

PROGETTO STRATEGICO INFN-ENERGIA

APPROFONDIMENTO (dal Piano Triennale)

INFN-E è una nuova linea di ricerca dell'Ente, il cui fine è lo sviluppo di competenze e strumentazioni nel settore delle applicazioni della fisica nucleare all'ambito dell'energia. L'instaurazione di collaborazioni con le industrie del settore (in particolare, Ansaldo Nucleare, SOGIN), così come con altri Enti nazionali e internazionali con attività specifiche nel settore (quali ENEA, CNR, Politecnici, Euratom), costituisce una premessa essenziale. Tale collaborazione fornisce da un lato le competenze complementari necessarie, dall'altro serve a indirizzare, sempre nell'ambito di un'ampia autonomia e libertà di idee, le proposte e gli sviluppi verso possibili utilizzi concreti.

INFN-E si articola su tematiche generali di comune interesse nelle quali l'Ente, nell'ambito delle sue attività istituzionali, ha sviluppato ampie competenze e ottenuto importanti risultati, quali:

- Rivelatori di nuclei, particelle e radiazione
- Applicazioni di acceleratori di ioni e particelle a problematiche nell'ambito dell'energia nucleare
- Formazione superiore e professionale

Nel corso dei suoi tre anni di vita, INFN-E si è andata costruendo intorno ai temi che ad oggi appaiono di maggiore interesse nell'industria nucleare, ovvero:

- smantellamento degli impianti (decommissioning) e trattamento delle scorie
- controllo dei materiali radiologicamente rilevanti (sicurezza ai varchi)
- studio di nuove tipologie di impianti per la fissione nucleare, con caratteristiche di sicurezza avanzate (ADS, reattori veloci Generation IV) e sviluppo di nuove metodologie di test
- sviluppo di impianti per la fusione nucleare
- monitoraggio ambientale
- formazione e divulgazione
-

Di seguito riportiamo sinteticamente le attività svolte per linee specifiche.

Trasferimento tecnologico: applicazione di nuove tecnologie, sviluppate dall'Istituto nel corso delle ricerche di base, a problematiche tipiche dei programmi sull'Energia Nucleare. Fanno parte di questa linea:

- *Progetti per il controllo della contaminazione ambientale e delle fughe di radiazioni nei depositi di scorie radioattive.* Tra questi è in fase avanzata la realizzazione (DNMR: LNS, Sez. Mi, <http://www.Ins.infn.it/link/DMNR>) di una rete di fibre scintillanti per il monitoraggio on-line dell'attività di fusti contenitori di sostanze radioattive nei depositi e la segnalazione di eventuali perdite, con interesse e

collaborazione da parte di Ansaldo Nucleare e SOGIN. È stato recentemente effettuato un test su fusti reali presso l'ex centrale nucleare del Garigliano a Sessa Aurunca. **Conclusa la fase INFN-E, sono in corso contatti con l'Euratom per l'eventuale formulazione di un bando di interesse per questo tipo di tecnologia. Inoltre è in fase di elaborazione un protocollo d'intesa con SOGIN relativamente alla sperimentazione per lo sviluppo industriale di questa tecnologia.** Un altro progetto, ora concluso (SPECTX: Sez.Ts), ha riguardato lo sviluppo di nuovi rivelatori *silicon drift* per il monitoraggio ad elevata risoluzione e angolo solido di raggi X.

- *Progetti per la rivelazione non invasiva di sorgenti radioattive e materiali strategici nei containers ai porti e ai varchi.* Due prototipi, realizzati con tecnologie diverse quali la tomografia con muoni cosmici mediante camere a deriva (MUSTEEL: Sez. Pd, Sez. Ge, Tecnogamma, Acciaierie Beltrame) o la rivelazione diretta di fotoni o neutroni con scintillatori a grande area caricati al gadolinio (PIC: Sez. Ge, JRC-Ispra, Ansaldo Nucleare) sono in fase avanzata di costruzione e test. **La fase INFN-E è quindi da considerarsi conclusa. Entrambi i progetti hanno ottenuto, rispettivamente nel 2010 e nel 2011, un finanziamento dall'UE nell'ambito del FP7.** Un nuovo progetto innovativo basato sulla rivelazione di neutroni tramite cattura in un recipiente d'acqua (WANDA: Sez. Ge) ha effettuato alcune prove dimostrando la validità del concetto
- Un progetto di nuovi rivelatori per il monitoraggio esterno della potenza e del burn-up nei reattori di potenza tramite la rivelazione dei flussi di antineutrini emessi dal nocciolo. Nell'ambito di INFN-E (CORMORAD: Sez. Ge, Ansaldo Nucleare) è stato costruito un prototipo, testato presso i reattori di Cernavoda (Romania), col quale si è potuto misurare i fondi e valutare la sensibilità. La parte INFN-E è conclusa, mentre, per le elevate dimensioni e costi, la costruzione dello strumento effettivo richiederà la partecipazione di organismi internazionali (IAEA, UE, etc.)

