

# L'INFN e l'energia nucleare

I grandi acceleratori e rivelatori di particelle degli esperimenti di fisica fondamentale al cuore della ricerca dell'INFN possono avere caratteristiche interessanti anche per applicazioni nel contesto dell'energia nucleare, principalmente in tre ambiti: il trattamento e la gestione dei rifiuti radioattivi generati dalle centrali a fissione; i dispositivi per la diagnostica di impianti a fissione e fusione; gli impianti ausiliari che fanno funzionare i reattori a fusione

DOI 10.12910/EAI2023-065



di **Antonio Zoccoli**, *Presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*

**I grandi acceleratori e rivelatori di particelle degli esperimenti di fisica fondamentale al cuore della ricerca dell'INFN possono avere caratteristiche interessanti anche per applicazioni nel contesto dell'energia nucleare, principalmente in tre ambiti: il trattamento e la gestione dei rifiuti radioattivi generati dalle centrali a fissione; i dispositivi per la diagnostica di impianti a fissione e fusione; gli impianti ausiliari che fanno funzionare i reattori a fusione.** Faremo qui alcuni esempi di sviluppi, in parte portati avanti dal progetto strategico INFN-Energia.

I rifiuti radioattivi che si producono durante il funzionamento e lo smantellamento degli impianti a fine vita vanno isolati dall'ambiente e mantenuti in sicurezza. Con il contributo dei progetti europei MICADO, PREDIS e CLEANDEM, l'INFN ha sviluppato dei dispositivi compatti, flessibili e a basso costo per la rivelazione di raggi gamma e neutroni emessi dai rifiuti, all'occorrenza equipaggiati con trasmissione dati

senza fili e anche montati su robot per ricognizioni delle zone soggette a smantellamento senza esposizione umana (Fig. 1). Questi dispositivi sono stati testati con successo su fusti campione contenenti sorgenti radioattive e verranno testati presto su manufatti cementati.

Nell'ambito dei controlli mirati a impedire che del materiale nucleare venga sottratto e utilizzato per scopi illeciti, ci viene in aiuto la "tomografia muonica", che utilizza i muoni, particelle molto penetranti create dalla radiazione cosmica. Misurando con opportuni "tracciatori" (Fig. 2) l'assorbimento dei muoni nei contenitori per il combustibile esaurito, è possibile ricavare una scansione tridimensionale del contenuto. Questo permette di stabilire se tutti gli elementi di combustibile sono presenti e non mostrano anomalie macroscopiche.

**Tecnologie nucleari dalla fissione alla fusione**

**Un altro campo importante di applicazioni delle tecnologie INFN è**

**la fusione nucleare.** Nella fusione nucleare "a confinamento magnetico" si utilizzano potenti campi ma-



Figura 1: Sensori di raggi gamma e neutroni assemblati (a sinistra, in alto) e montati insieme ad altri su un robot di prova nel progetto CLEANDEM (a destra)



Figura 2: (@BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH)

Un cask con a fianco i tracciatori di muoni costruiti dall'INFN (montati sui supporti blu). I muoni cosmici rivelati dai tracciatori attraversano anche il contenitore, permettendo di ispezionarne il contenuto

gnetici per intrappolare il gas caldissimo (plasma) dentro un impianto. Il contenitore del plasma ha una forma ad anello, circondato da bobine magnetiche per l'intrappolamento del plasma. Inoltre, sono presenti una serie di impianti ausiliari per il riscaldamento del plasma, ovvero uno o più fasci di atomi neutri, che in quanto privi di carica elettrica, possono penetrare nel plasma senza risentire dei campi magnetici, e antenne che emettono onde elettromagnetiche a determinate frequenze verso il plasma. Oltre a tutto ciò, sono presenti numerosi dispositivi di diagnostica, sia per controllare la macchina facendola funzionare in sicurezza, sia per studiare il comportamento del plasma e la reazione di fusione.

La parte di plasma che sfugge all'intrappolamento va convogliata in modo da concentrare il suo enorme calore su zone fortemente raffreddate (il cosiddetto "divertore"), onde evitare di fondere la parete del con-

tenitore. Infine, per realizzare l'impianto servono materiali che possano resistere abbastanza a lungo al calore, alla radiazione del plasma e al bombardamento dei neutroni emessi dalla reazione di fusione, che possono degradare metalli e plastiche. **Vi è quindi la necessità di sviluppare materiali in grado di sostenere l'elevato flusso neutronico.** Per questo è stato proposto di realizzare IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) e sta partendo DONES (Demo Oriented NEutron Source), laboratori dove un potente fascio di nuclei di deuterio assorbiti da un bersaglio di litio liquido produrrà un flusso molto intenso di neutroni con energie simili a quelle degli impianti a fusione, permettendo di testare i materiali. A questi progetti l'INFN dà un importante contributo tecnico-scientifico nella progettazione e realizzazione di componenti del potente acceleratore di nuclei di deuterio (Fig. 3).

