

Partecipazione INFN a IFMIF: costruzione di acceleratori di alta potenza per il test dei materiali avanzati per i reattori di fusione.

Andrea Pisent
(A. Facco e M. Cavenago)

Frascati 01.07.21



Partecipazione INFN alla ricerca per la fusione

- Acceleratori di particelle
 - Test dei materiali avanzati (IFMIF)
 - Iniettore di neutri per il riscaldamento del plasma (NBI)



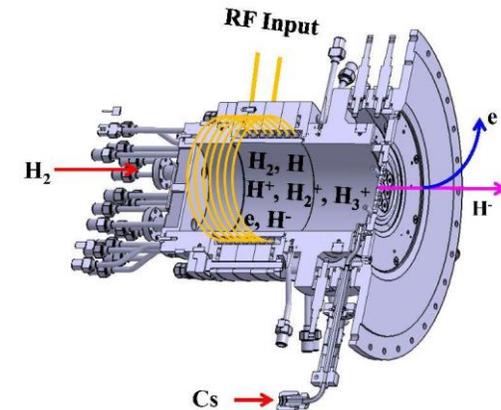
Partecipazione INFN alla ricerca per la fusione

- Acceleratori di particelle
 - Test dei materiali avanzati (IFMIF)
 - Iniettore di neutri per il riscaldamento del plasma (NBI)

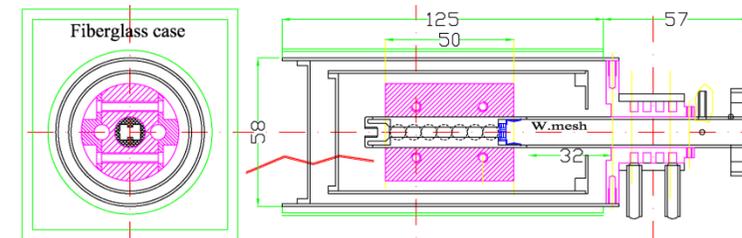
Cito brevemente la collaborazione dell'INFN (Marco Cavenago et al. alla sorgente NIO1 nell'ambito del Consorzio RFX (di cui l'ENEA e piu' recentemente l'INFN fanno parte)

Scopo della sorgente di ioni H- NIO1 (Negative Optimization phase 1) e' verificare (sia con Cesio sia senza) le configurazioni magnetiche e le condizioni ottimali per la formazione e l'estrazione dei fasci, in una sorgente modulare di limitate dimensioni (diam 100 mm), dove le modifiche sono fattibili a costi contenuti e le simulazioni sono possibili in maggior dettaglio

L'attività su NIO1 e' stata e sara' un utile esercizio per l'installazione di SPIDER, come ormai evidente, e per le future installazioni (DTT, MITICA, e successivi sviluppi per Demo)



Cut view of NIO1 source with ion species



The improved Cs evaporator (2017-2019) with solid state feeds of interest for Demo (in synergy with Elise and Spider)



