

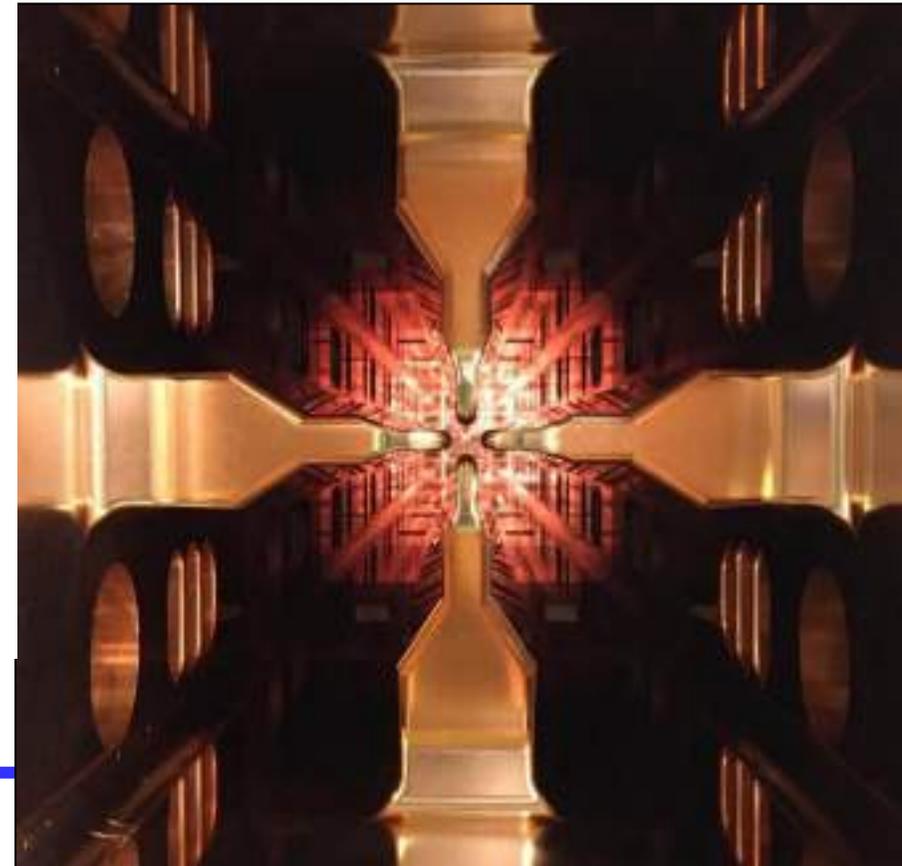
# Progetto IFMIF:

International Fusion Material  
Irradiation Facility

La mappa delle strutture INFN



Andrea Pisent  
INFN



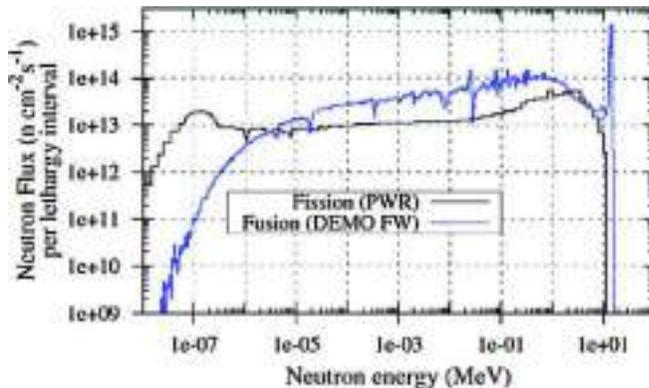
- test dei materiali
- Il programma di prototipi e progettazione sviluppato in questi anni in parallelo a ITER (denominato **Broader Approach**), con partecipazione essenziale di **INFN** ed **ENEA** (e industrie italiane [\*]).
- Le prospettive per la costruzione di una facility europea per il test dei materiali (**DONES**, vicino a Granada) ed il possibile contributo in-kind italiano.



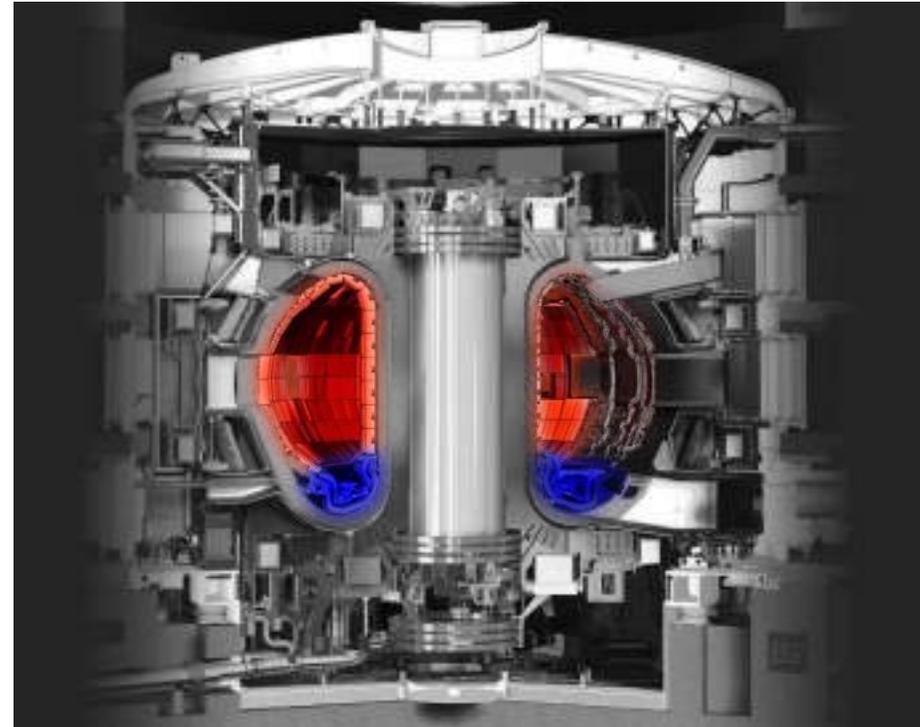
INFN 2014 Spedizione per il Giappone dell'RFQ