Tutti questi progetti erano stati approvati nell'ambito di Convenzioni dell'Ente con industrie nazionali che ancora ne seguono realizzazioni e sviluppi. Esiste inoltre una Convenzione tra il JRC (*Joint Research Centre*) e l'INFN che ratificherà, tra l'altro, una collaborazione in atto tra INFN-E e l'*Institute for civil security* del JRC a Ispra su quella parte del programma che riguarda l'uso di tecniche nucleari per problemi di sicurezza civile.

ADS, Reattori veloci, bruciamento e trasmutazione scorie: nell'ambito della sperimentazione e progettazione di reattori a fissione di nuova generazione (Gen IV) e reattori guidati da acceleratori (ADS, Accelerator Driven Systems), sono operativi in Europa vari progetti di R&D volti a definire le caratteristiche di questi nuovi sistemi. In particolare, una delle configurazioni studiate prevede di utilizzare Piombo o Piombo/Bismuto come fluido refrigerante. L'Italia, con Ansaldo Nucleare, è leader in questo settore, che in Europa è portato avanti con i progetti GUINEVERE, MYRRHA, LEADER/ALFRED. Per progettare impianti di nuova concezione (critici o sottocritici), è di fondamentale importanza la disponibilità di infrastrutture di ricerca dove i calcoli teorici sul comportamento di questi sistemi innovativi possano essere testati sperimentalmente. Di particolare importanza è la possibilità di

misurare parametri di sistema come il coefficiente di moltiplicazione (k_{eff}), la distribuzione di flusso dei neutroni e altri legati alla cinetica e dinamica del sistema, al fine di validare i codici di calcolo usati per progettare gli impianti. Questo aspetto è di particolare rilevanza nel caso di sistemi sottocritici tipo ADS. INFN-E contribuisce all'avanzamento delle conoscenze in questo settore con i progetti di:

- *Un Centro di formazione e ricerca*, pensato sia per l'addestramento di giovani ingegneri, fisici e tecnici e la promozione culturale nel settore (master, stage, dottorati, ecc.) in collaborazione con Università e Industria, sia per lo studio della trasmutazione delle scorie radioattive a vita lunga tramite fissione veloce. Tale Centro dovrà essere attrezzato con infrastrutture di interesse scientifico, ma dotate della massima sicurezza e sostenibilità. La proposta iniziale di INFN-E, studiata approfonditamente in collaborazione con Ansaldo Nucleare, Politecnici di Milano e Torino, ENEA, LENA di Pavia e altre Università, prevedeva che il Centro si costruisse intorno a un generatore di neutroni di bassa potenza (< 1 MW) basato su un piccolo reattore veloce sottocritico del tipo ADS, con elementi di combustibile immersi in una matrice di Piombo solido, controllato dal fascio di protoni del ciclotrone da 70 MeV e 50 kW in corso di acquisizione da parte dei Laboratori Nazionali di Legnaro. Al momento si sta anche studiando una versione rimodulata, a ridotto o nullo contenuto di combustibile fissile, pensata per acceleratori più potenti quali IFMIF, che potrebbe essere utilizzata come dimostratore del bruciamento delle scorie. Per ovviare alla scarsità di dati esistenti, all'interno di INFN-E la resa di neutroni in funzione dell'angolo e dell'energia è stata misurata nel caso di un convertitore di Berillio, utilizzando i protoni da 62 MeV prodotti dal ciclotrone dei LNS (ADS: Sez. Ge, LNS, Ba, LNL). Questa parte di misure è pressoché conclusa, mentre il progetto di ADS verrà documentato in un CDR (*Conceptual Design Report*) in base al quale si potranno verificare le possibilità concrete di finanziamento e realizzazione di un'infrastruttura di questo genere.
- *Un esperimento a zero potenza* (NUC-SMILE: Sez. Pv, Mib, Polit. Mi), basato su di un piccolo sistema sottocritico contenente Uranio naturale e acqua, disponibile presso il LENA di Pavia, in cui si programma di sostituire l'acqua con pallini di Piombo ottenendo così uno spettro di fissione non moderato. L'inserzione di una sorgente di neutroni esterna permetterà di studiare la cinetica del sistema. Sono state effettuate simulazioni della configurazione col Piombo e si stanno verificando le necessarie pratiche autorizzative.
- *Un apparato per simulare sperimentalmente lo spettro di neutroni veloci di un reattore* (FARETRA: LNL). Il progetto prevede di utilizzare il ciclotrone in via di acquisizione presso i LNL per produrre neutroni da un bersaglio di Tungsteno, utilizzando poi una opportuna combinazione di materiali per rimodulare lo spettro primario e renderlo simile allo spettro veloce di un reattore. Sono state effettuate varie simulazioni per dimostrare la fattibilità e i proponenti sono alla ricerca di un finanziamento dedicato, dati i costi elevati.

