



ENEA

Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente

DOSSIER

ENEA E LA RICERCA SUL NUCLEARE

Workshop

ENEA E LA RICERCA SUL NUCLEARE

10 aprile 2008

Roma

*Ambiente
Energia
Innovazione*



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

DOSSIER

ENEA E LA RICERCA SUL NUCLEARE

Workshop

ENEA E LA RICERCA SUL NUCLEARE

10 aprile 2008

Roma

A cura di Aldo Pizzuto, Stefano Monti e Francesco Troiani

INDICE

PARTE I: NUCLEARE DA FUSIONE	5
INTRODUZIONE	7
IL RUOLO PRESENTE E FUTURO DEL PROGRAMMA ITALIANO	9
LE ATTIVITÀ IN CORSO IN ENEA	10
LE ATTIVITÀ PROGRAMMATE PER IL FUTURO IN ITALIA	19
LE ATTIVITÀ NEL RESTO DELL'EUROPA E NEL MONDO	21
PARTE II: NUCLEARE DA FISSIONE	29
ATTIVITÀ DI RICERCA E SVILUPPO SULLA FISSIONE: PARTECIPAZIONE AD INIZIATIVE, PROGRAMMI E PROGETTI NAZIONALI, EUROPEI ED INTERNAZIONALI	31
INFRASTRUTTURE DI RICERCA	40
PARTECIPAZIONE ALLE GRANDI INIZIATIVE EUROPEE ED INTERNAZIONALI PER UN NUOVO NUCLEARE SOSTENIBILE	47

Edito dall'ENEA
Unità Comunicazione

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati

Finito di stampare nel mese di aprile 2008

PARTE I: NUCLEARE DA FUSIONE

A cura di Aldo Pizzuto

INTRODUZIONE

La fusione termonucleare è attualmente considerata una delle poche opzioni utili per garantire, in un futuro che dovrà essere caratterizzato da uno sviluppo sostenibile anche in presenza di una crescente richiesta di energia, una fonte di larga scala, sicura e praticamente inesauribile.

La resa energetica della reazione di fusione D-T è infatti molto elevata. L'energia liberata per ogni nucleone in una reazione di fusione è pari a circa 3,5 MeV da confrontare con circa 1 MeV nel caso della fissione e di circa 1 eV nel caso del carbone. Un grammo di miscela D-T equivale a circa 8 tonnellate di petrolio. Le riserve di deuterio e litio, dal quale si produce il trizio che non si trova in natura, sono sufficienti per parecchie migliaia di anni.

La reazione di fusione richiede il raggiungimento di altissime temperature, dell'ordine di 150 milioni di gradi per vincere le forze di repulsione che si esercitano tra i nuclei. La fusione è intrinsecamente sicura perché la reazione non può sostenersi in caso di mal funzionamento. La cenere della reazione è elio gassoso e non vi sono emissioni di gas serra o comunque nocivi per la salute.

Le vie per poter realizzare le condizioni di fusione sono essenzialmente due: il confinamento magnetico e quello inerziale.

Il confinamento magnetico (fig. 1a) consiste nel contenere un gas (D-T) ionizzato (plasma) in un sistema di campi magnetici opportunamente configurati e quindi riscaldarlo alle temperature richieste, anche con il ricorso a iniezione di potenza dall'esterno, dopo aver indotto una corrente elettrica per mezzo di un trasformatore. La configurazione del sistema magnetico più efficiente è quella a ciambella, denominata tokamak.

Il confinamento inerziale (fig. 1b) consiste nel colpire con fasci laser di altissima potenza dei bersagli contenenti una miscela D-T. L'ablazione dello strato esterno origina una fortissima compressione, dell'ordine di centinaia di miliardi di atmosfere, e il riscaldamento fino ai valori necessari della zona interna.

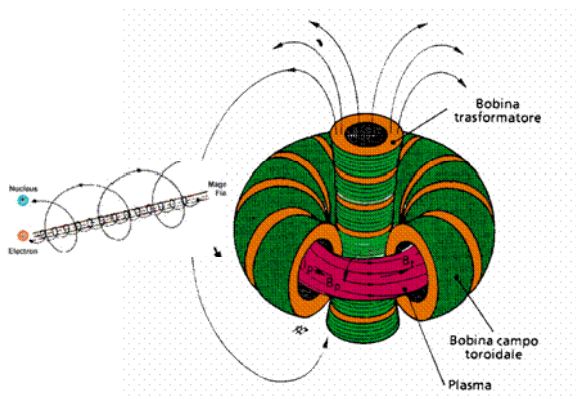


Figura 1a - Schema confinamento magnetico

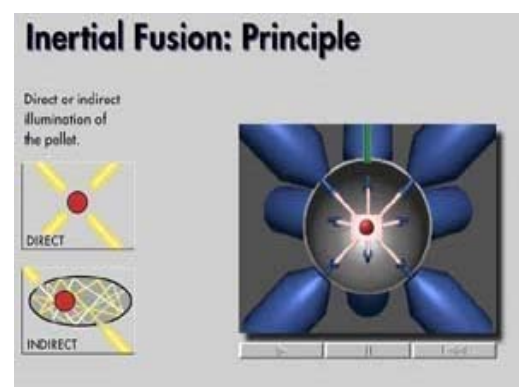


Figura 1b - Schema confinamento inerziale

La ricerca sulla fusione vede oramai impegnati tutti i paesi più tecnologicamente avanzati che hanno deciso di concentrare il loro impegno in un programma comune orientato alla realizzazione del reattore. Da qui la recente decisione di costruire ITER che rappresenta una pietra miliare importantissima e di fatto determina una fortissima accelerazione del programma che prevede di arrivare al reattore commerciale tramite la realizzazione del reattore dimostrativo DEMO, la cui progettazione e costruzione sarà accompagnata da un programma di sviluppo di materiali ad attivazione ridotta (già in corso) e dalla loro

caratterizzazione per mezzo della sorgente intensa di neutroni da 14,1 MeV denominata IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) attualmente in fase di progettazione.

La ricerca sulla fusione in ENEA non si limita al solo confinamento magnetico ma contempla anche quello inerziale. Nonostante la strategia Euratom per la realizzazione del reattore sia concentrata sul confinamento magnetico e a questo filone dedichi praticamente la totalità delle risorse destinate al programma fusione, importanti ricerche sul confinamento inerziale sono condotte a livello di 'Keep in Touch'. Al di fuori del contesto Euratom vi sono, comunque, in costruzione nel mondo impianti di notevole potenza come la NIF (USA) e il Laser MJ (Francia). A questi si è aggiunto aggiunge il progetto HiPER (High Power laser Energy Research) destinato a dimostrare la fattibilità del reattore a fusione inerziale e nel quale l'Italia ha interesse a partecipare tramite le infrastrutture di ricerca.

IL RUOLO PRESENTE E FUTURO DEL PROGRAMMA ITALIANO

Da quanto sopra si può evincere come il programma fusione rappresenta una solida realtà che negli ultimi anni si è sempre di più radicata a livello internazionale allargandosi alla partecipazione dei paesi più tecnologicamente avanzati. Questo dimostra inequivocabilmente che la fusione è considerata una valida alternativa energetica per uno sviluppo sostenibile. La nuova fase iniziata con la costruzione di ITER, che porterà alla realizzazione di DEMO, rende il sistema sempre più innovativo e competitivo per quanto riguarda sia le ricerche di fisica che di tecnologia.

L'Italia è tra i pionieri della ricerca sulla fusione. Le attività sono iniziate già alla fine degli anni '50 ed erano focalizzate sulla sperimentazione di fisica. Le attività si sono poi evolute verso un complesso sistema di fisica, tecnologia e ingegneria che coinvolge ENEA, in qualità di coordinatore nazionale del programma, il CNR, il Consorzio RFX e molte Università e Consorzi Universitari. Grazie ai risultati ottenuti, il posizionamento dell'Italia è di assoluto rilievo in ambito mondiale. Il programma italiano vede impegnati circa 600 tra ricercatori e tecnologi che sono stati capaci di sviluppare competenze di eccellenza che consentono al sistema Italia di competere alla pari col resto della comunità scientifica. I partner italiani del programma fusione hanno di recente elaborato un programma decennale cogliendo le nuove esigenze del programma europeo e mondiale in cui esso è fortemente integrato in modo da continuare a garantire al sistema Italia un ruolo di primo piano nel campo. Il programma si articola in:

- 1) Partecipazione alla costruzione di ITER mediante:
 - qualificata e proporzionata presenza di ricercatori e tecnici italiani nelle organizzazioni preposte alla realizzazione (Iter Legal Entity, Joint Undertaking for ITER);
 - supporto al sistema industriale italiano per la migliore realizzazione delle commesse relative ad ITER;
 - assunzione di specifiche e dirette responsabilità per lo sviluppo e la realizzazione di componenti ad elevato contenuto scientifico (diagnostiche e sistemi di riscaldamento);
 - realizzazione da parte del Consorzio RFX dell'impianto di sviluppo e prove per il sistema di riscaldamento del plasma in ITER, con iniezione di atomi neutri accelerati (NBI).
- 2) Svolgimento delle attività attribuite all'Italia nell'ambito dell'Accordo Broader Approach. In particolare, partecipazione alla realizzazione di IFMIF e del tokamak JT60SA.
- 3) Progetto e costruzione di un nuovo tokamak, FAST (Fusion Advanced Studies Torus), per ricerche di appoggio ad ITER, in collaborazione con altre Associazioni, previa approvazione da parte Euratom.
- 4) Intenso programma sperimentale di ricerca di fisica con il pieno sfruttamento degli esistenti impianti FTU e RFX. Parallelo sviluppo di ricerche teoriche e simulazioni numeriche.
- 5) Intenso programma di ricerca tecnologica, a supporto di ITER, del 'Broader Approach' e per lo sviluppo del successivo reattore dimostrativo DEMO. Anche in questo settore piena utilizzazione dei dispositivi sperimentali esistenti e loro integrazione con eventuali nuovi dispositivi.
- 6) Formazione e training di nuovo personale, anche in vista della partecipazione alle attività internazionali.