- La struttura di DEMO (e di un tokamak per produzione di energia) è investita da un flusso estremamente intenso di neutroni veloci (circa 14 MeV) e materiali (MTRs)

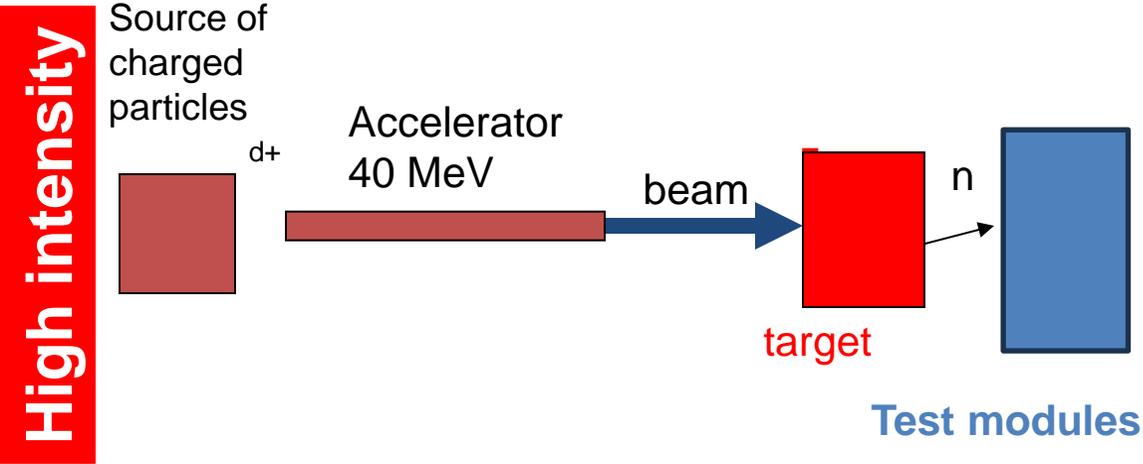
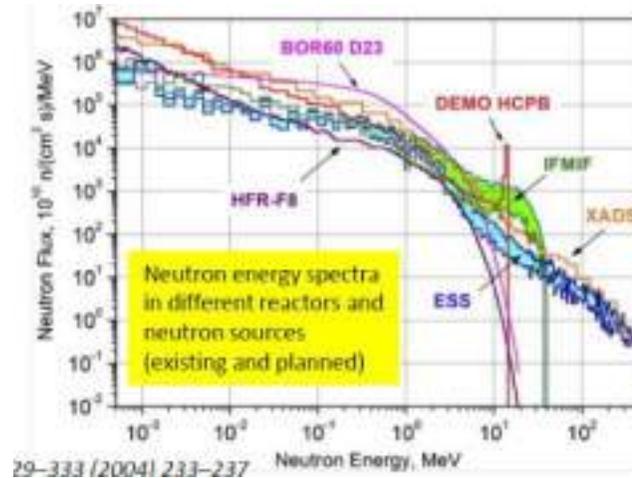


- La conoscenza approfondita delle proprietà dei materiali è necessaria per la progettazione e l'operazione di DEMO.
- Per esempio la formazione di H/He in profondità da reazioni tipo  $^{56}\text{Fe}(n,\alpha)^{53}\text{Cr}$  con soglia 3.7 MeV**
- Impatta proprietà meccaniche come infragilimento, danneggiamento delle saldature, fenomeni macroscopici da studiare a differenti temperature e flussi di neutroni



Macroscopic tests, not cross sections

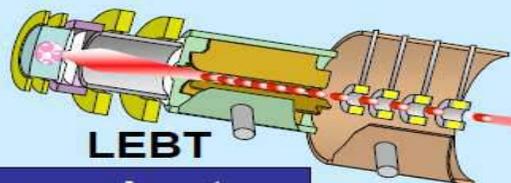
- Il test dei materiali con lo spettro di fissione non è sufficiente, la migliore simulazione dello spettro veloce di Fusione si ha con un acceleratore di deutoni da circa 40 MeV su un target di litio liquido.



- Per fare un test significativo è necessario
  - Un fascio di **alta Potenza (several MW)**
  - Un target spesso.** La Potenza di fascio è dissipata nel target (principalmente per interazione elettromagnetica con gli elettroni del target).
  - Lunghi tempi di irraggiamento dei campioni (**molti mesi a piena potenza**).

## Accelerator

Deuteron accelerators:  
40 MeV 250 mA (**10 MW**)