In questo contesto, alcuni partecipanti a INFN-E hanno ottenuto un **finanziamento nell'ambito del progetto UE FP7 "FREYA"** per partecipare a misure di flusso neutronico nel reattore Guinevere disponibile presso il centro di ricerche SCK-CEN di Mol (Belgio), pure basato su una matrice di Piombo solido. Le misure prevedono di caratterizzare il reattore in configurazione critica e sottocritica, ove quest'ultima prevede di operare il sistema come ADS usando un acceleratore e la reazione Deuterio + Trizio per generare neutroni veloci monocromatici.

Tecniche di produzione e monitoraggio di neutroni veloci: Lo studio di sistemi a fissione innovativi, critici e sottocritici, così come la sperimentazione sui reattori a fusione, può avere grande beneficio dallo sviluppo di rivelatori in grado di misurare non solo il flusso di neutroni veloci ma anche la loro distribuzione energetica. In questo contesto è stato avviato il *progetto RILF*, volto a sviluppare rivelatori innovativi per neutroni energetici, adatti ad ambienti con campi misti (neutroni/gamma) e con alti flussi di neutroni quali ADS, reattori veloci di bassa potenza e reattori a fusione sperimentali. RILF si articola in due linee di ricerca.

- *La prima linea* (Sez. Ge, To) riguarda rivelatori basati su cristalli di diamante, caratterizzati da segnali molto veloci e alta resistenza alla radiazione. Rivelatori commerciali sono stati testati con varie sorgenti e attualmente si sta lavorando con l'Università di Tor Vergata e l'ENEA di Frascati alla realizzazione di un rivelatore a sandwich. In futuro si prevede di testare questi rivelatori nell'ambito del progetto UE "FREYA"
- *La seconda linea* (LNL) riguarda lo sviluppo di un rivelatore a fibre ottiche al quarzo. L'obiettivo è di usare questi rivelatori per misure praticamente puntuali (spazialmente) di alti flussi (all'interno della facility FARETRA, vedi sopra) dove altri tipi di rivelatori sarebbero accecati. Attualmente sono stati realizzati e testati alcuni rivelatori e si sta verificando la possibilità di testarli al CN dei LNL

Fisica del reattore: consiste nel rilancio, nell'ambito delle attività di Fisica teorica dell'Istituto, delle ricerche sulla Fisica dei neutroni e sulle teorie di trasporto, sia coagulando le pochissime competenze rimaste nel settore, sia contribuendo a formarne delle nuove tra i ricercatori delle nuove generazioni. Una attività teorica di questo tipo costituisce un presupposto necessario per lo sviluppo di progetti sulla produzione di Energia Nucleare sia per fissione che per fusione. Il programma FISNE, partito presso la sezione di Genova in collaborazione coi Politecnici di Torino e di Milano, sullo studio del comportamento cinetico e dinamico (dipendenza dalla temperatura) dei reattori di nuova generazione, fornirà elementi importanti per la comprensione del funzionamento di ADS in corso di realizzazione in Europa quali GUINEVERE e MYRRHA.

Fusione Nucleare: le attività in corso si articolano su due linee programmatiche distinte e complementari:

ITER: il contributo dell'INFN a ITER consiste essenzialmente nel progetto e nella costruzione, nell'ambito del Consorzio RFX con ENEA, CNR, Università di Padova e Acciaierie Venete, di una test facility per il sistema di Iniezione a Atomi Neutri (NBI), che costituirà uno dei

principali metodi di riscaldamento ausiliare del plasma e verrà realizzato dal Consorzio presso il centro di ricerca CNR di Padova. Nel 2010 è stato completato il progetto della sorgente di ioni negativi che dovrà essere montata ai LNL e lo studio della dinamica del fascio di ioni. Il 2011 si è concluso con l'approvazione definitiva da parte dell'organismo Europeo "Fusion for Energy" della test facility da costruire presso il CNR di Padova. Il Laboratorio di Legnaro supporta il progetto contribuendo allo studio della dinamica dei fasci e sviluppando il progetto criogenico di raffreddamento delle varie componenti del sistema. Compito del laboratorio è anche lo studio delle alte tensioni in vuoto.