Il programma include anche le attività di 'keep in touch' relative alla fusione inerziale che continuano ad essere considerate molto importanti visto il grande interesse che si sta evidenziando tra molti qualificati laboratori di ricerca.

LE ATTIVITÀ IN CORSO IN ENEA

La fusione inerziale

La condizione necessaria per produrre energia da fusione per Confinamento Inerziale si basa su meccanismi indotti dall'energia trasferita da un "driver" (tipicamente un laser) al combustibile (alcuni milligrammi di una miscela di nuclei leggeri).

Esperimenti rilevanti per questo approccio vengono svolti presso Il Centro Ricerche ENEA di Frascati con l'impianto ABC, composto da un laser a Neodimio a due fasci (100 J/fascio in 3 nanosecondi) associato ad un area sperimentale che ospita camera di irraggiamento e diagnostiche. ABC è stato progettato e realizzato dal Gruppo Confinamento Inerziale dell'ENEA. I componenti più importanti sono: il sistema di alimentazione e trigger del laser, i sistemi meccanici degli amplificatori, la camera di irraggiamento e il sistema di posizionamento del bersaglio sotto vuoto.

Nel rispetto di una tradizione ormai riconosciuta dalla comunità scientifica internazionale, un contributo notevole allo sviluppo di conoscenze di base per questo approccio alla fusione viene dato dal Gruppo Confinamento Inerziale dell'ENEA, che di recente, ha svolto studi significativi sugli effetti dell'uniformità (smoothing) di deposizione dell'energia sul bersaglio utilizzando un sistema realizzato su proprio progetto originale. Accoppiando questo sistema alle ottiche di focalizzazione del laser, senza subire deformazioni o danneggiamenti, fogli sottili (spessore qualche micron) sono stati accelerati (con velocità fino a 10^7 cm/s, valori di interesse termonucleare) fino a distanze circa 70 volte lo spessore del foglio in volo. Questo risultato, molto riproducibile, dimostra che, deponendo l'energia con questo metodo, il raggio del guscio contenente il combustibile non deve necessariamente essere mantenuto al di sotto di certi limiti (20-30 volte il suo spessore) fissati, in assenza di smoothing (fig. 2), per evitare che l'insorgere di processi distruttivi dovuti ad instabilità idrodinamiche impediscano l'innesco delle reazioni di fusione.

In parallelo alle attività sperimentali viene svolta attività teorica e di sviluppo di codici numerici per il progetto di bersagli termonucleari e dei relativi metodi di deposizione dell'energia.

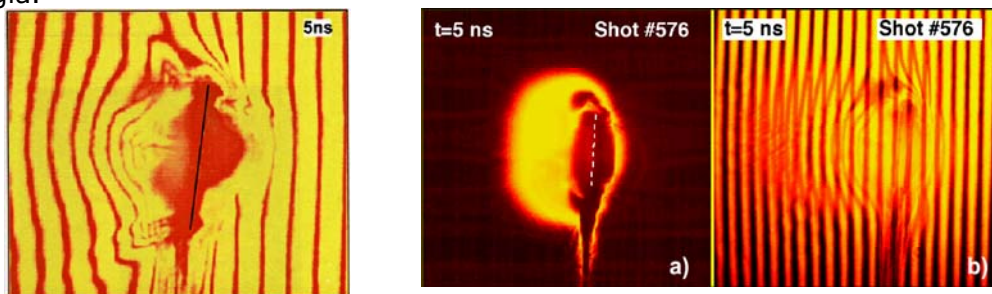


Figura 2 - Interferogramma di un foglio sottile irraggiato senza e con 'smoothing'

Allo stato attuale è oggetto di diffuso interesse un metodo per la fusione inerziale detto ignizione veloce. Molte condizioni richieste in altri casi appaiono rilassate in questo metodo che sembra promettente ma presenta una difficoltà per ciò che riguarda la deposizione dell'energia per innescare le reazioni nucleari sul combustibile compresso che, per il momento, non si sa come far raggiungere dalla luce laser a causa dell'alta densità della materia circostante prodotta durante la compressione.

Il metodo di iniezione di entropia proposto e studiato dal Gruppo dell'ENEA di Frascati rappresenta una soluzione alternativa a questo problema (fig. 3).

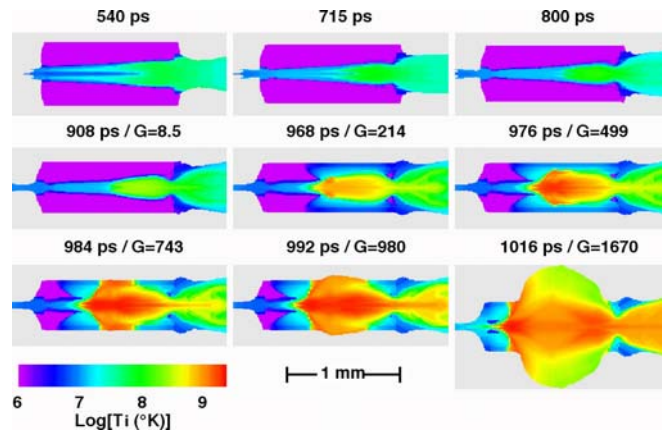


Figura 3 – Simulazione idrodinamica dell'ignizione di un cilindro di DT con il metodo di iniezione di entropia. Un fascio (20kJ -100 picosecondi) di ioni di Deuterio da 6 MeV viene iniettato lungo l'asse del cilindro per aumentare l'entropia della zona destinata a diventare quella di innesco delle reazioni nucleari

La fusione magnetica

Il contributo dell'Italia al progresso della fusione magnetica è stato tra i più importanti in Europa. Gli elementi cardine del programma italiano sono la sperimentazione di fisica svolta a Frascati, con FT prima e con FTU poi, e a Padova con RFX ed il programma tecnologico nei campi più strategici.

Il programma di fisica a Frascati

FTU è un tokamak ad alto campo magnetico in operazione presso il Centro ENEA di Frascati, che studia il comportamento di plasmi densi riscaldati con potenza a radiofrequenza (fig. 4). La sperimentazione di FTU è condotta dall'ENEA in collaborazione col CNR, che cura lo studio della radiofrequenza tipo ECRH (ciclotronica elettronica).



Figura 4 - FTU: La macchina; la camera del plasma e particolare del sistema di trasmissione della radiofrequenza

FTU ha fornito importanti contributi e ha riportato interessanti risultati, in particolare su:

- plasmi con presenza di barriere al trasporto di calore per limitare le perdite, tramite l'uso di potenza ECRH, con l'ottenimento di alte temperature (temperatura centrale 14 keV) ad alta densità degli elettroni (densità media $n = 0,4 \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$). Tramite l'uso combinato di potenza LH (frequenza ibrida inferiore) e EC (frequenza ciclotronica elettronica) sono state ottenute barriere interne molto ampie, localizzate a circa metà del raggio della sezione di plasma, con densità più alte rispetto ad altre macchine (fino a $0,9-1,2 \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$);
- alti valori della densità centrale degli elettroni ($\sim 5 \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$) e valori del triplo prodotto (densità n_i , Temperatura T_i , tempo di confinamento τ_E) pari a $n_i T_i \tau_E = 0,8 \cdot 10^{20} \text{m}^{-3} \text{keV} \cdot \text{s}$ (densità e temperature degli ioni) con l'iniezione di pellet multipli di deuterio;
- una corrente di plasma pari a $I = 0,5 \text{ MA}$ generata al 100% con potenza LH con densità pari a $0,8 \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$, e al 75% con densità pari a $1,2 \cdot 10^{20} \text{m}^{-3}$;
- il controllo e stabilizzazione dei modi magneto-idrodinamici, eliminazione delle instabilità distruttive tramite iniezione di potenza EC;
- indicazioni di migliore isolamento termico della parte centrale del plasma e della presenza di barriere interne al trasporto del calore con potenza IBW (Ion Bernstein Wave);
- plasmi particolarmente puri con tecniche di trattamento della prima parete (boronizzazione della parete di molibdeno) e, più recentemente, con l'uso di limiter a litio liquido. Sono stati osservati un aumento della temperatura di bordo e la quasi assenza di modi magneto-idrodinamici, che sembrano dar luogo a regimi caratterizzati da valori molto alti della densità di plasma.