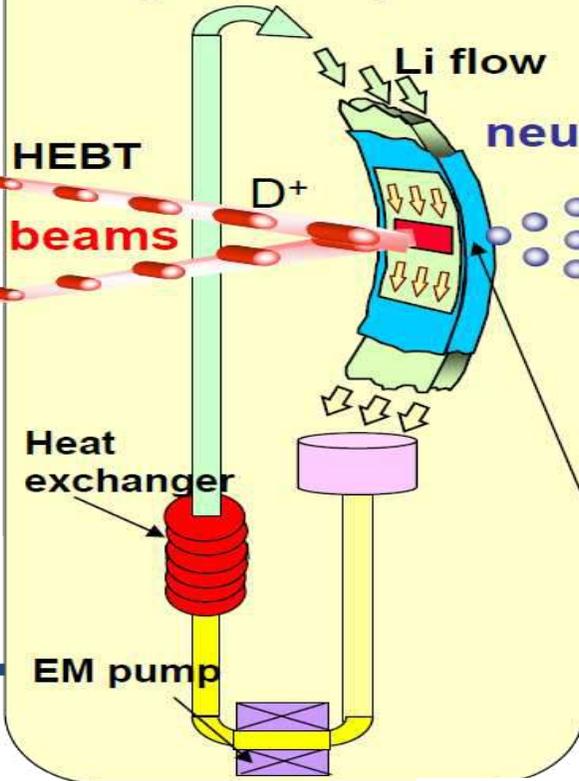


Two accelerators

ECR source RFQ DTL

## Target

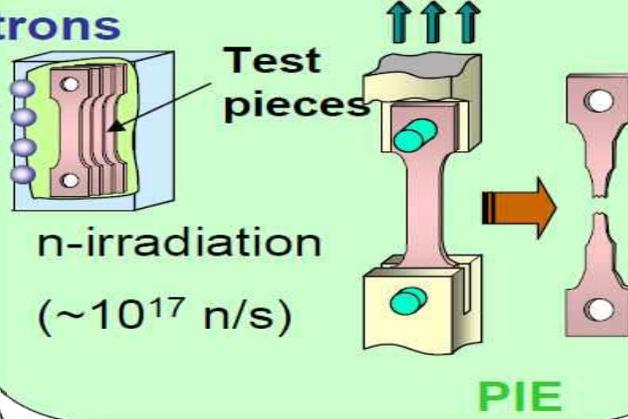
10 MW beam heat removal  
with high speed liquid Li flow



## Test Cell

● Irrad. Volume > 0.5L  
for  $10^{14}$  n/(s·cm<sup>2</sup>), (20 dpa/year)

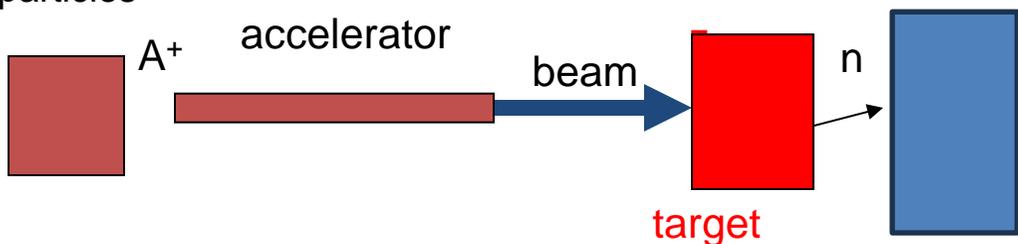
● Temp.:  $250 < T < 1000^\circ\text{C}$



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  
(100 kW/cm<sup>2</sup>)

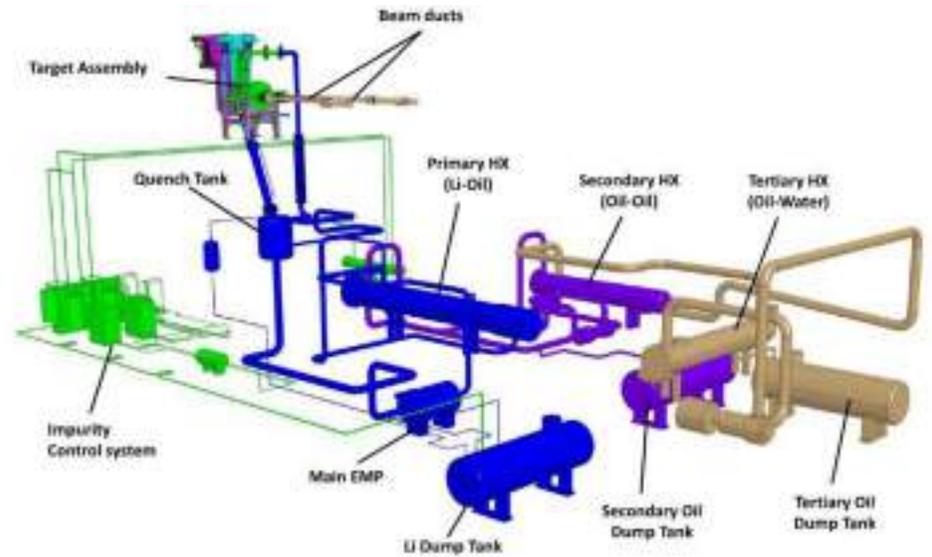
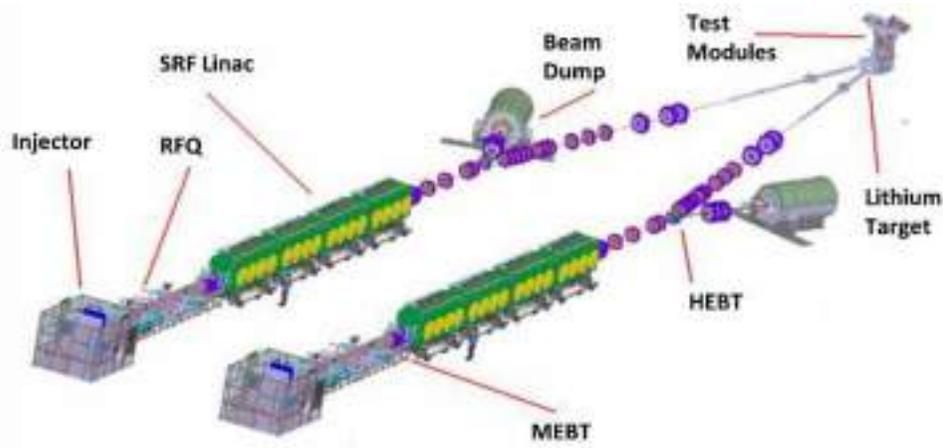
High intensity

Source of  
charged  
particles



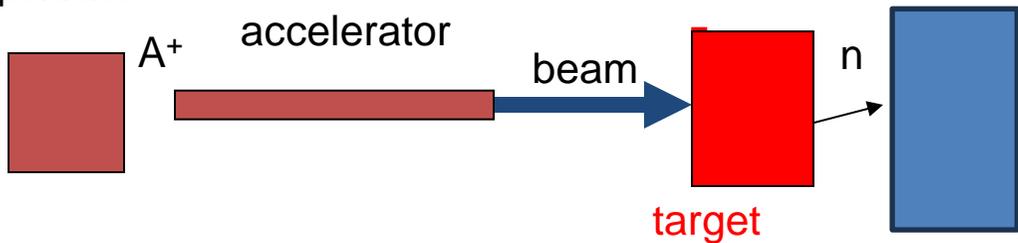
Test modules

- Per fare un test significativo è necessario
  - Un fascio di **alta Potenza (several MW)**
  - **Un target spesso**. La Potenza di fascio è dissipata nel target (principalmente per interazione elettromagnetica con gli elettroni del target).
  - Lunghi tempi di irraggiamento dei campioni (**molti mesi a piena potenza**).