NIO1 setup evolution in 2020 and beyond

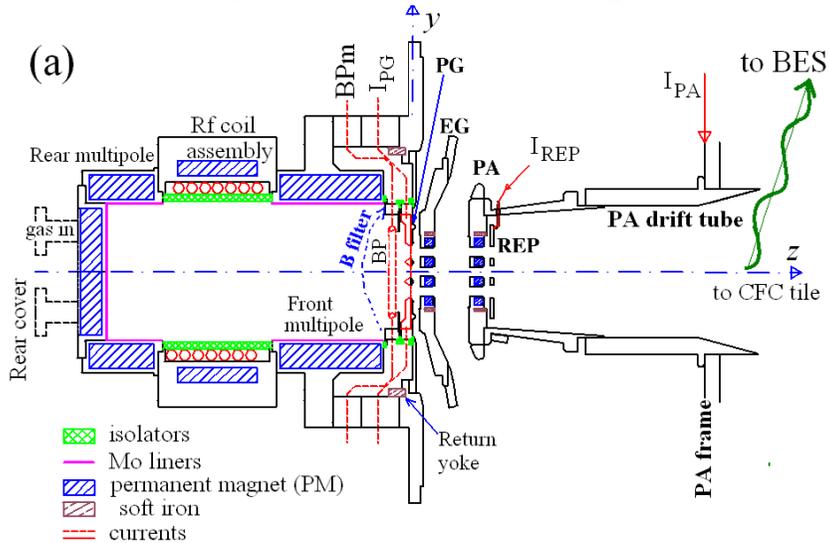
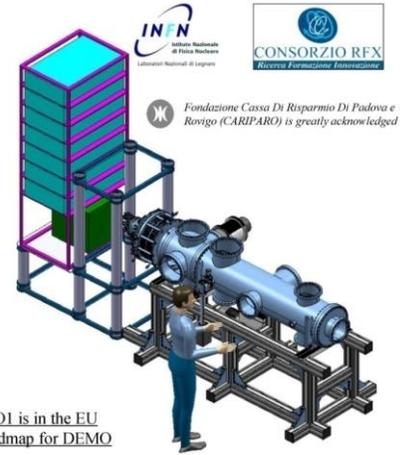
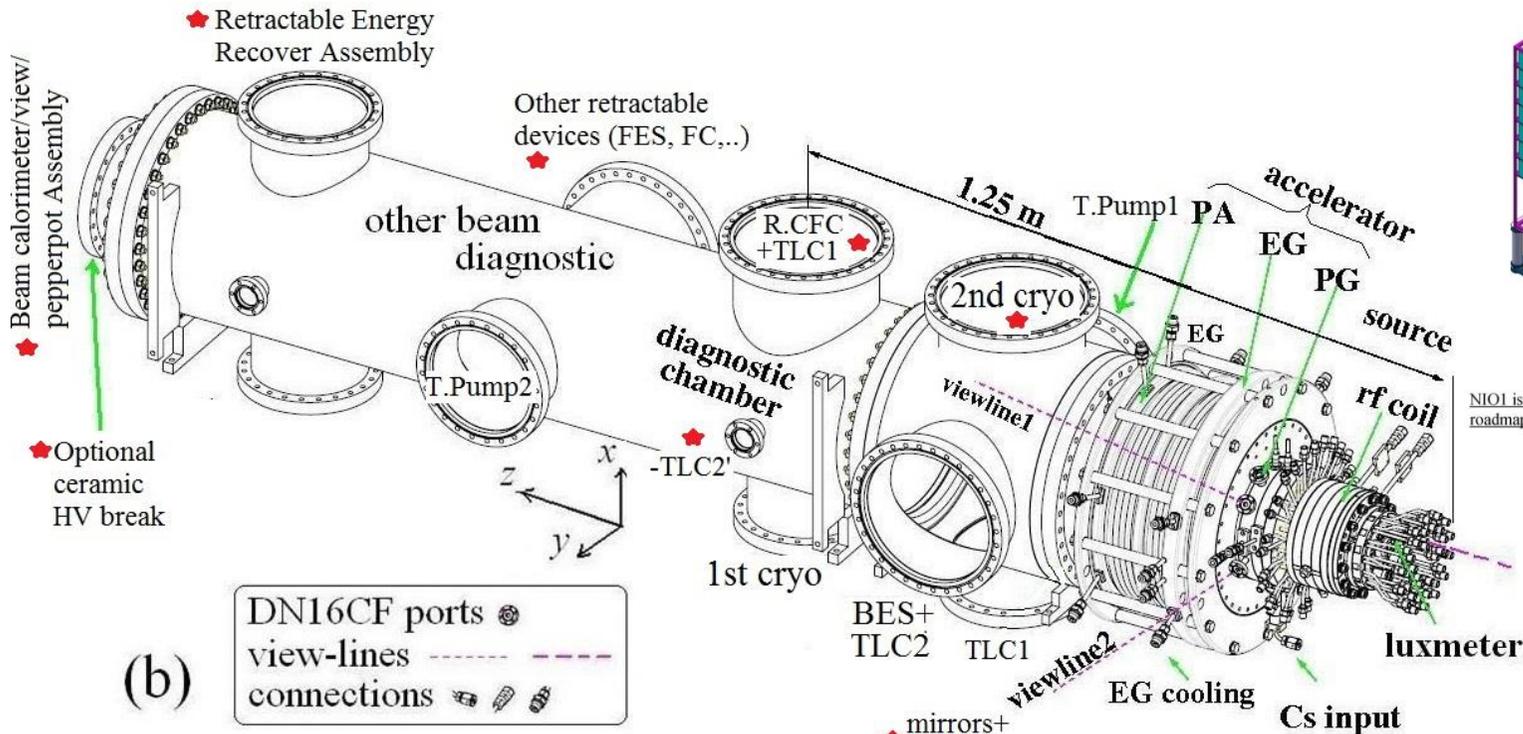
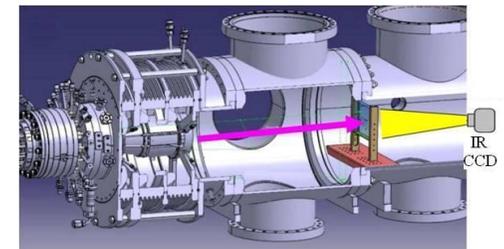


Figure: (a) horizontal zy section of NIO1 source and electrode; note filter position;
 (b) isometric view of NIO1 upgrade program (red star is novel device, -TLC means TLC on other side, R. means retractable)



