



22 SETTEMBRE 2021

IFMIF-DONES

ENEA - INFN  
P. BATISTONI, D. BERNARDI, D. BETTONI, M. TARANTINO



## Premessa

L'**International Fusion Materials Irradiation Facility - Demo Oriented Neutron Source (IFMIF-DONES)** è una infrastruttura di ricerca che utilizza una sorgente di neutroni, con spettro di energia e flusso equivalenti a quelli previsti per la prima parete nei futuri reattori a fusione, per investigare i fenomeni di danno da radiazioni e per caratterizzare i materiali irradiati sotto tali condizioni.

La sorgente neutronica si realizza dall'accoppiamento di una innovativa tecnologia di acceleratori di particelle ad alto ciclo di lavoro ad alta corrente, con un target a metallo liquido fluente.

In questi settori l'Italia, tramite INFN ed ENEA rispettivamente, detiene tecnologie e know-how.

## Scopi e finalità.

Le condizioni di irraggiamento neutronico all'interno dei futuri reattori nucleari a fusione e in particolare del reattore dimostrativo DEMO - il tokamak che seguirà ITER e che dovrà dimostrare la possibilità di immettere in rete energia elettrica ottenuta dal processo di fusione - sono caratterizzate dalla presenza di neutroni a 14 MeV, generati dalla reazione deuterio-trizio (D-T).

Tali neutroni determinano elevati danneggiamenti sui materiali affacciati al plasma e inducono in essi la formazione di gas (idrogeno e soprattutto elio) che tipicamente ne degradano le caratteristiche fisiche e meccaniche.

La comprensione dei meccanismi di deterioramento delle proprietà dei materiali e della vita operativa dei componenti nelle condizioni di irraggiamento e temperatura previste nel reattore riveste pertanto un aspetto di fondamentale importanza nella progettazione e nel licensing dell'impianto da parte delle autorità di sicurezza preposte.

Le sorgenti di irraggiamento oggi disponibili (fissione, spallazione, fascio ionico) non hanno le caratteristiche adeguate per qualificare i materiali che dovranno operare nelle suddette condizioni. **La realizzazione di una sorgente neutronica dedicata a 14 MeV è pertanto considerata dalla comunità fusionistica internazionale come una tappa imprescindibile per la realizzazione di un reattore commerciale a fusione.**

La macchina che dovrà far fronte a tale necessità è IFMIF-DONES (<https://ifmifdones.org/>), la cui costruzione è prevista nei prossimi anni a Granada (Spagna) con il contributo tecnico ed economico di tutti i maggiori Paesi Europei coinvolti nelle attività della Roadmap Europea per la fusione tramite il consorzio EUROfusion e con il supporto anche dell'agenzia Fusion for Energy (F4E).

IFMIF-DONES è una sorgente basata su un fascio di 125 mA di deutoni (D<sup>+</sup>) accelerati a 40 MeV che impattano su un target di litio liquido fluente ad alta velocità (15 m/s), in grado di generare un flusso di neutroni ad alta intensità ( $\sim 5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) con uno spettro caratterizzato da un picco allargato attorno a 14 MeV, simile a quello presente sulla prima parete di DEMO.

IFMIF-DONES avrà la capacità di irraggiare, in condizioni controllate di temperatura, circa un migliaio di provini disposti all'interno di un apposito modulo (High Flux Test Module, HFTM) collocato vicino al target.

Allo stesso tempo, le caratteristiche uniche della sorgente IFMIF-DONES, segnatamente l'intensità del flusso neutronico e il suo spettro energetico, presentano alla comunità scientifica potenzialità non offerte in altre infrastrutture di ricerca quali i reattori a fissione e le sorgenti di spallazione. Questo ha suggerito di includere tra gli scopi della macchina, oltre a quello principale orientato alla qualifica dei materiali per la fusione e senza che ne risulti alcun impatto su quest'ultimo, anche una serie di applicazioni complementari in diversi domini di ricerca tra cui: (1) **applicazioni di interesse medico**, (2) **fisica nucleare e produzione di fasci di ioni radioattivi**, (3) **studi di fisica di base** e (4) **applicazioni industriali di neutroni**.

Alla luce di ciò è prevista la realizzazione all'interno della facility di una o più aree dedicate in cui potranno essere realizzati esperimenti complementari in ambito non fusionistico sfruttando il flusso neutronico residuo (dell'ordine di  $10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) o una frazione di deutoni ad alta energia (fino a 40 MeV) estratti dal fascio principale.

Tra le possibili applicazioni complementari sono state identificate in particolare la produzione di radioisotopi adatti per l'imaging medico e/o la radioterapia, inclusi il richiestissimo Mo-99 e il Lu-177, e la BCT (Boron Capture Therapy).

Nell'ambito della ricerca in fisica nucleare la disponibilità di neutroni ad alta energia consentirà studi di reazioni indotte da neutroni per applicazioni nella tecnologia nucleare e nei sistemi basati su acceleratori. Il fascio neutronico disponibile potrà inoltre essere utilizzato per produrre fasci radioattivi tramite fissione per studi di struttura nucleare e di astrofisica. Sempre in campo astrofisico saranno possibili esperimenti sulle reazioni di cattura neutronica dei radionuclidi a lunga vita finalizzati agli studi di nucleosintesi degli elementi. Infine, l'utilizzo di una frazione del fascio di deutoni indirizzato su un bersaglio di conversione potrà essere sfruttato per produrre fasci pulsati molto brevi di neutroni energetici per esperimenti di tipo "time-of-flight".

Ciò aprirà prevedibilmente una nuova gamma di possibili applicazioni scientifiche e tecnologiche attualmente perseguite in un numero molto limitato di installazioni.