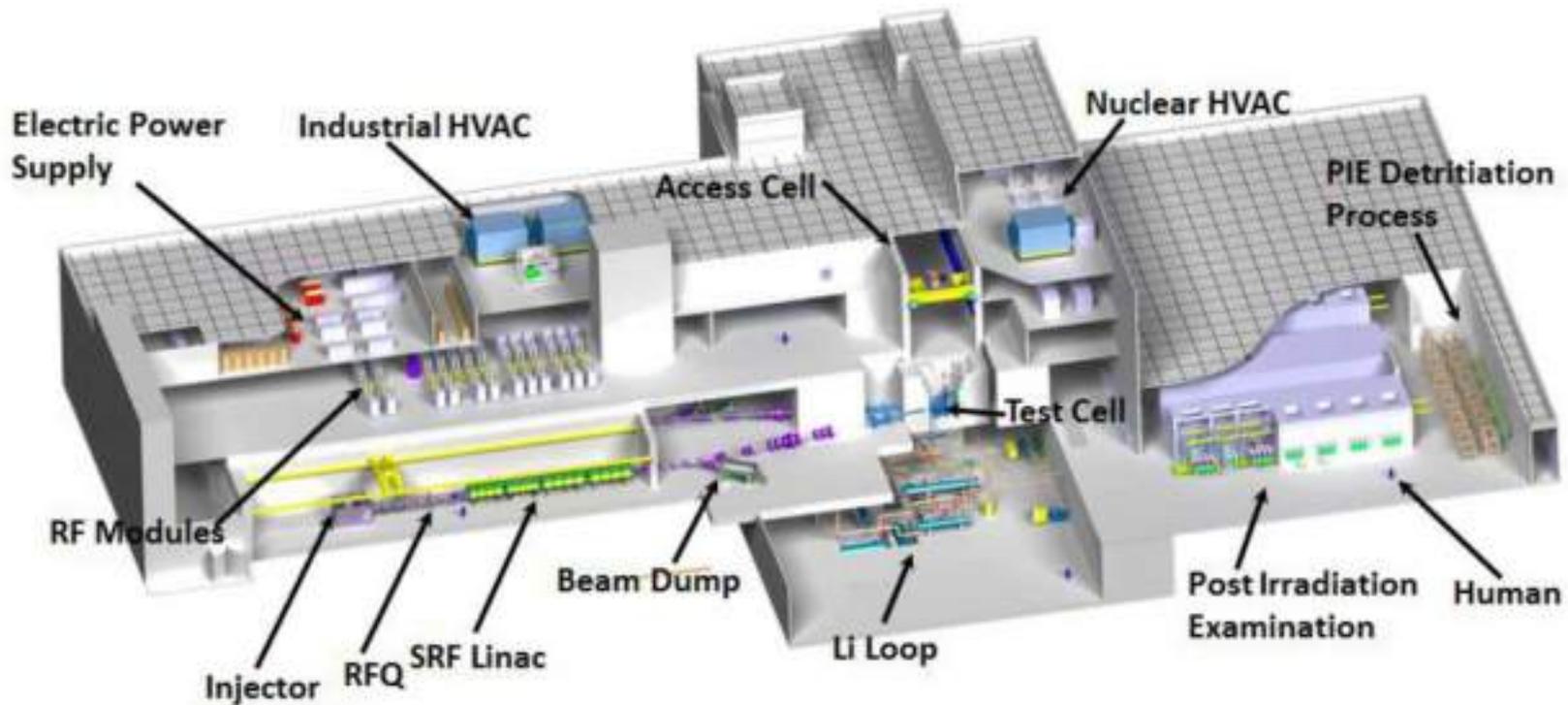


High intensity

Source of charged particles

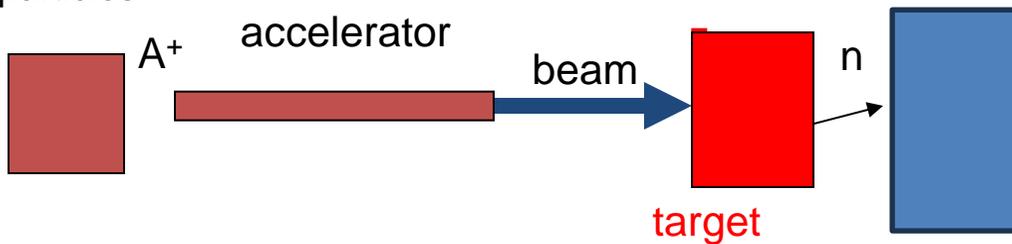


- Per fare un test significativo è necessario
  - Un fascio di **alta Potenza (several MW)**
  - **Un target spesso.** La Potenza di fascio è dissipata nel target (principalmente per interazione elettromagnetica con gli elettroni del target).
  - Lunghi tempi di irraggiamento dei campioni (**molti mesi a piena potenza**).