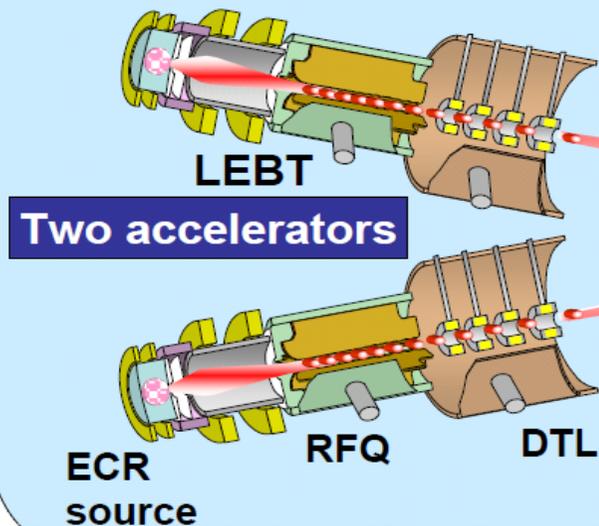
Cut view of NIO1 2016 set up, showing fixed CFC tile (in June 2019 tile was advanced by 0.5 m)

IFMIF Principles

Accelerator

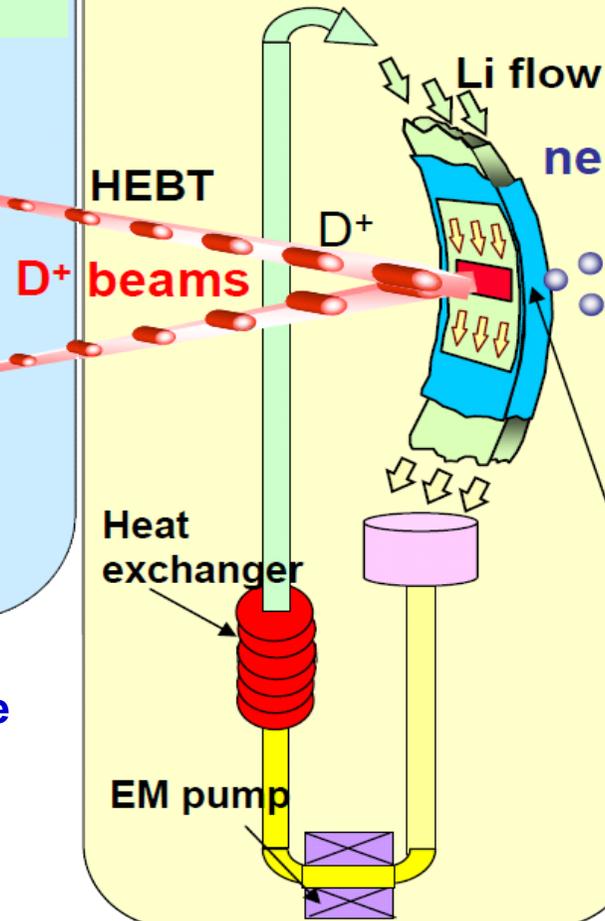
Deuteron accelerators:

2 x 125 mA D⁺ CW at 40 MeV



Target

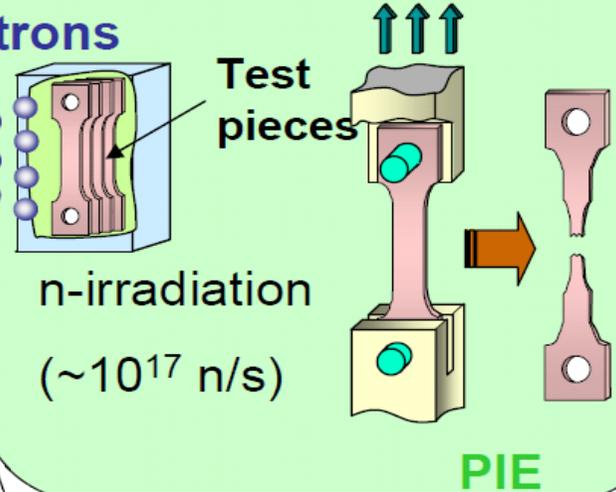
10 MW beam heat removal with high speed liquid Li flow



Test Modules

● Irrad. Volume > 0.5L
for 10^{14} n/(s·cm²), (20 dpa/year)

● Temp.: $250 < T < 1000^\circ\text{C}$



Accelerator based neutron source
using the D-Li stripping reaction
⇒ intense neutron flux with the
appropriate energy spectrum

Typical reactions:
 ${}^7\text{Li}(d,2n){}^7\text{Be}$, ${}^6\text{Li}(d,n){}^7\text{Be}$, ${}^6\text{Li}(n,T){}^4\text{He}$

Beam footprint on Li target
20cm wide x 5cm high
(1 GW/m²)



IFMIF EVEDA

(IFMIF Engineering Validation and Design Activities)