In conclusione, con la partecipazione alla realizzazione di IFMIF-DONES, *l'Italia potrà avere accesso ad una macchina di irraggiamento unica per le sue potenzialità di ricerca, che va oltre lo sviluppo tecnologico della fusione nucleare, e che abbraccia diversi settori di ricerca e sviluppo, dal medicale alla fisica di base, alla tecnologia avanzata, alle scienze per la vita.*

## Progetto DONES-PreP

La necessità di una sorgente neutronica dedicata con cui poter qualificare i materiali potenzialmente candidati ad un utilizzo nei futuri reattori a fusione è avvertita come imprescindibile dalla comunità fusionistica ed è ampiamente supportata da oltre 30 anni a livello internazionale.

Il dibattito sulla possibile configurazione di tale sorgente neutronica ha portato ad individuare già da lungo tempo quale migliore opzione – confermata anche dalla revisione di un panel internazionale di esperti - quella basata sull'interazione di un getto di litio liquido con un fascio accelerato di deutoni.

Tale concetto è stato sviluppato, in contesti diversi, sin dalla fine dagli anni '70 ed è sfociato infine nell'ultimo decennio nel progetto IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility), la cui ultima fase inserita all'interno della collaborazione bilaterale Broader Approach tra EU e Giappone, ha contribuito all'avanzamento del design della macchina.

ENEA ed INFN hanno collaborato al Broader Approach mediante finanziamenti ad hoc ricevuti dal MiSE nell'ambito della RdS.

Nel dicembre 2017, F4E ha valutato positivamente la proposta congiunta Spagna-Croazia di indicare Granada, in Spagna, quale sito in cui costruire IFMIF-DONES. Sulla scia di questa indicazione, all'inizio del 2019 è stata presentata una proposta di progetto – coordinata dal CIEMAT ed elaborata insieme a diversi partner europei tra cui l'ENEA e INFN – in risposta alla call for tenders inserita nel programma Horizon 2020 per il finanziamento delle infrastrutture di ricerca strategiche elencate nella Roadmap 2018 dell'European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI), essendo stata IFMIF-DONES recentemente inserita in tale lista.

Il progetto, denominato **DONES-PreP (DONES-Preparatory Phase)** si prefigge lo scopo di definire il contesto legale, finanziario e organizzativo all'interno del quale si svolgerà la fase di costruzione e gestione operativa della facility, muovendo nel contempo i primi passi per l'inizio della costruzione delle opere civili. In

particolare, DONES-PreP avrà lo scopo primario di elaborare il modello di Consortium Agreement per la costruzione e lo sfruttamento della macchina. Inoltre, sebbene gran parte delle attività di progettazione siano in corso di svolgimento nell'ambito EUROfusion e altri progetti ad esso collegati, DONES-PreP includerà comunque un certo numero di attività tecniche con l'intento di esplorare soluzioni alternative o complementari al design attuale nonché il possibile utilizzo di IFMIF-DONES anche per finalità scientifiche diverse dalla fusione. Si procederà inoltre alla definizione di un business plan per DONES (intesa come users' facility non solo per la fusione) per verificarne la sostenibilità economica in fase di operazione.

## Stato del Progetto

Dal 2007, il progetto originale IFMIF è stato perseguito dal Giappone e dall'Unione Europea nell'ambito del Broader Approach ( <https://www.ba-fusion.org/ba/> ) nel campo della ricerca sull'energia da fusione e nel dicembre 2017 Fusion for Energy (F4E) (<https://fusionforenergy.europa.eu/> ), agenzia europea sulla fusione nucleare, ha valutato positivamente la **proposta congiunta Spagna-Croazia per il sito DONES a Granada (Spagna)**.

Attualmente non è ancora definito come i singoli Stati Membri potranno contribuire al progetto, e a tal fine non sono da escludere collaborazioni in-kind da parte dell' Italia per la fornitura di servizi di progettazione e/o sviluppo tecnologico, che vedranno quindi il coinvolgimento dell'industria italiana tramite gare pubbliche di appalto.

Attualmente il progetto si sta orientando verso una governance che prevede un Consorzio spagnolo (persona giuridica) che si assume la piena responsabilità per la costruzione, compresa l'integrazione del progetto, la definizione delle specifiche tecniche, il seguito della costruzione e della produzione, ecc.

F4E e altre parti dell'UE o internazionali potranno contribuire con specifici contributi in-kind.

Per la fase operativa la proprietà e il funzionamento della struttura saranno a carico dell'entità giuridica spagnola sulla base di un contratto a lungo termine con la Commissione Europea (modello simile all'operazione del JET) e di conseguenza F4E & EUROfusion parteciperanno alla definizione del programma di ricerca.

La fase di decommissioning verrà gestita come previsto dalla legge spagnola, ovvero tramite il trasferimento di proprietà a ENRESA.

Attualmente il programma di realizzazione è già in essere mediante la preparazione del sito, mentre la costruzione e installazione di componenti e sistemi dovrebbe avviarsi a partire dal 2023-2025 per concludersi nel 2030. I primi dati sui provini irraggiati sono previsti dal 2033-2035.

**Il progetto ha valore stimato di 650-700 M€** per la fase di costruzione.

Attualmente il potenziale contributo italiano, stimato a partire dalle richieste pervenute dal CIEMAT circa le possibili forniture provenienti dall'Italia e basato sul know-how disponibile presso ENEA e INFN, potrebbe aggirarsi tra i 60-70 M€ in 7-10 anni.

Tale contributo potrà essere ridotto o incrementato a seguito del manifestato interesse dell'industria italiana al progetto.

Una decisione circa il coinvolgimento italiano al progetto è atteso per il primo quadrimestre nel 2022.