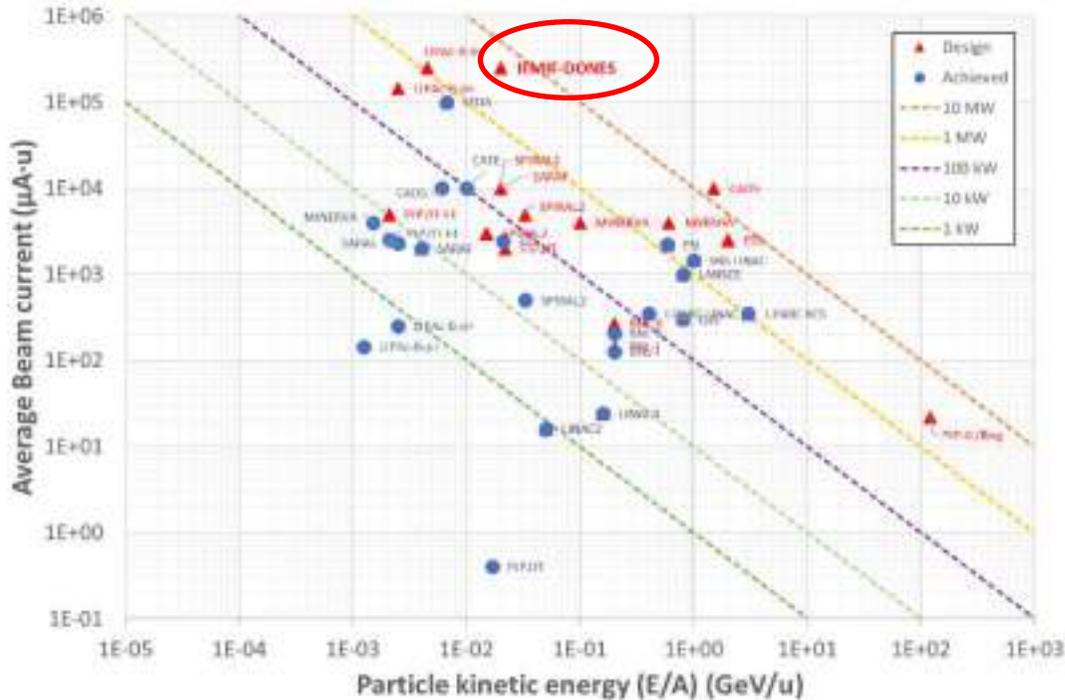
**High intensity**

Source of charged particles

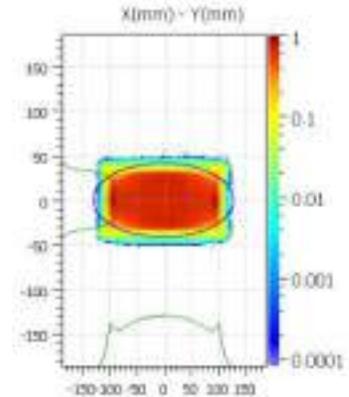


**Test modules**

- Per aumentare la produzione (per una data  $\sigma$ ) è necessario
  - Un fascio di **alta potenza**
  - **Un target spesso**. La Potenza di fascio è dissipata nel target (principalmente per interazione elettromagnetica con gli elettroni del target).
  - Lunghi tempi di irraggiamento dei campioni (**molti mesi a piena potenza**).



Beam footprint @ target



20x5 cm<sup>2</sup> footprint  
(2 x 50 kW/cm<sup>2</sup>)

**D+ CW 175 MHz SC LINAC**  
 125 mA / 40 MeV → **5 MW**  
 Total length of ~100 m  
 Windowless liquid Li target  
 20 y, 87% availability  
 Hands-on maintenance (<1 W/m)



- Highest **D<sup>+</sup> current** LINAC
- One of the highest **average beam power**
- Longest **RFQ**
- Record of light hadrons current through **SC cavities**

## (IFMIF Engineering Validation and Design Activities)

il progetto IFMIF-EVEDA comprende (approvato nel **2007**, Broader approach complementare a ITER

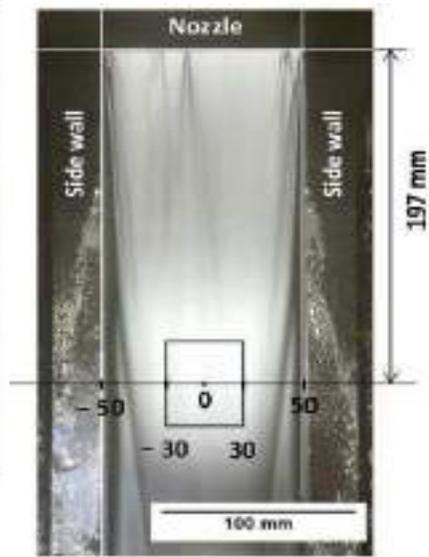
- uno del circuito e del **bersaglio di litio** (Lithium Loop) e
- uno della **Test Facility**,
- un dimostratore dell'**acceleratore** (LIPAC) 1.2 MW di potenza di fascio



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.



JAEA Oaray, Japan



KIT Karlsruhe, Germany

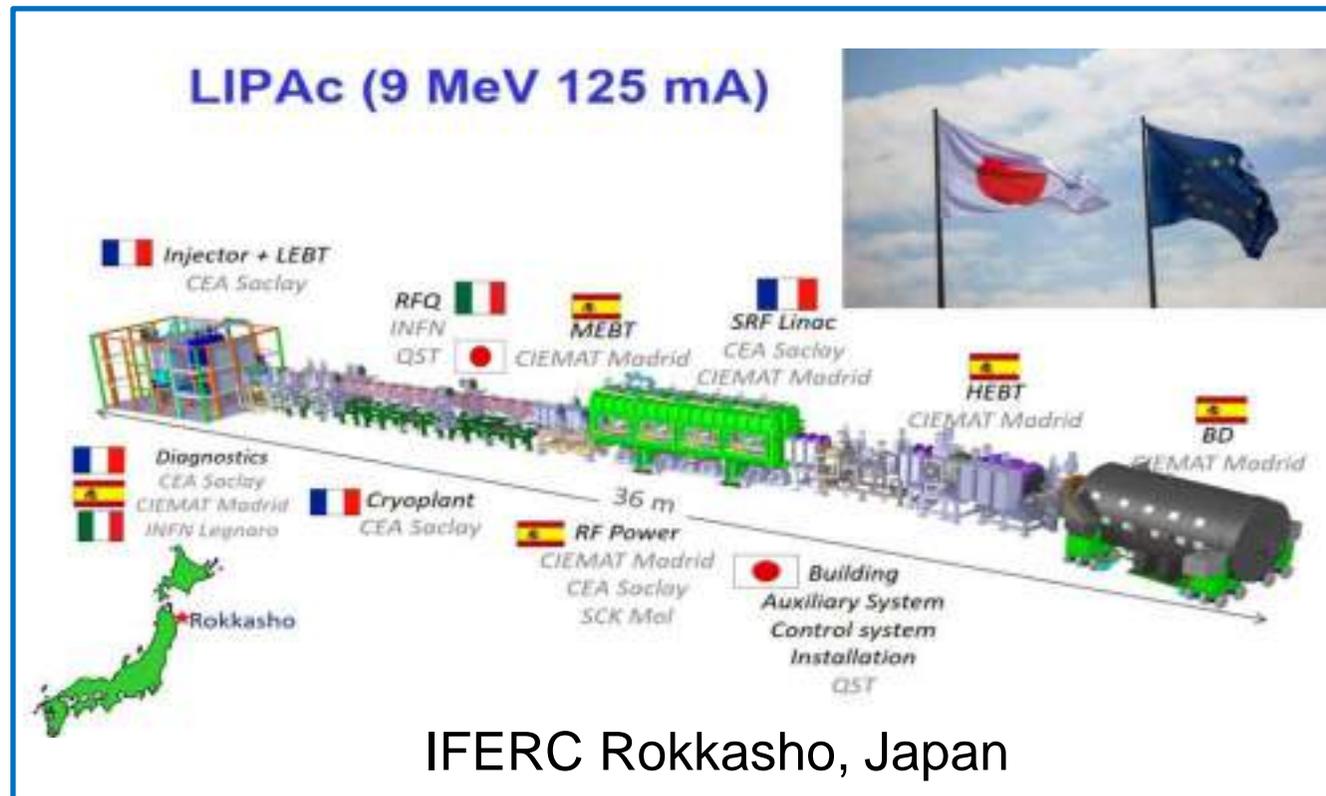
## (IFMIF Engineering Validation and Design Activities)