Inoltre, l'analisi dei modi magneto-idrodinamici (MHD) dei plasmi di FTU, innescati dagli elettroni veloci accelerati tramite l'interazione con le onde LH ("electron fishbones") ha dato risultati rilevanti per la stabilità dei plasmi termonucleari. Gli studi teorici su questi modi hanno permesso di interpretare i dati sperimentali e di riprodurli nelle simulazioni numeriche. Questi modi MHD possono essere utilizzati per studiare il trasporto delle particelle veloci in regimi reattistici.

In FTU sono stati osservati per la prima volta i modi cosiddetti "β induced Alfvén Eigenmodes", eccitati in presenza di grandi isole magnetiche, e studiati con l'elaborazione di modelli teorici le cui predizioni sono in accordo con i dati sperimentali.

Recentemente, su FTU è stata installata e provata con successo una nuova antenna per LH, basata su un concetto (Passive Active Multijunctions) che può essere utilizzato in ITER.

Il programma tecnologico

I progressi registrati finora non sarebbero stati possibili se non si fosse avviato, agli inizi degli anni '90, un imponente piano di sviluppo tecnologico/ingegneristico. L'Italia ha contribuito anche nel settore delle tecnologie a rendere possibile la costruzione di ITER e a sviluppare materiali strutturali e funzionali avanzati da utilizzare nei futuri reattori.

I campi principali di sviluppo sono:

- Superconduttività;
- Componenti per alti flussi termici e relativi test a fatica;
- Manutenzione remota del divertore;
- Le tecnologie del mantello fertile;
- I materiali;

- Il Ciclo del Combustibile;
- I dati nucleari;
- I sistemi di riscaldamento: radiofrequenza ed iniettori di neutri;
- Sicurezza ed impatto ambientale;
- Controlli;
- Sistemi di ispezione e metrologia basati con Radar Ottico.

La Superconduttività

Il Gruppo Superconduttività dell'ENEA è da più di venti anni coinvolto nelle attività di ricerca e sviluppo per la realizzazione dei magneti per le macchine a confinamento magnetico. Ha sempre avuto e tuttora detiene un ruolo leader per la progettazione, realizzazione e test dei conduttori superconduttivi per la costruzione dei magneti di ITER.

È infatti sotto la supervisione dell'ENEA che sono state costruite e testate con successo le prime bobine modello in scala reale di ITER: il Central Solenoid Model Coil e la Toroidal Field Model Coil. È sempre da attribuirsi all'ENEA la realizzazione del conduttore per le bobine prototipo di ITER che detiene il record mondiale di corrente (80.000 A) in un avvolgimento magnetico. Recentemente, l'ottimizzazione di tale conduttore ha portato alla realizzazione di un campione *full-size*, con il più elevato margine di temperatura operativa mai raggiunto (fig. 5).

In un'ottica a più lungo periodo, sono in fase di studio avvolgimenti in superconduttori ad alta temperatura critica di transizione di ultima generazione (coated conductors) come l'YBCO, da impiegarsi in DEMO.



Figura 5 - Conduttore per le bobine prototipo di ITER

Lo sviluppo di tali materiali ha avuto significative ricadute non solo nel campo della fusione, ma anche in settori di applicazione più comuni: immagazzinamento di energia, limitatori di corrente, cavi di potenza ecc.. Attualmente l'ENEA sta progettando un generatore eolico completamente superconduttivo da utilizzare per lo sfruttamento di energie rinnovabili, con il vantaggio di avere, a parità di potenza installata, una notevole riduzione di peso e un miglioramento globale del rendimento pari a circa il 30% (fig. 6).

Grazie alle elevate competenze nel campo della qualificazione dei materiali superconduttivi e della criogenia in genere, il gruppo Superconduttività ENEA ha ottenuto delicati incarichi di supporto tecnologico nella realizzazione di grandi impianti come il Large Hadron Collider del CERN, per il quale ha collaudato sia i diodi di *by-pass* per la protezione dei magneti superconduttivi dell'acceleratore, sia i discendenti di corrente per la loro alimentazione, realizzati utilizzando superconduttori ad alta temperatura critica di transizione (fig. 7).



Figura 6 - Schema generatore eolico completamente superconduttivo

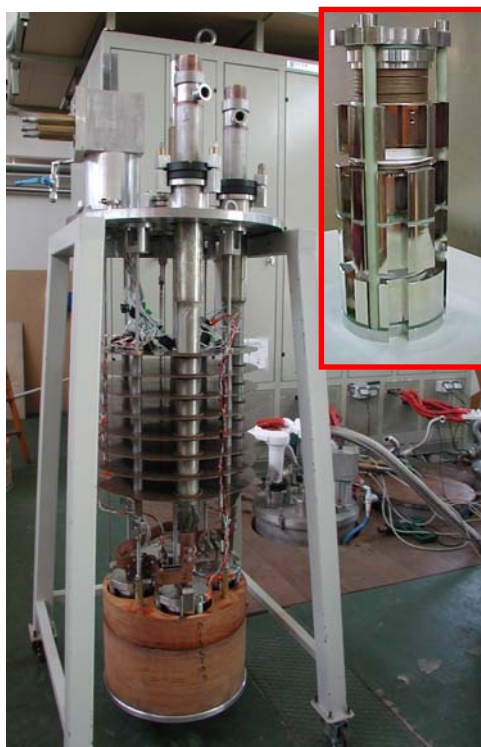


Figura 7 - Diodi di protezione LHC

Componenti affacciati al plasma

Il divertore, il componente affacciato al plasma in cui viene convogliato e smaltito il calore emesso dal plasma sotto forma di particelle energetiche, deve smaltire un elevato flusso di calore ed essere ricoperto di materiali compatibili col plasma. Il calore depositato è dell'ordine di 10 MW/m^2 in regime stazionario e raggiunge valori fino a 20 MW/m^2 in fasi transienti. La realizzazione di un componente, rivestito di materiale compatibile col plasma, capace di resistere ai carichi termici suddetti ha richiesto un complesso sviluppo tecnologico durato molti anni. Per qualificare le tecnologie sviluppate sono stati realizzati prototipi in scala reale, basati sull'impiego di tubi in lega di rame (scambiatori di calore) protetti da piastre di tungsteno e CFC (materiali sacrificali resistenti alle alte temperature). Per garantire un buon contatto termico tra i materiali di protezione e il tubo stesso sono state sviluppate le tecnologie per il trattamento superficiale del tungsteno e della CFC e i processi di giunzione per diffusione. Parti delle piastre sono state provate per migliaia di cicli ai valori di carico termico massimo che si verificano in ITER. La tecnologia sviluppata è tra le migliori al mondo. In figura 8 è illustrato un mock up di divertore realizzato in ENEA che ha superato brillantemente i test di fatica termica, fino a 25 MW/m^2 , e ha permesso per la prima volta in assoluto di fare test di crisi termica in un componente ricoperto con materiale di rivestimento (fino a 35 MW/m^2).

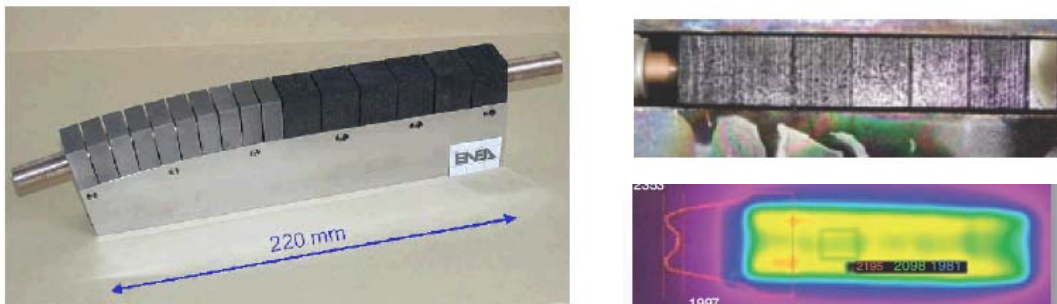


Figura 8 - Mock up del componente per alti flussi termici per il divertore di ITER testato a fatica termica fino a 25 MW/m^2 e fino a 35 MW/m^2 per test di crisi termica

Manutenzione remota

Con le piattaforme sperimentali DTP (Divertor Test Platform) e DRP (Divertor Refurbishment Platform) del Centro ENEA del Brasimone (fig. 9) sono state sviluppate e provate, rispettivamente, le procedure di montaggio e smontaggio del divertore e la sostituzione dei componenti ad alto flusso termico di ITER.