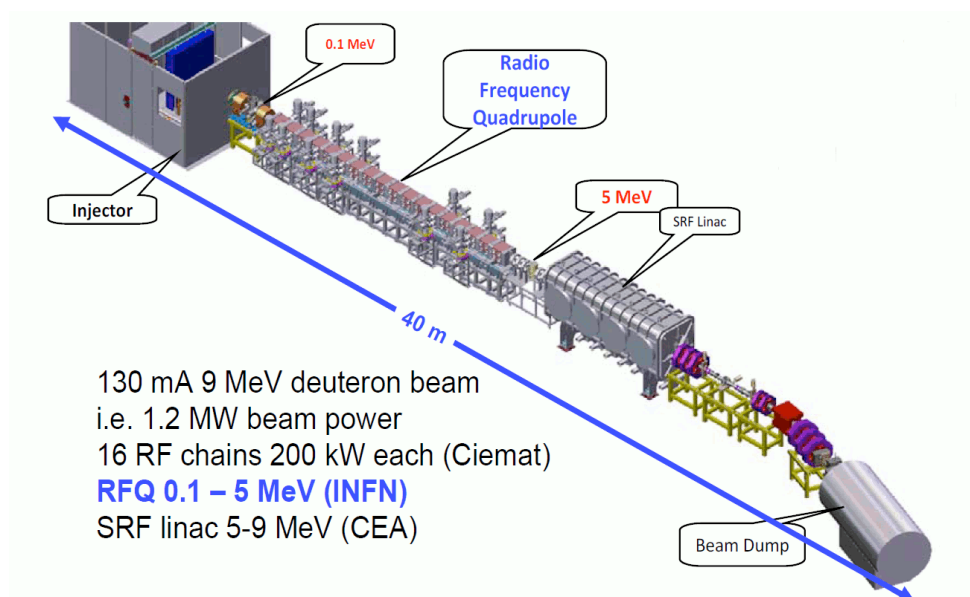


Fig. 3.18: Schema di IFMIF-EVEDA, il prototipo di acceleratore di deutoni ad altissima intensità per lo studio dei materiali per la produzione di energia da fusione nucleare.

IFMIF (*International Fusion Materials Irradiation Facility*): nell'ambito del *Broader Approach* - un accordo tra il Giappone e alcuni Paesi Europei per la realizzazione di sistemi e infrastrutture complementari a ITER - l'INFN (Laboratori Nazionali di Legnaro, Sezioni di Padova, Torino, Bologna) ha assunto un'importante responsabilità nella progettazione e realizzazione dei RFQ di alta potenza per il primo stadio di IFMIF, un doppio acceleratore lineare di deutoni ad altissima intensità (40 MeV, 130 mA) dedicato alla produzione di fasci di neutroni (circa 10^{17} n/sec), per lo studio dei materiali da utilizzare nei reattori. La parte del progetto sino ad ora finanziata (EVEDA) corrisponde ad un acceleratore di 9 MeV e piena corrente, che verrà costruito da una collaborazione europea (oltre all'INFN, principalmente CEA, Francia e CIEMAT, Spagna) e installato in un'infrastruttura specifica costruita dal JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*) presso Rokkasho nel nord del Giappone. Il primo stadio da 5 MeV che l'INFN sta costruendo rappresenta il quadrupolo a radiofrequenza più potente al mondo.

Dopo la brasatura del primo prototipo a LNL fine ottobre 2010, è cominciata la parte realizzativa con la costruzione dei 18 moduli che costituiscono la struttura, dei quali uno è già stato completato. Parte importante del progetto è costituita dallo sviluppo di tutti i

sottosistemi, vuoto, raffreddamento e controllo della frequenza, integrazione meccanica e funzionale nell'acceleratore. Sono previsti dei test parziali in Europa seguiti dall'installazione e test con il fascio in Giappone (presso il laboratorio di Rokkasho) a partire dal 2013. L'INFN contribuisce con proprio personale al programma di integrazione delle varie componenti dell'acceleratore in Giappone.