il progetto IFMIF-EVEDA comprende (approvato nel 2007, Broader approach complementare a ITER

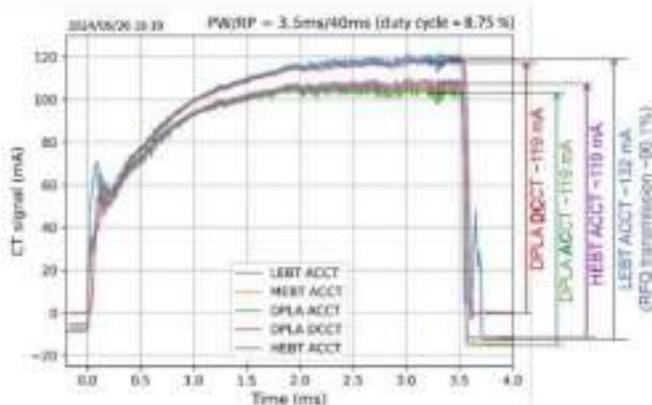
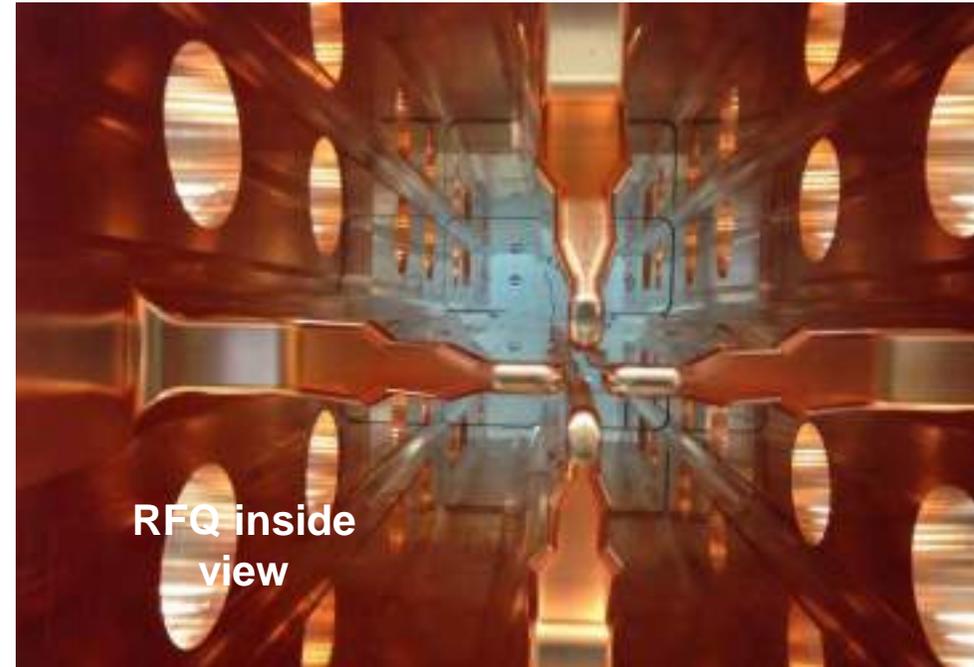
- uno del circuito e del **bersaglio di litio** (Lithium Loop) e
- uno della **Test Facility**,
- un dimostratore dell'**acceleratore** (LIPAC) 1.2 MW di potenza di fascio

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 sarà installata nei prossimi mesi.



- L'INFN, con i Laboratori Nazionali di Legnaro e con le sezioni di Torino, Bologna e Padova, ha realizzato l'RFQ di LIPAc, forse la componente piu' difficile in quanto i parametri di intensità del fascio (125 mA di deutoni con 100% duty cycle) superano quelli di ogni altro RFQ finora realizzato.
- **Phase B+** (Injector+RFQ+MEBT+HEBT+HPBD) conclusa in **giugno 2024**, raggiunto **8.75% beam duty (pulse width 3.5 ms repetition period 40 ms)**
- La limitazione è legata ai coupler ed al Sistema RF, sui quali è in essere un programma di consolidamento





Picture 2-3: Beam line fully assembled



Picture 2-26: Cold mass during lifting test in JR building



Picture 2-25: Beam line out of cleanroom in JR building

- Contributo in kind della Francia
- (CEA Saclay)
- realizzazione delle cavità in Italia (Zanon, Schio)