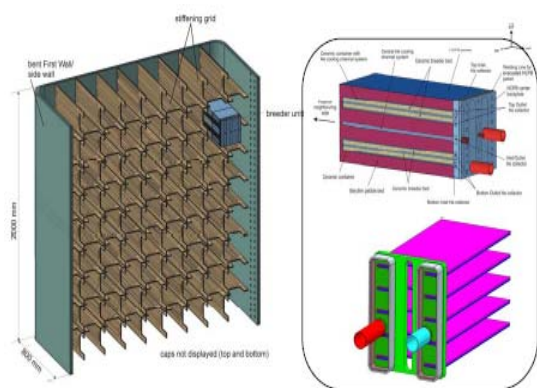
Figura 9 - Modello scala 1:1 del divertore di ITER e operazioni di RH presso il Centro del Brasimone

Nel Centro di Frascati, oltre a contribuire alla attività del Brasimone con la realizzazione del sistema di controllo, è stato sviluppato un sistema innovativo di visione e metrologia laser ad alta definizione che è diventato il sistema di riferimento per ITER.

Moduli di mantello fertile (Breeder Blanket)

Altro componente molto importante, il primo di tipo nucleare sviluppato per la fusione, è il modulo del mantello fertile da testare in ITER. La funzione del mantello fertile è triplice: assorbire l'energia dei neutroni; produrre il trizio sfruttando la reazione ${}^6\text{Li}(n,T\alpha)$; schermare le strutture esterne. L'ENEA è fortemente impegnato in questo campo grazie al know how acquisito sia nella tecnologia dei metalli liquidi che in quella dei sistemi raffreddati ad elio. I due concetti di riferimento Europei sono basati uno sul 'breeder' solido (composti ceramici di litio, Li_2SiO_4) e uno a breeder liquido (leghe eutettiche di litio e piombo, allo stato liquido).

In figura 10 è riportato lo schema di tali moduli, ambedue raffreddati con elio gassoso ad alta temperatura e pressione. Queste tecnologie hanno una forte analogia con quelle relative al programma Generation IV della fissione; si potrebbero, pertanto, attivare sinergie tra i due programmi.



a)



b)



c)



d)

Figura 10 - Test Blanket Modules: Schema a), Mock up b), Impianti di prova a elio c) e metallo liquido d)

I materiali

La fattibilità della fusione in termini economici e sociali dipende dalla disponibilità di materiali idonei con i quali realizzare i componenti chiave del reattore.

Da un lato, i materiali utilizzati devono presentare caratteristiche di bassa attivazione indotta da neutroni e devono presentare caratteristiche di resistenza per tempi sufficientemente lunghi (almeno circa 5 anni) sotto flussi neutronici tipici del reattore.

I neutroni prodotti nelle reazioni D-T interagendo con i materiali provocano dislocazioni dei nuclei dai siti reticolari e trasmutazioni che modificano la struttura microscopica dei materiali stessi. Tali modifiche originano una degradazione delle proprietà fisiche e meccaniche, quali conducibilità termica ed elettrica, indurimento, riduzione della duttilità, degradazione della resistenza alla frattura ecc..

I livelli di flusso neutronico in DEMO, e più a lunga scadenza nel reattore, richiedono che i materiali impiegati mantengano buone caratteristiche fino a 80 dpa (150 dpa nel reattore) (1 dpa = 1 displacement per atom, equivale a circa 10^{25} n (14 MeV)/m² in Fe). Inoltre, debbono poter essere impiegati ad alte temperature di lavoro in modo da raggiungere buoni valori dell'efficienza complessiva dell'impianto.

L'ENEA sta contribuendo a sviluppare tecnologie per i processi fabbricativi di materiali ceramici compositi come il SiC_f/SiC. In figura 11 sono riportati alcuni esempi di manufatti realizzati per migliorare le caratteristiche del SiC_f/SiC in termini di proprietà fisiche, porosità e resistenza delle giunzioni.



Figura 11 - Manufatti con caratteristiche fisiche e meccaniche migliorate

Neutronica e dati nucleari

I neutroni prodotti dalla fissione hanno una energia di molto superiore a quelli prodotti dalla fusione. Si è posto quindi il problema della caratterizzazione dei materiali sotto l'effetto di neutroni così energetici.

Per ovviare, almeno in parte, alla mancanza di sorgenti intense di neutroni per l'irraggiamento di materiali e componenti, l'ENEA si è dotato fin dall'inizio degli anni '90 di una sorgente di neutroni da 14 MeV, il Frascati Neutron Generator (FNG, intensità 10^{11} n/s) (fig. 12). FNG ha permesso di effettuare la caratterizzazione nucleare (sezioni d'urto, attivazione, calore di decadimento) di materiali e componenti.

I numerosi esperimenti condotti con FNG hanno permesso di validare gli aspetti nucleari del progetto di ITER, e le librerie europee e internazionali di dati nucleari per la fusione.

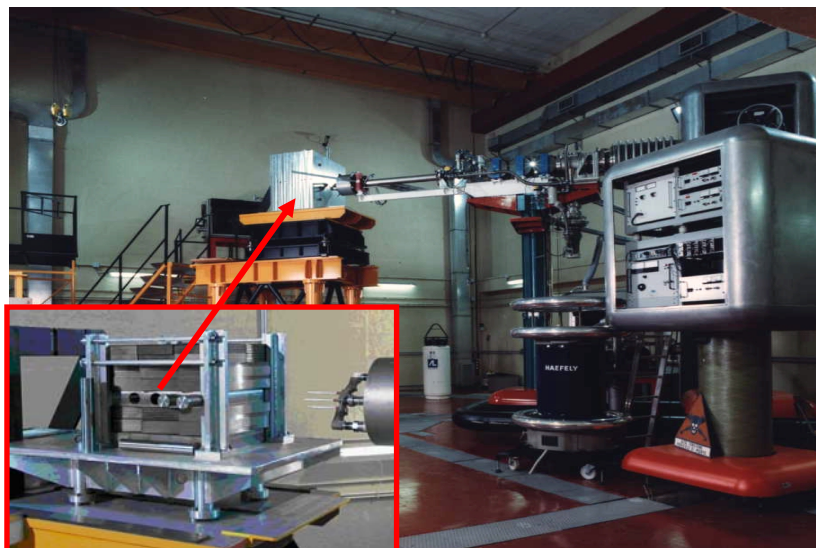


Figura 12 - La sorgente di neutroni da 14 MeV (Centro ENEA di Frascati)

Ciclo del combustibile

I processi di trattamento dei gas esausti è una delle peculiarità degli impianti a fusione. Il trizio deve essere separato dagli altri gas sia per problemi di economicità sia per problemi di sicurezza. L'ENEA ha sviluppato reattori catalitici a membrana capaci di separare l'idrogeno con efficienze prossime al 100%. Durante questi sviluppi si sono brevettati sia i processi fabbricativi dei reattori sia le membrane di PdAg che ne costituiscono l'elemento più importante. Le tecnologie sviluppate in ENEA sono utilizzate nei sistemi progettati per ITER (fig. 13). Queste tecnologie hanno una importante sinergia con quelli per la produzione di idrogeno e per l'alimentazione delle celle a combustibile.



Figura 13 - Elemento di reattore catalitico a membrana

Sicurezza e Impatto Ambientale

Anche dal punto di vista delle analisi di sicurezza i reattori a fusione presentano delle sostanziali differenze rispetto a quelli a fissione. È stato quindi necessario dotarsi di procedure e criteri di valutazione originali per analizzare gli impianti a fusione dal punto di vista della safety e quindi del licencing. Un grosso contributo è stato dato dall'ENEA alla definizione dei requisiti in termini di sicurezza di ITER e alla preparazione della documentazione di licencing di Cadarache. Questa attività è stata possibile grazie alla capacità sistemica che un così ampio spettro di attività ha consentito di acquisire.

LE ATTIVITÀ PROGRAMMATE PER IL FUTURO IN ITALIA

Il sistema Italia sarà impegnato più o meno intensamente in quasi tutti i campi ritenuti più strategici nel programma futuro. In particolare, per i sistemi di riscaldamento il contributo italiano attualmente prevede la partecipazione alla R&D e la realizzazione di due dei tre sistemi di riscaldamento previsti per l'inizio delle operazioni di ITER, i fasci di atomi neutri (basato su iniettori di neutri a partire da ioni negativi, NNBI) e la radiofrequenza tipo ECRH (Electron Cyclotron Radiofrequency Heating).

La proposta principale rimane quella di una nuova macchina denominata FAST che potrebbe rappresentare per l'Europa uno strumento capace di accelerare la sperimentazione di ITER, contribuire allo sviluppo della fisica e di alcune tecnologie necessarie per la progettazione di DEMO e formare le future generazioni di scienziati e tecnologi. L'Italia è fortemente impegnata nel perseguire questo obiettivo.

FAST

FAST (fig. 14) dovrebbe operare a partire dagli ultimi anni della costruzione di ITER. Lo scopo è quello di preparare gli scenari operativi di ITER simulando l'effetto delle particelle alfa mediante ioni accelerati dai sistemi di riscaldamento ausiliario. In questo modo sarà possibile operare in condizioni rilevanti per un 'burning plasma' affrontando tutti i problemi relativi alle operazioni e al controllo di un plasma che brucia senza ricorrere all'uso del trizio.