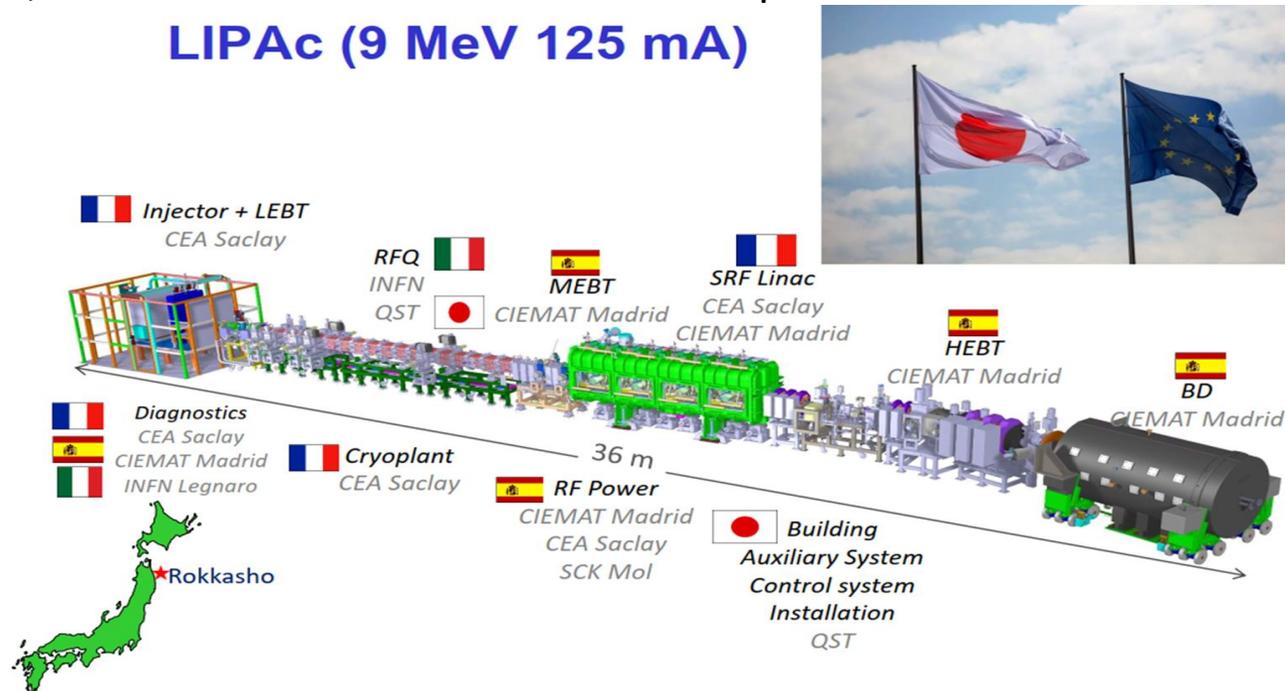
il progetto IFMIF-EVEDA comprende

- un dimostratore dell'acceleratore (LIPAC) 1.2 MW di potenza di fascio
- uno del circuito e del bersaglio di litio (Lithium Loop) e
- uno della Test Facility,

oltre a un disegno avanzato di IFMIF. LIPAC è in fase avanzata di costruzione a Rokkasho (Giappone) con il contributo di INFN, mentre le altre tasks sono state completate con successo.

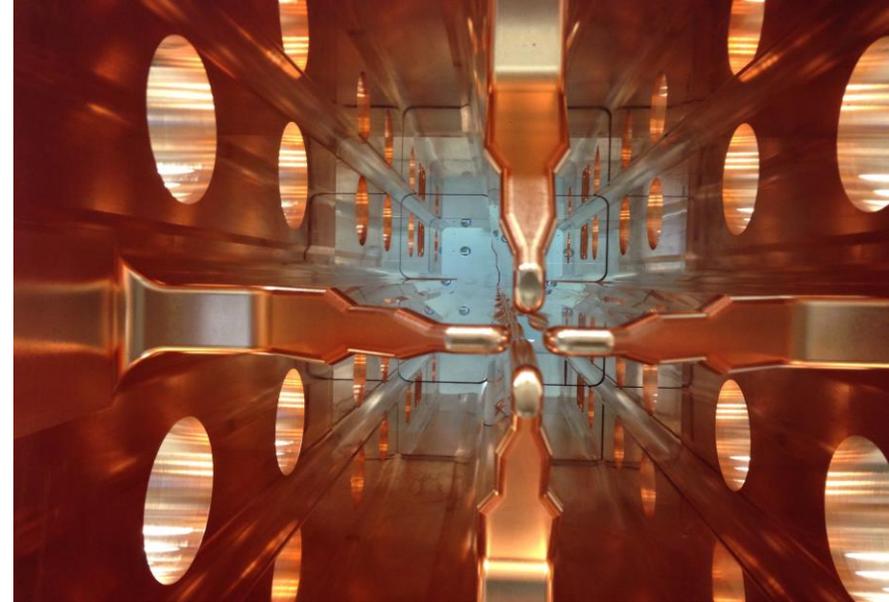
- LIPAC è stato costruito nella sua parte normal-conduttiva ed è nella fase di commissioning. La parte superconduttiva, equivalente al primo criomodulo di IFMIF, è in costruzione e sarà installata nei prossimi due anni. L'operazione di LIPAC si protrarrà fino ad almeno il 2025 per mettere a punto anche i difficili parametri di operazione.