The site is located at Escúzar -18 km southwest from Granada city- Spain

**Identificata come priorità nella EU Fusion Roadmap  
Inclusa nella roadmap di ESFRI\* come EU strategic facility**  
\*European Strategy Forum on Research Infrastructures



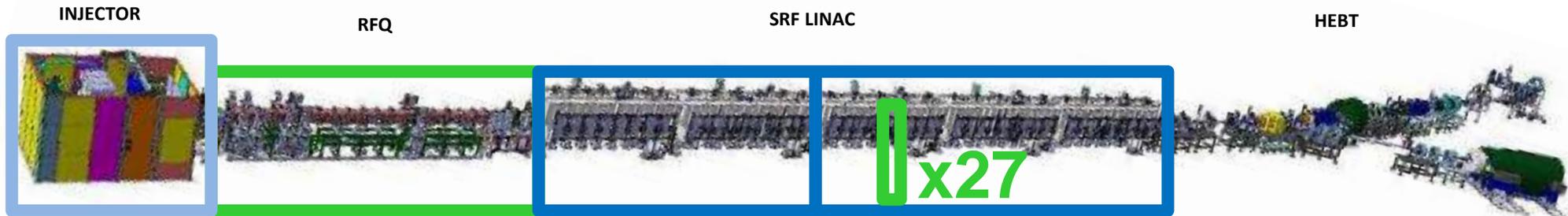
L'edificio può essere esteso per la costruzione del secondo linac (10 MW di fascio)  
 PIE (Post Irradiation Exams) verranno fatti nei vari istituti partecipanti al programma

- Previsto il meccanismo del contributo in kind, quindi responsabilità Italiana di parti significative del Progetto
- è previsto l'8% del costo della facility (circa 65 M€) fra acceleratore (INFN) e target (ENEA)

- Materiali e componenti resistenti agli alti flussi termici
- Meccanica di precisione
- Realizzazione cavità superconduttive (e-b welding, trattamenti superficiali, montaggi in camera pulita)
- Manutenzione remota, sistemi metrologici e sensoristica
- Tecnologie del vuoto e dell' Ultra High Vacuum UHV (camere da vuoto, sistemi di pompaggio, accessori)
- Ingegneria elettrica (alimentatori), elettronica & elettrotecnica
- Sistemi a radiofrequenza (amplificatori, alimentatori, distribuzione RF, controlli)
- Sistemi di controllo impianti ed acquisizione dati.
- Algoritmi avanzati e AI per progettazione e operazione.
- Progettazione (elettromeccanica, termoidraulica, nucleare)
- Tecnologie nucleari
- Impianti di distribuzione gas e fluidi.
- Fornitura di strumentazione elettronica di vario genere



The long RF system gallery at ESS

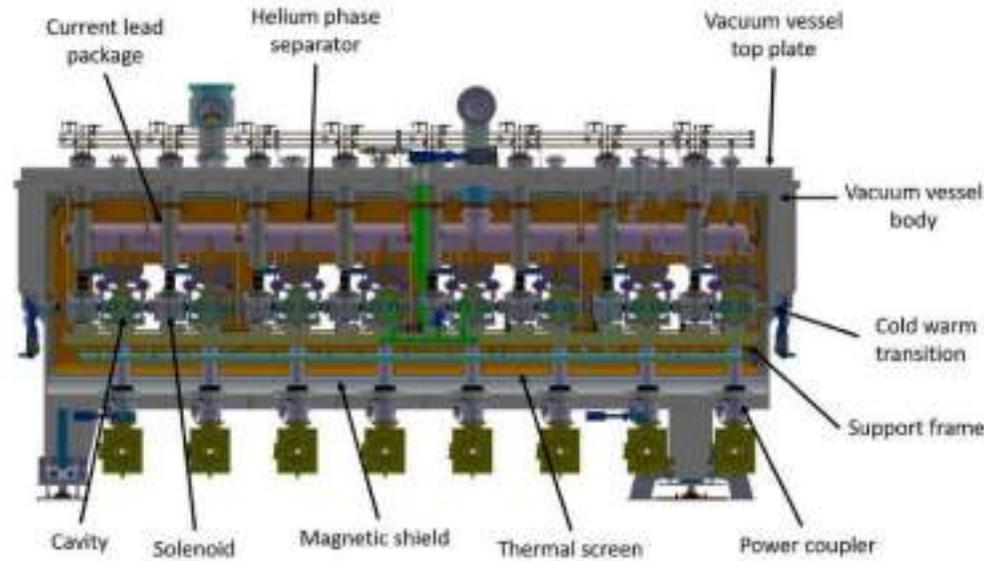
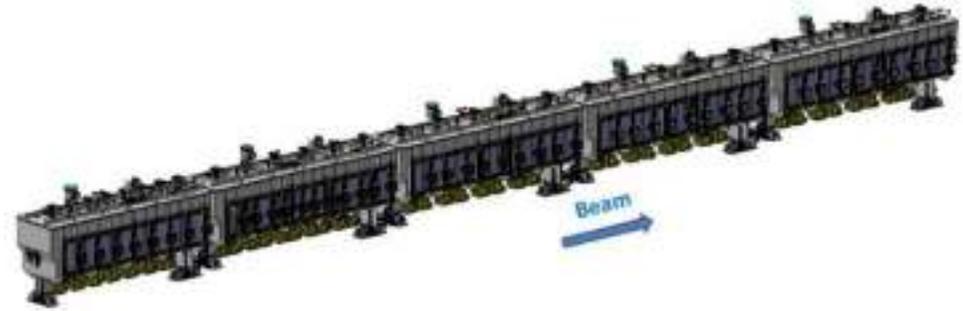