L'uso di soluzioni tecnologiche innovative per i componenti ad alto flusso termico, sviluppate in ENEA, e le scariche di lunga durata consentono di provare componenti in condizioni rilevanti per il funzionamento di ITER e DEMO.

La simulazione di un plasma che brucia nelle condizioni di interesse reattoristico è un aspetto altamente innovativo del progetto. Ad oggi i parametri che caratterizzano questi regimi sono stati studiati singolarmente.

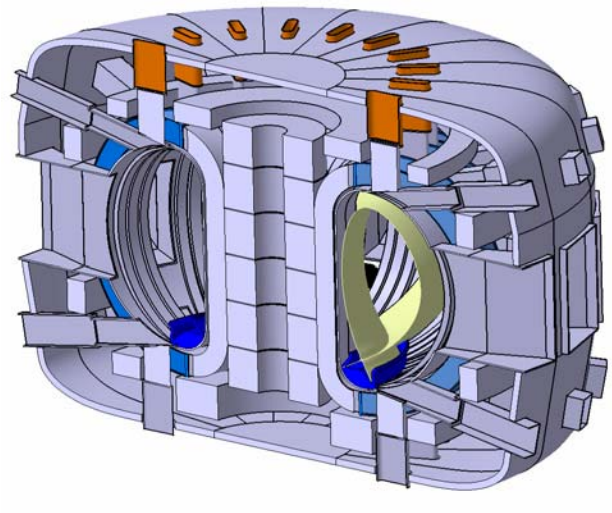


Figura 14 - FAST

Risulterebbe perciò, data l'alta non linearità dei fenomeni associati, un passo molto importante verso la piena comprensione del comportamento del plasma e contribuirebbe a rendere molto più proficua la sperimentazione di ITER. Inoltre, FAST consentirà di sviluppare nuove tecnologie avanzate per il reattore a fusione, quali quelle relative allo smaltimento degli altissimi flussi termici originati dal plasma, anche con l'utilizzo di soluzioni fortemente innovative come i metalli liquidi.

Fast richiede un investimento complessivo di circa 320 M€ in sei-sette anni. Sarebbe una facility che non solo concentra l'impegno di tutti gli Enti e le Università italiani impegnati nel programma fusione ma è anche aperta alla comunità scientifica internazionale che dovrebbe contribuire alla sua progettazione e costruzione prima ed alla sua sperimentazione poi.

Facility NNBI

Il Consorzio RFX, in cui è entrato a far parte anche INFN, dovrà realizzare la facility NNBI - Negative Neutral Ion Beam Facility (fig. 15) per il test integrato dell'iniettore di fasci neutri per ITER. Nella facility verranno provati in maniera integrata componenti quali la nuova sorgente a radiofrequenza di ioni negativi (sviluppata in Germania) e l'acceleratore di concezione europea (sviluppato in Francia). La facility sarà condotta con la collaborazione dei laboratori europei.

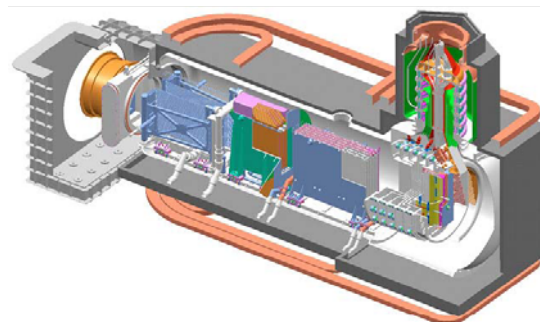


Figura 15 - Negative Neutral Ion Beam Facility.

Sistemi ECRH

Per la realizzazione di una parte del sistema di riscaldamento ECRH di ITER si sta formando un Consorzio di Associazioni tra CRPP-Losanna, FZK, FOM ed ENEA. La partecipazione italiana riguarda la supervisione alla realizzazione degli alimentatori e la progettazione dell'antenna (CNR Milano).

Sistemi di ispezione

Per quanto riguarda il sistema di ispezione con radar ottico, l'ENEA ha sviluppato il sistema scelto per essere installato in ITER e quindi dovrebbe fornire ad ITER il sistema di visione della camera interna, (indicato con IVVS; In Vessel Viewing System). IVVS (fig. 16) è stato sviluppato per effettuare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria della macchina in condizioni ambientali incompatibili non solo con la presenza umana ma anche con il corretto funzionamento delle tecnologie elettroniche disponibili nel medio termine.



Figura 16 - Il sistema visivo e metrologico a radar ottico IVVIS

Diagnostiche

Anche lo sviluppo delle diagnostiche di ITER richiede un ulteriore sforzo tecnologico. In particolare l'ENEA ha sviluppato la diagnostica per neutroni denominata 'Radial Neutron Camera', un sistema di misura con risoluzione spaziale e temporale dell'emissione di neutroni dal plasma, e quindi della potenza nucleare. Questa diagnostica utilizzerà tra l'altro dei rivelatori sviluppati in collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata basati su diamanti monocristallini. Questi sensori sono stati già sperimentati con successo su FNG e al JET.

LE ATTIVITÀ NEL RESTO DELL'EUROPA E NEL MONDO

I progressi scientifici fin qui registrati sono stati possibili grazie alla sperimentazione con le macchine costruite in tutto il mondo negli ultimi decenni. Tra queste, quella che attualmente è il tokamak più grande e importante non solo in Europa ma anche nel resto del mondo: il JET (Joint European Torus).

JET (fig. 17) è una impresa europea localizzata a Culham in Inghilterra. Ha iniziato le operazioni nel 1983 ed è attrezzata per l'uso del trizio. JET ha raggiunto il record di produzione di potenza da fusione producendo 16 MW, avvicinandosi molto al pareggio tra energia spesa e energia prodotta, il cosiddetto 'breakeven'. JET ha inoltre contribuito a studiare i regimi di plasma con confinamento dell'energia migliorato che sono quelli rilevanti per ITER.

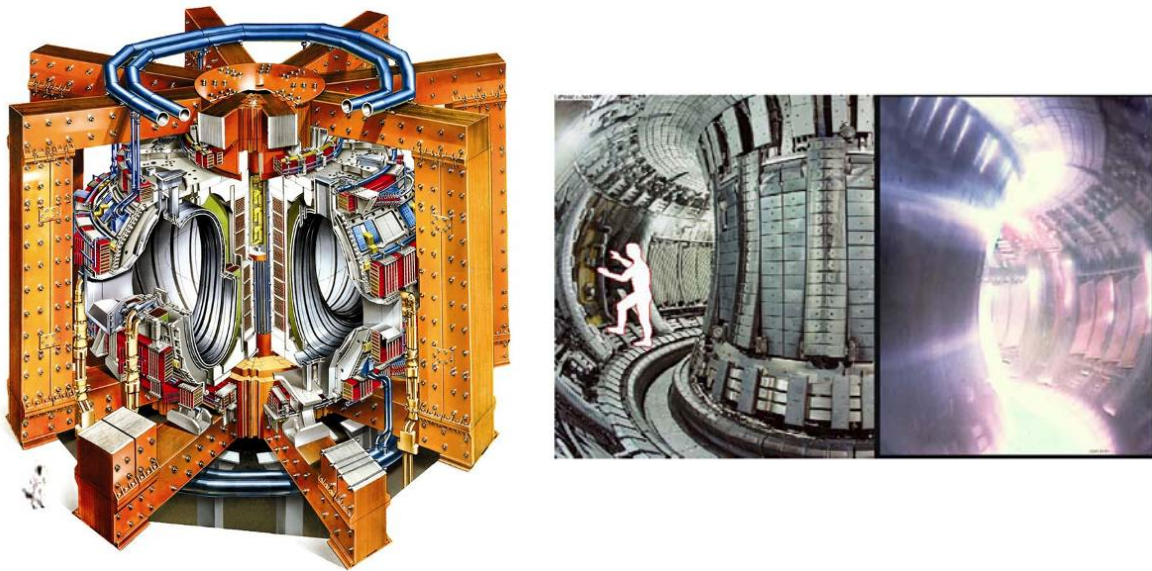


Figura 17 - JET: Vista assonometria (a sinistra) e Interno camera sperimentale con e senza plasma (a destra)

Altre macchine europee hanno contribuito molto allo sviluppo delle conoscenze di fisica: ASDEX-UP (Germania) e Tore Supra (Francia).

Accanto alla linea tokamak vi sono altri sistemi per realizzare il confinamento magnetico. I principali sono le macchine del tipo Reverse Field Pinch come RFX di Padova e gli stellarator, configurazioni magnetiche non assialsimmetriche in cui è possibile realizzare plasmi senza correnti elettriche nette col vantaggio di poter meglio controllare il plasma e di non avere eventi distruttivi legati alla corrente. Le prestazioni attuali sono comunque molto più basse di quelle dei tokamak.