LIPAc (9 MeV 125 mA)



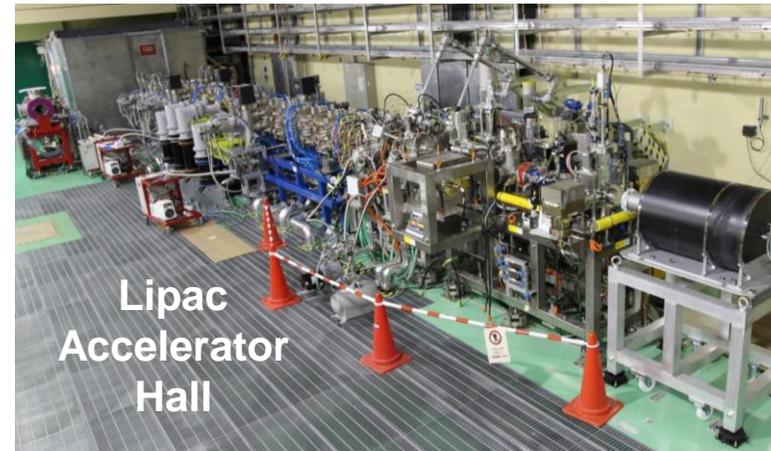
Attività INFN in LIPAc

- Task INFN – L'INFN, con i Laboratori Nazionali di Legnaro e con le sezioni di Torino, Bologna e Padova, ha un ruolo di primo piano in IFMIF-EVEDA avendo la responsabilità della costruzione dell'RFQ di LIPAC, forse la componente più difficile da realizzare in quanto i parametri di intensità del fascio (125 mA di deutoni con 100% duty cycle) superano quelli di ogni altro RFQ finora realizzato.
- Altre tasks in cui l'INFN è coinvolta fin dall'inizio sono l'installazione e commissioning di LIPAC e il disegno di IFMIF.
- L'INFN è stata poi chiamata anche a contribuire al progetto in altre attività come la dinamica dei fasci, la diagnostica, la radiofrequenza e la sorgente di deutoni.