## INFN contribution:

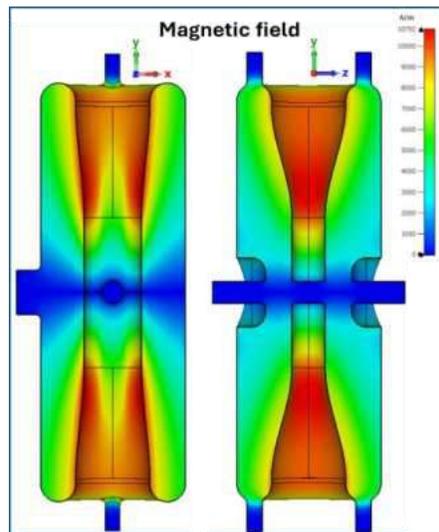
- The RFQ
- The 27 HWR superconducting cavities
- A general contribution to computer control, installation, commissioning and management of the accelerator

In blu F4E and CEA contributions

LNL low beta (A. Facco et al) IFMIF EVEDA HWR designed by CEA

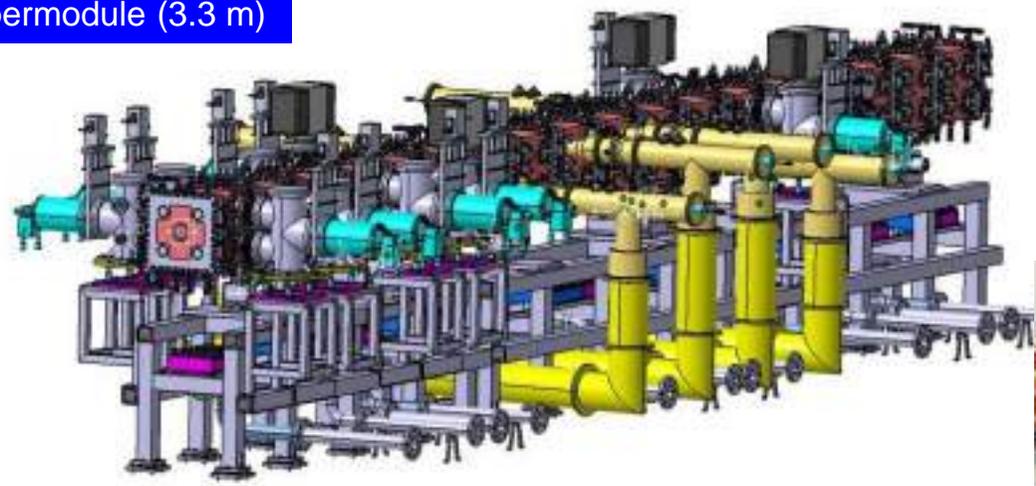


HWR INFN preliminary design



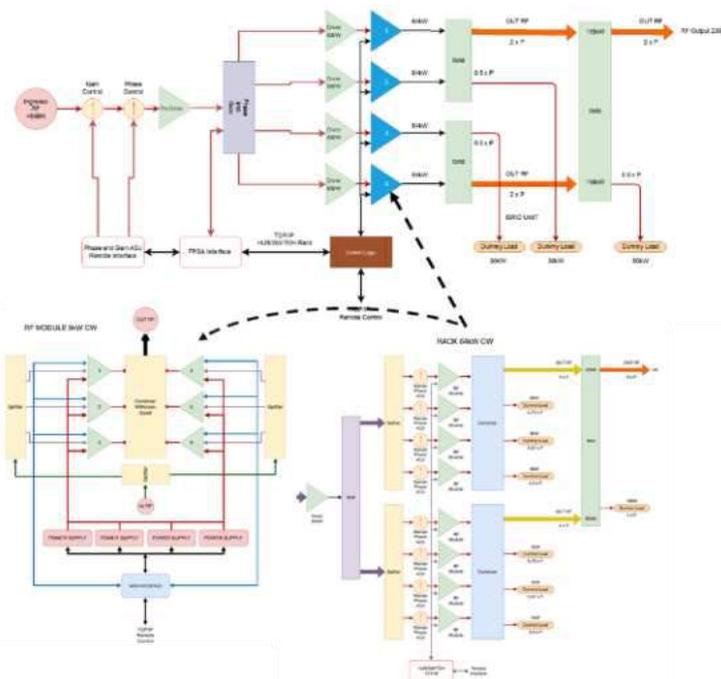


IFMIF RFQ: the supermodule (3.3 m)



INFN development for Brazing

- Delivered in 2014, INFN contribution LNL, Padova, Torino Bologna
- Beam dynamics=>high transmission, high efficiency
- RF design=> high shunt impedance
- Aggiornamento del design in corso



Il Sistema RF deve fornire La potenza 5 MW al fascio, e 700 kW al rame dell'RFQ. Rappresenta quindi la principale utenza elettrica di DONES, e l'efficienza è in questo caso fondamentale

The INFN solid state ampli prototype (200kW, 175 MHz , 62% power efficiency)

1<sup>st</sup> DONES Steering Committee  
held the 16<sup>th</sup> March 2023  
Official start of the  
DONES Construction Phase



5<sup>th</sup> DONES steering committee 20 Maggio 2025

- Spagna, Croazia e Giappone, membri del consorzio DONES, gli altri sono “observers”.
- Italia ha un MOU fra ministeri della ricerca scientifica e la trattativa per l’ingresso è in corso (con un contributo ENEA al target e INFN all’acceleratore)



- Il test dei materiali è un aspetto essenziale del programma per l'utilizzo dell'energia da fusione, e richiede una **sorgente intensa e innovativa di neutroni**
- La costruzione di una sorgente basata su un acceleratore **superconduttivo ed un target di litio liquido di alta potenza** comporta delle sfide tecnologiche importanti; oggetto del programma IFMIF EVEDA del broader approach
- Il prossimo passo sarà la costruzione della facility europea DONES a Granada.
- Una nuova occasione di collaborazione internazionale e di una significativa partecipazione del sistema Italia (Enti+industrie) tramite il meccanismo del contributo in-kind

- **Aknowledgements**

- Questo programma è stato fortemente sostenuto da INFN, ENEA, F4E e Eurofusion
- La realizzazione ha coinvolto per INFN LNL, Padova, Torino e Bologna,
- l'attività in Giappone sull'acceleratore è avvenuta con strettissima collaborazione fra istituti europei (CEA e CIEMAT nostri principali partner) e con il QST giapponese.