**Il progetto DTT, lanciato recentemente in Italia, prevede la costruzione a Frascati di un impianto a fusione dedicato allo studio del divertore sopra citato. In questo progetto, l'INFN contribuisce ai sistemi di riscaldamento del plasma, ovvero l'iniettore di atomi neutri e le radiofrequenze, e ad alcuni sistemi diagnostici.**

Per realizzare un fascio di atomi neutri, si parte da una sorgente di ioni carichi, con correnti molto elevate, che vengono accelerati e infine neutralizzati. L'acceleratore consiste in un migliaio di fascetti, accelerati usando delle griglie metalliche, opportunamente raffreddate in quanto su di esse viene depositata una grande quantità di calore. Per questi componenti, così come per componenti di trasmissione delle radiofrequenze, l'INFN ha iniziato a sviluppare e ad applicare una tecnologia di punta, la "manifattura additiva" o "stampa 3D" di metalli,



Figura 3: Il primo stadio dell'impianto IFMIF-EVEDA, realizzato dall'INFN e installato a Rokkasho (Giappone)

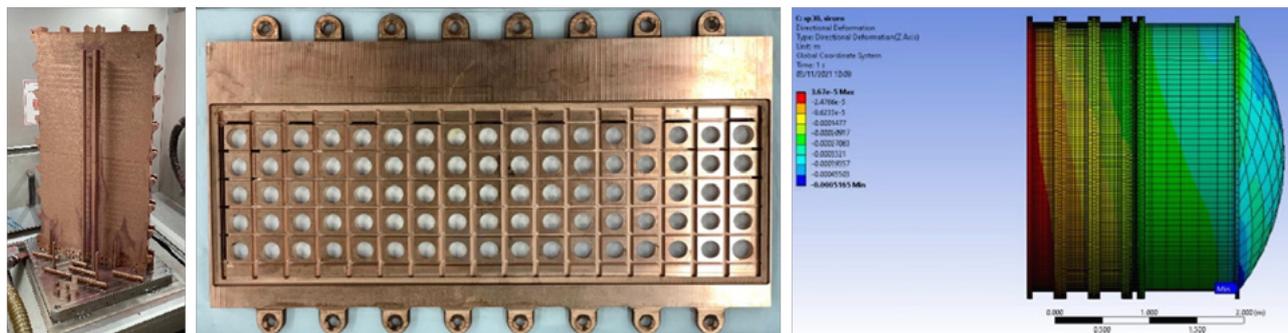


Figura 4: Una Griglia prototipo per l'iniettore di atomi neutri del progetto DTT realizzata in manifattura additiva, appena stampata (a sinistra) e dopo le post-lavorazioni (al centro). Una simulazione delle deformazioni della struttura accelerante dell'iniettore di atomi neutri, compresi gli anelli di isolamento (a destra), dove la mappa dei colori indica il grado di deformazione della struttura

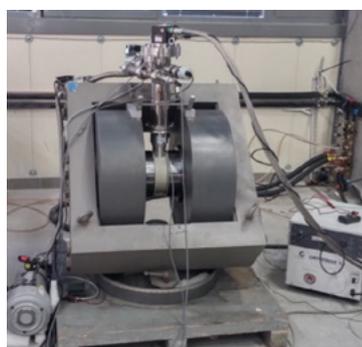


Figura 5: L'apparato di test dei cilindri di  $MgB_2$  utilizzati per il mantenimento della polarizzazione dei campioni

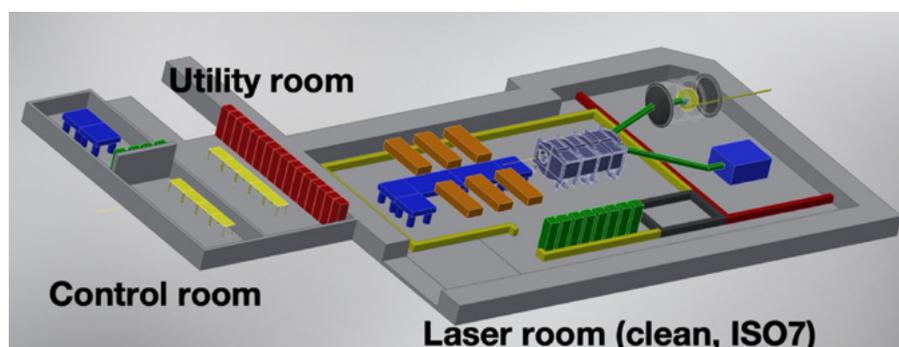


Figura 6: Schema della facility I-LUCE (INFN Laser Induced particle acceleration) ai Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN

che consente di realizzare oggetti con geometrie molto complicate, con minimo scarto di materiali (Fig. 4). Per assemblare i componenti dell'acceleratore, è pure necessario studiare delle giunzioni in materiali speciali, che consentano il necessario isolamento elettrico senza rilasciare sostanze indesiderate nel vuoto spinto dell'iniettore (Fig. 4). L'INFN collabora anche alla progettazione di determinate guide d'onda e antenne a radiofrequenza per il riscaldamento del plasma, nonché a diagnostiche del plasma basate sull'emissione di raggi X molli e sulla riflessione di radiofrequenze.

**A partire dagli esperimenti di fisica nucleare con bersagli polarizzati, ovvero con lo spin nucleare orientato, è nata un'attività sulla fusione polarizzata, dove l'orientamento degli spin nucleari può far guadagnare fattori importanti nella fusione, anche nell'ambito della "fusione inerziale", in cui compressione e confinamento sono prodotti da potenti laser (Fig. 5).**

**In quest'ultimo ambito, l'INFN porta anche avanti il progetto FUSION, con lo scopo di realizzare una nuova classe di esperimenti basati su sistemi laser a impulsi brevissimi e alta frequenza di ripetizione.**

In FUSION verranno sviluppati bersagli innovativi e nuovi sistemi diagnostici dedicati (Fig. 6). Tornando alla questione dei rifiuti radioattivi della fissione, con alcuni tipi di acceleratori come quelli sopra menzionati, si può costruire un impianto per "incenerire" i rifiuti nucleari a vita molto lunga, un impianto che si accende dando il via alla fissione solo se i neutroni vengono forniti da una sorgente esterna. L'INFN ha studiato e proposto tempo fa un'infrastruttura di ricerca su queste tematiche e collabora a studi su impianti simili dove la sorgente di neutroni è fornita invece dalla fusione nucleare.