Risultati raggiunti

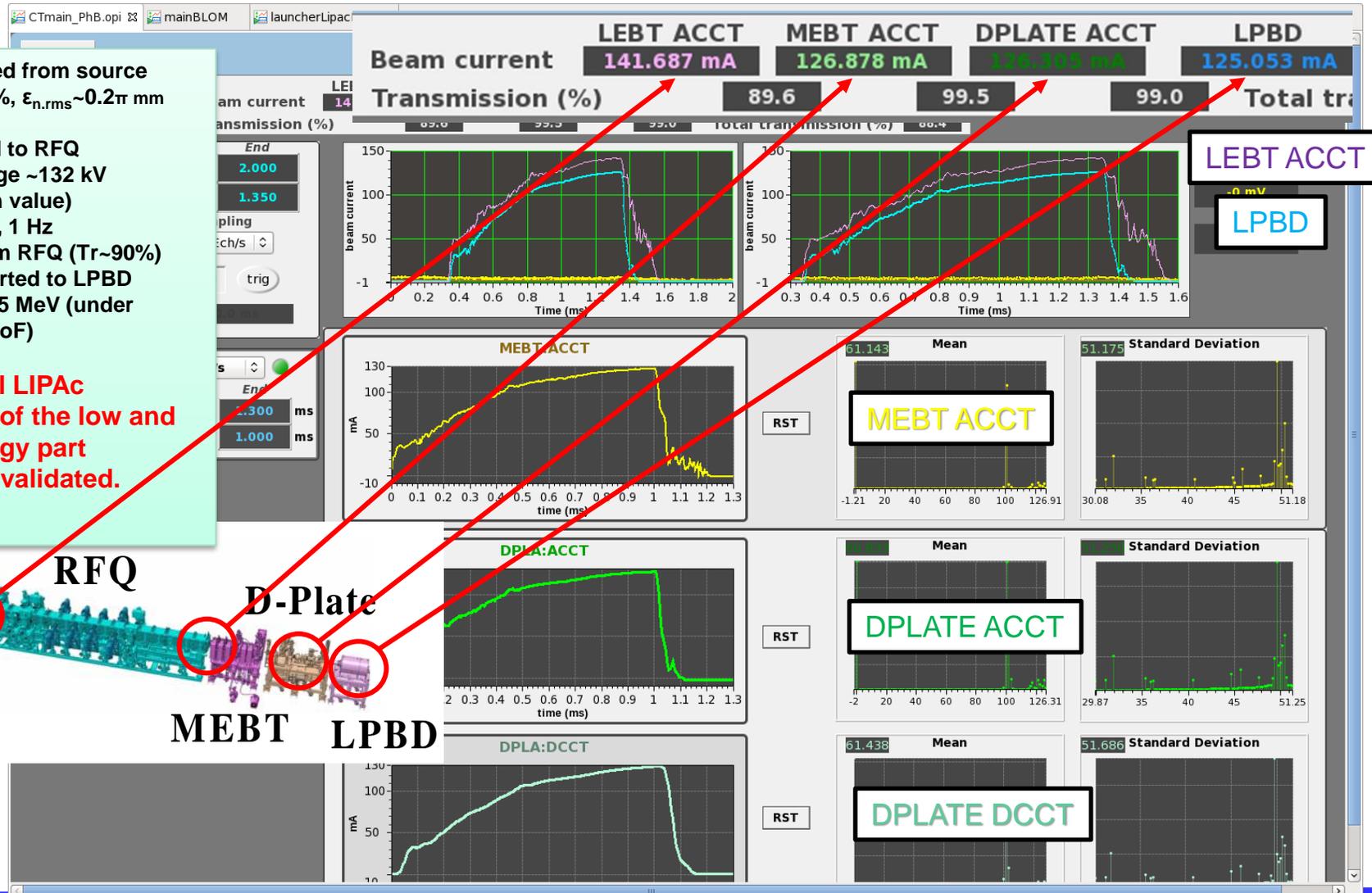
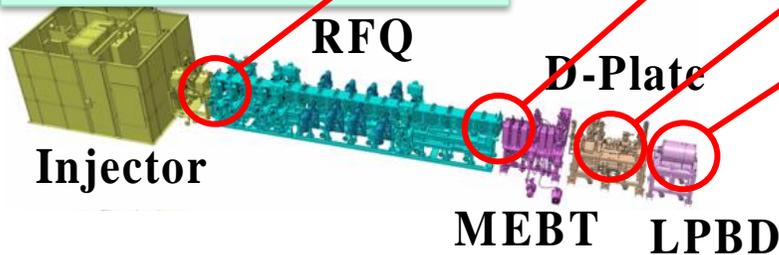
- L'RFQ è stato progettato, costruito, installato e messo in operazione, e ha finora raggiunto tutti i parametri di progetto.
- Di particolare importanza sono il raggiungimento dell'intensità record di 125 mA, del valore dell'emittanza in uscita, della trasmissione superiore al 90%.
- I risultati sono stati ottenuti finora in modalità pulsata, dimostrando la bontà del disegno dell'RFQ e della sua realizzazione. Il completamento in atto del sistema di radiofrequenza di potenza e del beam dump da oltre 1 MW (sotto la responsabilità dell'ente spagnolo CIEMAT e di Fusion for Energy) permetterà di fare l'ultimo passo e dimostrare l'operazione in modo CW necessaria a IFMIF.



First Successful Acceleration of 125mA D+ at LIPAc, 24 July 2019, 19:13

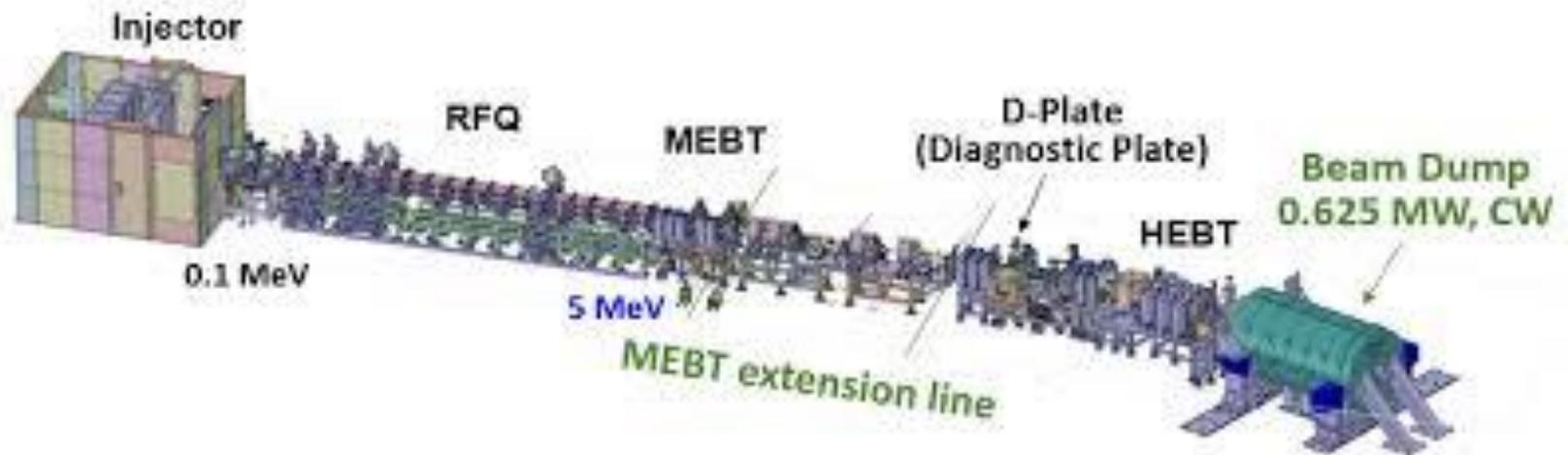
- 166 mA extracted from source (D+ fraction~85%, $\epsilon_{n,rms} \sim 0.2\pi$ mrad)
- 142 mA injected to RFQ
- RFQ vane voltage ~132 kV (nominal design value)
- RF pulse ~1 ms, 1 Hz
- 127 mA exit from RFQ (Tr~90%)
- 125 mA transported to LPBD
- Beam energy ~5 MeV (under checking with ToF)