Come già detto, la decisione di costruire ITER ha di fatto segnato l'inizio di una nuova era per la fusione. ITER, che verrà costruito a Cadarache (Francia), concentra lo sforzo, oltre che dell'Europa che ha la maggior parte della responsabilità, di altri sei partner tra i paesi tecnologicamente più avanzati: Giappone, Federazione Russa, Corea del Sud, India, Cina e Stati Uniti.

Il programma fusione, che sin dalle sue origini ha avuto una dimensione europea, si è così allargato su scala mondiale e questo ha favorito altre iniziative a supporto destinate ad accelerare la soluzione dei problemi ancora aperti.

Gli elementi principali del programma europeo, di cui quello italiano è parte integrante, sono quindi molteplici e destinati a compendiare in modo sinergico la sperimentazione di ITER. Essi sono:

- La costruzione e la sperimentazione di ITER;
- Il programma di accompagnamento in fisica e tecnologia destinato a ITER e DEMO;
- Il 'Broader Approach', accordo tra Europa e Giappone a latere dell'accordo su ITER;
- IFMIF e lo sviluppo dei materiali;
- DEMO;
- Attività di training.

Inoltre vi sono ulteriori elementi identificati nel SET-Plan per la fusione che suggerisce azioni per accelerare ulteriormente il programma nell'ipotesi che nei prossimi Programmi Quadro le risorse investite nella ricerca siano sensibilmente incrementate. Tra questi da segnalare la progettazione di DEMO, con il coinvolgimento dell'industria, anticipata rispetto al piano di riferimento.

Gli elementi del programma sono destinati a colmare il gap di fisica e tecnologia che ancora ci separano dal reattore. I problemi da risolvere e gli aspetti da ottimizzare sono stati raggruppati in sette 'mission' che riguardano: studio dei regimi auto organizzati dei plasmi che 'bruciano'; ottimizzazione delle operazioni delle macchine per incrementarne l'affidabilità; lo studio e l'ottimizzazione dei processi di interazione plasma-parete e relativi materiali; lo studio degli scenari 'steady state'; lo sviluppo di modelli integrati per simulare i plasmi reattoristici; sviluppo e caratterizzazione materiali strutturali e funzionali per DEMO.

Per affrontare al meglio la nuova fase apertasi con l'inizio della costruzione di ITER sarà anche necessario focalizzare le risorse sia umane che finanziarie su quelle facility, oggi in operazione, che ancorché oramai piuttosto vetuste, possono ancora dare dei contributi significativi al programma.

In questo contesto FAST si propone come elemento qualificante del programma di accompagnamento di fisica e tecnologia per ITER e DEMO.

L'accordo per la costruzione e sperimentazione di ITER si estende su un arco temporale di 35 anni.

ITER

ITER (fig. 18) è destinato a dimostrare la possibilità di realizzare un guadagno di energia pari a $Q=10$ producendo 500 MW di potenza di fusione (400 MW di neutroni e 100 MW di particelle alfa) per 400 s circa con funzionamento di tipo induttivo (corrente generata e mantenuta dal trasformatore) e un guadagno pari a $Q=5$ producendo 250 MW di potenza di fusione per un'ora (funzionamento non induttivo nella fase di mantenimento della corrente che viene sostenuta mediante campi elettrici generati da radiofrequenza). ITER è una macchina di dimensioni senza precedenti come si può apprezzare dalla dimensione della persona alla base della macchina nella figura 3: 24.000 tonnellate di alta tecnologia. La sua costruzione ha richiesto dieci anni di attività di R&S per sviluppare le tecnologie e l'ingegneria necessarie.

ITER, oltre a dimostrare la possibilità di portare e mantenere il plasma nelle condizioni fisiche necessarie per l'ottenimento dei guadagni su citati, dovrà:

- dimostrare la possibilità di costruire e operare magneti superconduttori di dimensioni e prestazioni senza precedenti;

- smaltire gli elevati flussi termici che il plasma rilascia alle pareti (15-20 MW/m²);
- controllare le instabilità del plasma;
- dimostrare la possibilità di effettuare le operazioni di manutenzione e di ispezione di un tokamak per mezzo di sistemi remotizzati;
- testare i moduli di mantello fertile di DEMO.

L'Italia ha contribuito in modo sostanziale allo sviluppo di queste tecnologie specie nel campo dei magneti superconduttori, i componenti ad alto flusso termico, i controlli, la manutenzione remota e l'ispezione visiva tramite radar ottico, le tecnologie per il ciclo del combustibile e i dati nucleari. Un contributo essenziale è stato fornito anche per gli aspetti di sicurezza ed impatto ambientale.

ITER sarà, inoltre, un test bed per i moduli di breeder blanket di DEMO (il componente dove viene assorbita l'energia dei neutroni e prodotto il trizio) progettati dai vari partner.

ITER richiede investimenti per circa 5 miliardi di euro per la costruzione ed altrettanti per la sperimentazione. La costruzione durerà 8-9 anni e la sperimentazione almeno 20 anni.

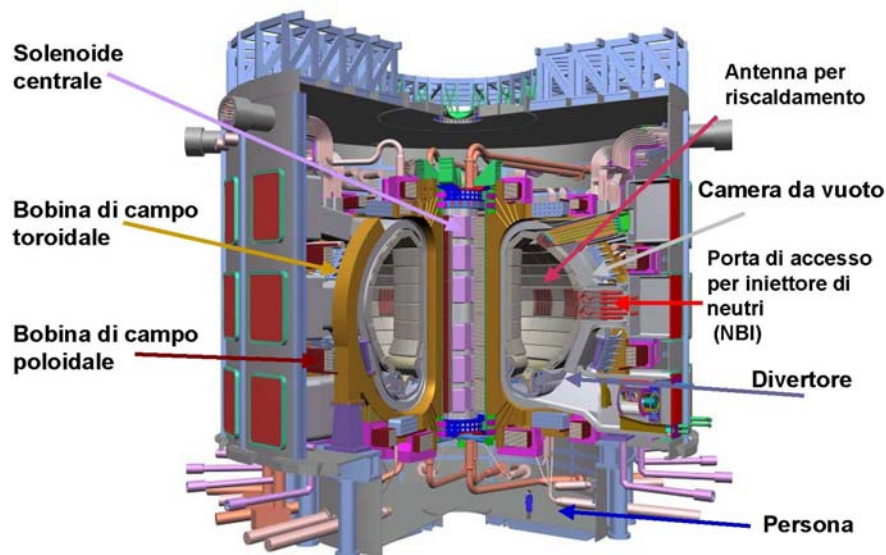


Figura 18 - ITER

Il Broader Approach

Il Broader Approach (BA) consiste in una serie di attività che sono parte integrante del programma che porterà alla costruzione e sperimentazione di ITER. Il BA è il risultato della negoziazione tra EU e Giappone sulla decisione del sito di ITER. Il BA include:

- la costruzione di una macchina tokamak denominata JT-60 SA (satellite tokamak);
- la realizzazione di una facility per testare l'acceleratore di IFMIF nell'ambito della fase EVEDA (Engineering Validation Engineering Development Activity);
- la creazione del gruppo IFERC (International Fusion Research Center) che include attività per DEMO e un centro di supercalcolo.

Il valore complessivo del BA è di circa 660 M€ di cui la metà a carico Europeo. Il contributo europeo è assicurato da contributi volontari di alcuni paesi e precisamente: Francia, Italia, Spagna, Germania e la Svizzera.

IFMIF e i materiali

Lo sviluppo di materiali idonei all'impiego in DEMO e nei reattori commerciali richiede la disponibilità di materiali idonei, cioè con caratteristiche di bassa attivazione e in grado di operare per tempi sufficientemente lunghi nei flussi neutronici tipici del reattore prima di essere sostituiti. Per lo studio degli effetti da irraggiamento neutronico nei materiali in fase di sviluppo saranno utilizzati, nella misura del possibile, gli impianti a fissione.

Tuttavia l'analisi degli effetti dovuti alla presenza di una maggiore percentuale di neutroni veloci nello spettro della fusione rispetto a quello della fissione, richiederà delle prove in un nuovo impianto dove si potrà simulare l'effettivo spettro di fusione. A tal fine si è progettata una sorgente intensa di neutroni ($> 10^{17}$ n/s), chiamata IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) che produrrà lo spettro neutronico richiesto, confrontabile con quello di un reattore a fusione, in un volume sufficiente per simulare il danno sui materiali dei componenti più vicini al plasma. La differenza principale rispetto al danneggiamento dei neutroni da fissione consiste nella elevata produzione di elio e idrogeno che può raggiungere valori rispettivamente di 10 appm /dpa e 45 appm/dpa.

Ciò è ottenuto attraverso il bombardamento di un bersaglio di litio metallico in movimento con deuteroni ad alta energia (40 MeV) accelerati in due acceleratori lineari, con 125 mA di corrente ciascuno.

Nel volume a più alto flusso di neutroni davanti al bersaglio di litio, è possibile irraggiare materiali fino a 20–50 dpa/anno, con la possibilità quindi di ottenere dati utili per l'impiego di tali materiali in un reattore di potenza (DEMO) nell'arco di cinque anni.

