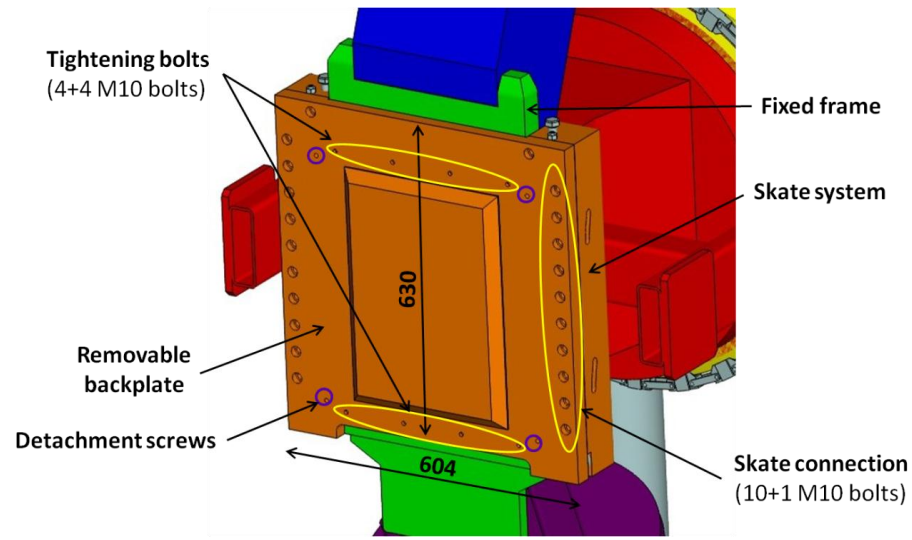
Stato del progetto:

- Progettazione meccanica di dettaglio (completata)
- Progettazione meccanica del supporto (completata)
- RAMI analisi (completata)
- Analisi termomeccanica (stazionarie e transitorie)
- Analisi neutronica (con deposito di potenza)
- Caratterizzazione fluido dinamica del flusso di litio(UniBru)
- Caratterizzazione termoidraulica (completata)
- Aggiornamento del progetto per integrazioni&modifiche (da implementare)

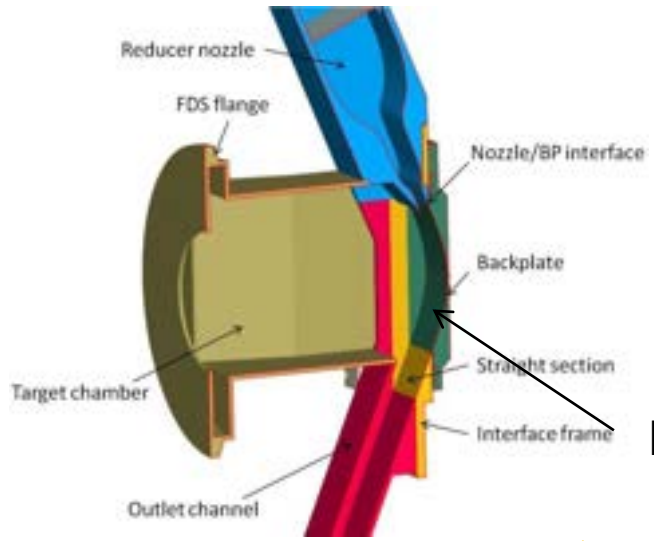


FDS in ingresso TA

Bersaglio rimovibile

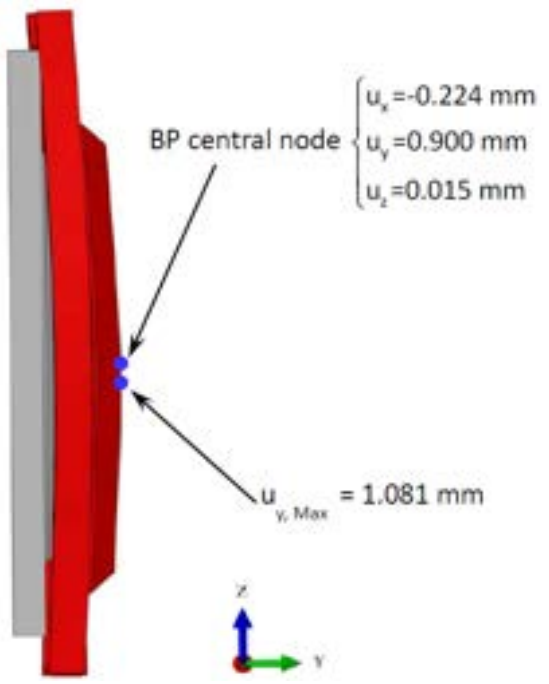


- ❑ Il sistema di tenuta è realizzato per mezzo di una guarnizione metallica (HNV200 -Technetics)
- ❑ Il Bersaglio a baionetta viene rimosso manovrando un totale di 10 bulloni (4+4+2)



Il profilo curvo del canale di litio è stato interamente progettato da ENEA e provato con successo nelle campagne sperimentali dell'ELTL (Giappone)

Nitti Profile



Problemi ancora non risolti

- Deformazione del TA e del Bersaglio rispetto alle condizioni nominali
- Swelling delle connessioni bullonate(analisi preliminare completata)
- Connessione TA lato beam da progettare
- Sistema di centraggio TA su struttura di supporto da migliorare;
- Tempo di vita del componente limitato (7 mesi) rispetto alla richiesta di disponibilità d'impianto (11 mesi)

Tutto ciò richiede un' approfondita campagna di qualifica del bersaglio, anche dal punto di vista del materiale con cui esso è realizzato

❑ LE ATTIVITA' SPERIMENTALI CONDOTTE DA ENEA SULL'IMPIANTO ELTL SONO STATE ULTIMATE CON SUCCESSO.

❑ LE ATTIVITA' RELATIVE ALLO STUDIO DEI FENOMENI DI EROSIONE E CORROSIONE PROCEDONO SECONDO L'ATTUALE SCHEDULING: LIFUS6 E' STATO COMPLETATO E A BREVE AVRANNO INIZIO LE PROVE SPERIMENTALI

❑ LA PROGETTAZIONE PER IL SISTEMA DI PURIFICAZIONE DEL LITIO E' STATA COMPLETATA MENTRE LA VALIDAZIONE SARA' ESEGUITA CON LA CAMPAGNA SPERIMENTALE DI LIFUS6.

❑ LO SVILUPPO DEL METODO DI ANALISI OFFLINE PER LA DETERMINAZIONE DELLA QUANTITA' DI N DISCIOLTA NEL LITIO E' STATO ULTIMATO

❑ LA PRIMA FASE DI VALIDAZIONE DELLE PROCEDURE PER LA MANUTENZIONE DEL TA E' STATA CONCLUSA CON SUCCESSO

❑ LA PROGETTAZIONE DEL CONCETTO EUROPEO DEL TA È MOLTO AVANZATA. OGGI È IL PROGETTO DI RIFERIMENTO SIA PER IFMIF CHE PER L'ENS IN EUROFUSION

*Grazie della vostra
Attenzione*