→ Design of all LIPAc components of the low and medium energy part successfully validated.



Prospettive future

- Il completamento di LIPAC e la sua operazione per mettere a punto i parametri necessari al futuro funzionamento di IFMIF sono obiettivi fondamentali per il Broader Approach e la continuazione del progetto fino al 2025 è stata recentemente approvata da EU e Giappone (Broader Approach 2).
- Il contributo INFN a questa fase è indispensabile per il completo successo di IFMIF-EVEDA. D'altra parte, è del massimo interesse per l'INFN essere protagonista nel momento di trarre fino in fondo i frutti di questo lungo lavoro, quando il funzionamento dell'RFQ ad alta intensità sarà dimostrato in modo CW estendendo le frontiere in questa tecnologia.



Broader Approach 2

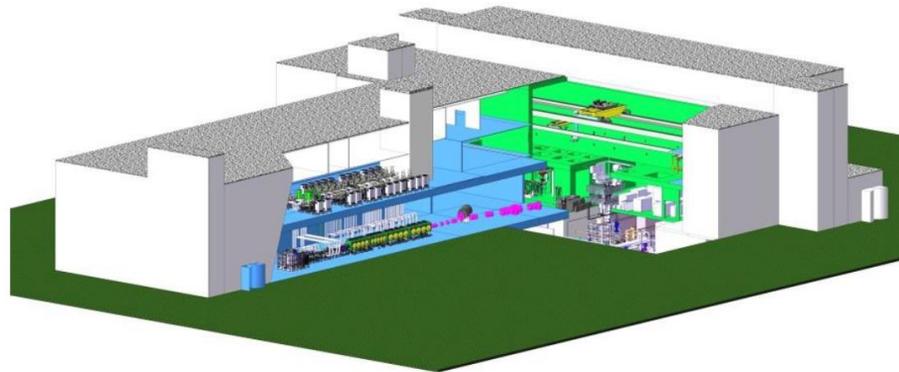
- L'attività a Rokkasho estesa per 4 anni grazie alla proroga del Broader Approach con finanziamento annuale paritetico EU-Japan.
 - Delibera 15900 del CD del 30 aprile 2021 e firma da parte del presidente INFN del “Agreement of Collaboration F4E-INFN for the Joint Implementation of the Procurement Arrangement for the Execution of Operations of the Accelerator Prototype (F4E part) for the IFMIF/EVEDA Project (AF10-02-EU) e relativi Annex 1-2-3”
- Partecipazione INFN all'attività sperimentale a Rokkasho
 - Per il momento causa Covid, LNL non ha personale sul sito. Tuttavia è stata istituita una copia remota delle principali funzioni in sala di controllo (da LNL possono vedere cosa sta succedendo, ma non modificare direttamente alcun parametro, lo chiamano diodo).
 - È in corso il condizionamento dell'RFQ, raggiunto il 6% di duty cycle a piena potenza (obiettivo è arrivare al 100%) -> riunioni quotidiane per sovrintendere questa attività. Per il momento non è emerso alcun problema relativo a limitazioni dell'RFQ (vengono affrontati problemi di RF, raffreddamento, controlli....).
 - A fine anno ci saranno test con il fascio RFQ (120 mA deutoni, 5 MeV a duty cycle crescente).



DONES

(Demo Oriented Neutron Source)

- Nel frattempo, visti i buoni risultati della fase EVEDA, il lavoro per realizzare la facility IFMIF (in versione aggiornata con un solo linac anziché due come nel progetto iniziale) sta procedendo con due progetti in preparazione. Il primo, DONES, si propone di realizzare una facility in Spagna con la collaborazione di Fusion for Energy e degli enti europei che hanno partecipato a IFMIF-EVEDA. Il secondo, A-FNS, di realizzarla come un progetto a guida giapponese a Rokkasho, dove già si trova LIPAC.