In IFMIF (il cui schema di funzionamento è in fig. 19) saranno provati sia i materiali per DEMO (acciai ad attivazione ridotta, RAMF) sia i materiali ceramici a più lungo termine (SiC_f/SiC). Il completamento del progetto dell'impianto e la realizzazione dei prototipi dei componenti principali sono previsti entro 6 anni, nel quadro dell'accordo "broader approach" fra UE e Giappone. Quindi l'impianto IFMIF potrebbe essere costruito entro i prossimi 10-12 anni, in Parallelo con la realizzazione di ITER.

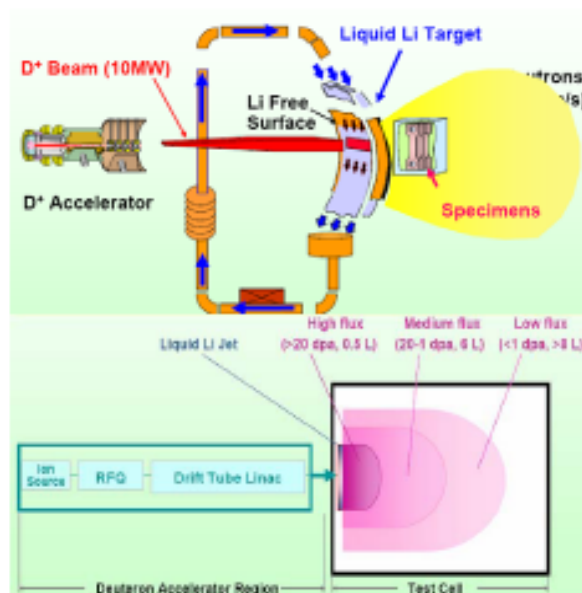


Figura 19 - Schema facility IFMI

DEMO

DEMO (il cui schema è riportato in fig. 20) dovrà dimostrare la possibilità di produrre energia da fusione. DEMO verrà progettato sulla base degli studi fatti nel recente passato sui Power Plant Conceptual Studies (PPCS) che hanno portato alla identificazione di cinque progetti, alcuni dei quali richiedono tecnologie più alla portata, altri orientati verso soluzioni più avanzate che ancora richiedono sviluppi significativi.

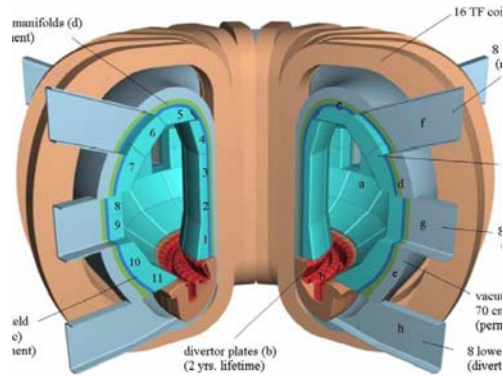


Figura 20 - DEMO

I concetti a più breve termine sono basati sull'utilizzo di materiali strutturali tipo acciai ferritici-martensitici e sono previsti lavorare a temperature attorno ai 450 °C. I concetti più avanzati utilizzano acciai ODS (induriti per dispersione di ossidi) e anche di materiale ceramico composito (SiC_f/SiC). Questi ultimi possono lavorare a temperature notevolmente più elevate ed essere perciò utilizzabili anche per altri scopi come la produzione di idrogeno. I parametri di questi impianti sono riportati in tabella I.

Tabella I - Parametri dei PPCS

Parameter	Model A	Model AB	Model B	Model C	Model D
Fusion power (GW)	5,00	4,29	3,60	3,41	2,53
Elongation (95% flux)	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9
Major radius (m)	9,55	9,56	8,6	7,5	6,1
TF on axis (T)	7,0	6,7	6,9	6,0	5,6
Plasma current (MA)	30,5	30,0	28,0	20,1	14,1
Q	20	16,5	13,5	30	35
Average neutron wall load (MWm ⁻²)	2,2	1,8	2,0	2,2	2,4
Divertor peak load (MWm ⁻²)	15	10	10	10	5
Fusion power (MW)	5000	4290	3600	3410	2530
Pumping power (MW)	110	400	375	87	12
Heating power (MW)	246	257	270	112	71
Gross electric power (MW)	2066	2385	2157	1696	1640
Net electric power (MW)	1546	1500	1332	1449	1527
Plant efficiency	0,31/0,33	0,35	0,36	0,42	0,6

Gli studi relative ai PPCS hanno dimostrato la potenziale economicità di questi impianti e soprattutto la loro sicurezza. Come si nota dai grafici, il costo del kWh da fusione può risultare competitivo anche paragonato ai costi delle fonti attualmente utilizzate e varia dai 3 ai 7 centesimi di euro. Per quanto riguarda gli aspetti di sicurezza, l'assenza totale di scorie a lunghissima vita e la possibilità di riutilizzare i materiali dopo circa 100 anni, grazie allo sviluppo di materiali a bassa attivazione, rendono la fusione molto attrattiva (fig. 22).

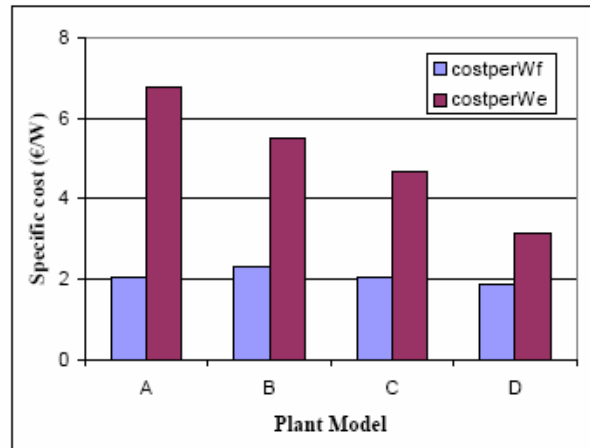


Figura 21 - Costo capitale dei modelli PPCS normalizzato alla potenza di fusione e alla potenza elettrica

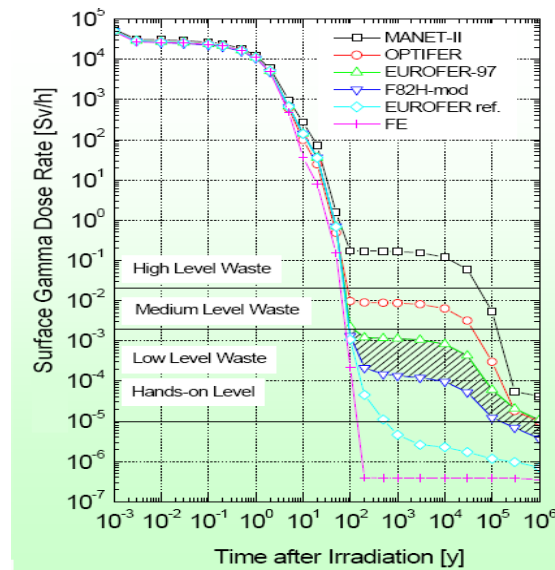


Figura 22 - Vita dei vari materiali strutturali attivati

Il programma temporale di riferimento è riportato in figura 23. La sperimentazione di ITER inizierà nel 2017 e verrà completata nel 2036. L'inizio delle operazioni di DEMO è previsto per il 2036.

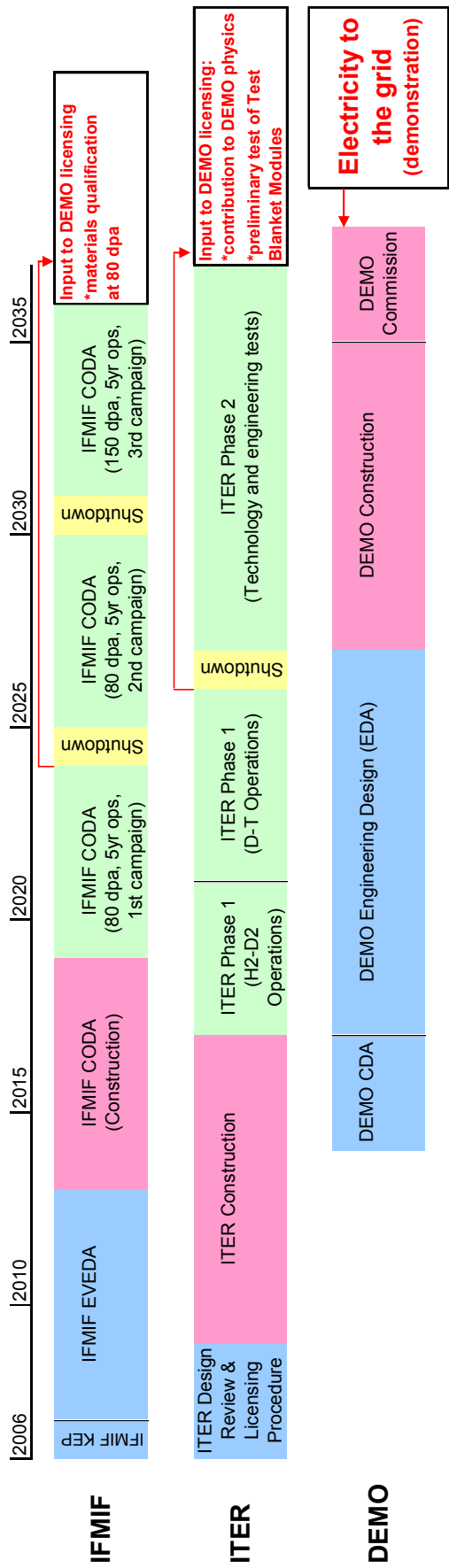


Figura 23 - Programma temporale reattore a confinamento magnetico

PARTE II: NUCLEARE DA FISSIONE

A cura di Stefano Monti e Francesco Troiani

ATTIVITÀ DI RICERCA E SVILUPPO SULLA FISSIONE: PARTECIPAZIONE AD INIZIATIVE, PROGRAMMI E PROGETTI NAZIONALI, EUROPEI ED INTERNAZIONALI