Lay out della facility DONES, nelle vicinanze di Granada

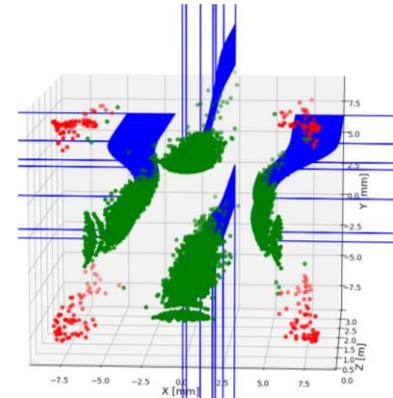


INFN in WPENS

- L'INFN sta partecipando ai lavori di DONES nel work package WPENS di EUROFUSION, con il coordinamento di ENEA e con le seguenti responsabilità:
 - Disegno dell'RFQ e dei couplers di potenza (molto simili a quelli di IFMIF-EVEDA)
 - Integrazione dell' RFQ nella nuova facility
 - Studio del danno da radiazione sugli elettrodi dell'RFQ
 - RF system basato sulla tecnologia degli amplificatori stato solido
- Il programma WPENS 2 è stato recentemente finanziato ed è in fase di definizione.
- Non è ancora concluso l'iter per il contributo Eurofusion a INFN relativo a WPENS1



Prototipo INFN di amplificatore allo stato solido (200 kW cw, 175 MHz), in costruzione nell'industria nazionale.

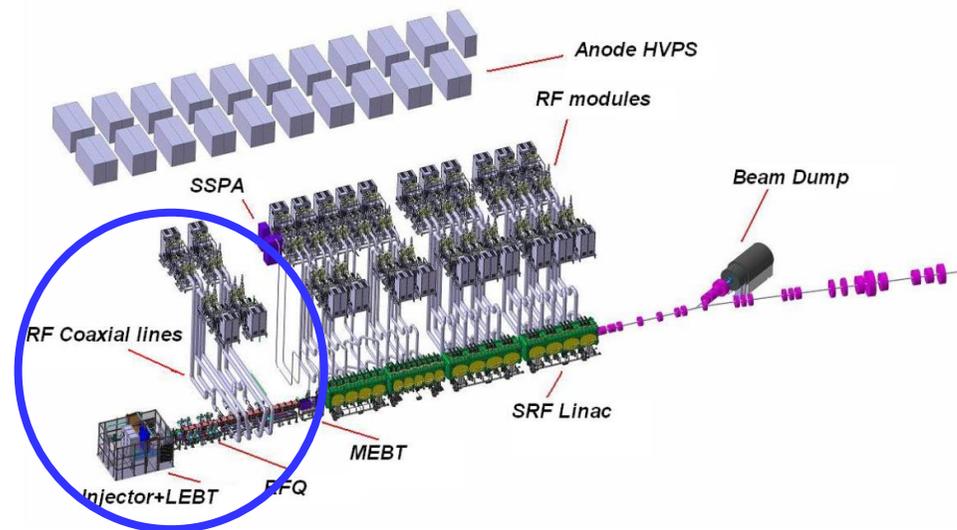


Simulazione dell'impatto dei deutoni sugli elettrodi



Partecipazione a DONES (discussione in corso)

- Nella fase successiva di DONES, l'INFN potrebbe fornire anche l'intero iniettore (sorgente ECR, linea LEPT, sistema di chopping) avendo tutte le competenze necessarie e ottimi contatti con industrie italiane altamente qualificate.
- Integrare RF e iniettore sotto la responsabilità INFN permetterebbe di semplificare la gestione di due interfacce tra diversi componenti che si sono rivelate molto complesse nell'esperienza LIPAc.



Collaborazione INFN – ENEA in IFMIF

- In IFMIF-EVEDA non è prevista la collaborazione diretta tra INFN ed ENEA. Entrambi collaborano al progetto in ambiti diversi e in alcuni casi partecipano insieme in comitati con poteri di indirizzo e decisione. Una proficua collaborazione si è comunque verificata nel lavoro dei comitati, in cui c'è stato più volte supporto reciproco nell'appoggiare gli interessi dell'Italia grazie anche a incontri preliminari e preparatori utili a definire la migliore strategia.



Prospettive di future collaborazioni

- Nella realizzazione della facility europea DONES entrambi gli enti avranno compiti importanti e sarà decisivo per il successo del progetto che INFN ed ENEA continuino a darsi sostegno reciproco nel confronto con le organizzazioni internazionali.
- Data la natura del progetto DONES, in cui le competenze di INFN ed ENEA trovano la loro migliore applicazione in parti diverse delle facility, non sono per ora previste collaborazioni dirette o task condivise.
- Alla luce dello stato attuale delle collaborazioni esistenti:
 - Non si ritengono necessarie azioni urgenti al fine di migliorare la collaborazione.
 - nuove collaborazioni nell'ambito della fusione sono possibili nelle attività legate a DONES anche se non necessariamente in forma di collaborazione diretta.