Nel nostro Paese il ruolo di coordinamento delle attività di R&S in campo nucleare è affidato all'ENEA. Infatti, il Decreto Legislativo di riordino della disciplina dell'Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, del 3 settembre 2003, n. 257, stabilisce che *"l'ENEA promuove e svolge attività di ricerca di base ed applicata, ivi inclusa la realizzazione di prototipi e l'industrializzazione di prodotti, nel settore delle tecnologie e delle applicazioni nucleari, ... delle radiazioni ionizzanti: in particolare: l'Ente è responsabile del presidio scientifico e tecnologico in tema di energia nucleare"*.

Pertanto l'ENEA, in base alla suddetta disposizione di legge, è chiamata a svolgere attività di R&ST in questo campo, a supporto della competitività del settore produttivo.

Accordo di programma col Ministero dello Sviluppo Economico

Il Decreto 23 marzo 2006 concernente *"l'approvazione del piano triennale della ricerca di sistema per le attività di R&S di interesse generale per il sistema elettrico nazionale e l'attribuzione del Fondo di cui al decreto 26 gennaio 2000"*, stabilisce che il Ministero dello Sviluppo Economico stipuli con ENEA un *Accordo di Programma (AdP) triennale* – siglato fra le parti il 21 giugno 2007 - per lo svolgimento di attività relative alla produzione di energia elettrica ed agli usi finali. Tale Accordo di Programma, coerentemente coi temi individuati dal *"Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico e Piano Operativo Annuale"*, prevede, per il primo anno, un finanziamento di 5,5 milioni di Euro ad ENEA (di cui 1,1 M€ alle Università) per attività nazionali da inquadrare nell'ambito di progetti internazionali sul nuovo nucleare da fissione. Analoghi finanziamenti sono previsti per la seconda e la terza annualità.

Il programma svolto dall'ENEA e dalla sua rete di ricerca nell'ambito di tale Accordo si prefigge, in primo luogo, di contribuire a ricreare le competenze e le capacità industriali affinché il Paese sia in grado di partecipare alla progettazione e realizzazione degli impianti di generazione III+ (cosiddetti reattori INTD, *International Near Term Deployment*) e di *Generation IV* nel caso essi soddisfino, coerentemente con la tipologia *evolutiva e innovativa*, i criteri di sostenibilità, economia, sicurezza e affidabilità, resistenza alla proliferazione e protezione fisica. Oltre che allo sviluppo di alcuni e selezionati sistemi nucleari avanzati e innovativi, il programma intende anche contribuire all'individuazione del sito di realizzazione dell'impianto di smaltimento dei rifiuti radioattivi di II categoria e di deposito temporaneo dei rifiuti radioattivi di III categoria, incluso alcune partite di materie nucleari (es.: Plutonio) o combustibili esausti (es.: combustibili Elk River) che, al momento, non possono essere alienati o avviati al ritrattamento.

A tal fine il programma si sviluppa secondo le seguenti quattro linee progettuali:

- Analisi di scenari comprendenti un determinato parco di reattori nucleari e relativi impianti del ciclo del combustibile (arricchimento, fabbricazione, ritrattamento, stoccaggio ecc.), al fine della valutazione delle differenti scelte dal punto di vista dei flussi di materiali necessari, dei rifiuti radioattivi prodotti, degli aspetti di proliferazione, dell'economicità del ciclo ecc.;
- Reattori evolutivi INTD – *International Near Term Deployment*, con particolare attenzione al progetto IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*);
- Reattori innovativi di quarta generazione – *Generation IV*, con particolare riferimento al *Lead-cooled Fast Reactor* ed al *Very High Temperature Reactor* per la produzione di idrogeno e calore;
- Attività a supporto dell'individuazione e scelta di un sito e per la successiva realizzazione di un deposito definitivo dei rifiuti radioattivi di II categoria e temporaneo dei rifiuti di III categoria.

Gli obiettivi dell'intero programma sono a breve, medio e lungo termine, e precisamente:

- *A breve termine:* contribuire a ricreare le competenze del sistema Italia e le capacità industriali per partecipare pienamente alla ripresa del settore nucleare in ambito internazionale/europeo, e consentire all'Italia di partecipare a pieno titolo alle grandi iniziative di R&S internazionali/europee (*Generation IV, Global Nuclear Energy Partnership, International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform* ecc.) sul nuovo nucleare;
- *A medio termine:* concentrare le risorse su un programma di dimensione internazionale quale l'IRIS Project, nel quale sia comunque possibile giocare un ruolo significativo anche a livello industriale;
- *Nel lungo termine:* sfruttare le competenze ancora esistenti per partecipare a pieno titolo allo sviluppo di un reattore di quarta generazione quale il *Lead Fast Reactor* e/o il *Very High Temperature Reactor* in ambito Euratom e del *Generation IV International Forum* (GIF).

Infine, come richiesto dallo stesso AdP, l'ENEA garantirà, lungo tutto l'arco temporale del programma, il necessario supporto al Ministero dello Sviluppo Economico per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti ed accordi internazionali nel campo del nuovo nucleare da fissione.

L'attività programmata nell'ambito dell'AdP ha una durata complessiva di 3 anni ma è previsto che un tale impegno si estenda anche agli anni successivi.

Nel programma di ricerca sono coinvolti, oltre ad ENEA, che svolge il ruolo di capofila, anche la sua partecipata SIET, il Consorzio Interuniversitario CIRTEN, l'Ansaldo Nucleare, l'Ansaldo Camozzi e la Del Fungo Giera Energia.

Programmi finanziati dal Ministero dell'Università e della Ricerca

In parallelo all'AdP MSE-ENEA - seguendo il naturale sviluppo delle attività dei precedenti programmi nazionali denominati TRASCO (TRAsmutazione SCOrie) I e II finanziati, fin dal 1999, dal Ministero dell'Università e della Ricerca - è in via di approvazione un programma biennale di R&S da 6,8 milioni di Euro, denominato TRASCO-III, anch'esso finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca a valere sui fondi della Legge 297 e avente per oggetto la validazione ed ottimizzazione su base sperimentale della configurazione di riferimento di sistemi nucleari sottocritici (cosiddetti ADS) e critici a spettro neutronico veloce per produzione di energia e minimizzazione dei rifiuti radioattivi. Tale programma, che vede come capofila Ansaldo Nucleare, prevede il forte coinvolgimento di ENEA e la partecipazione di INFN, CRS4, SRS Group e CIRTEN.

È rilevante sottolineare che tutte le attività dei vari programmi nazionali sono sussidiarie e complementari a quelle portate avanti, già da parecchi anni, a livello europeo - tramite la partecipazione ai Programmi Quadro Euratom - ed internazionale, tramite la partecipazione alle iniziative più rilevanti sul nucleare di nuova generazione.

Se si considera l'insieme delle attività programmatiche sviluppate a livello nazionale ed europeo/internazionale, ne risulta un quadro sufficientemente coerente ed integrato che spazia da progetti di tipo verticale - rivolti allo sviluppo di uno specifico sistema nucleare o tecnologia - a progetti di valenza trasversale quali: studi di scenario, sicurezza nucleare, non-proliferazione, dati nucleari e fisica del reattore, termo-fluidodinamica e termo-meccanica, combustibili avanzati, sviluppo materiali innovativi funzionali ai sistemi innovativi prescelti ecc..

I sistemi nucleari avanzati ed innovativi in via di sviluppo

Per quanto riguarda i sistemi nucleari avanzati (Generation III+) ed innovativi (Generation IV) si è scelto di puntare sui seguenti concetti:

IRIS – International Reactor Innovative and Secure

Si tratta di un *Light Water Reactor* (PWR) di tipo modulare-integrato di Generazione III+, ovvero appartenente a quella classe di sistemi nucleari, cosiddetti *Near Tem Deployment*, destinati ad essere introdotti entro i prossimi 10-15 anni, con un ruolo che potrebbe essere definito da "battistrada" rispetto ai sistemi di IV Generazione.

IRIS è assunto come reattore di piccola taglia di riferimento nell'iniziativa internazionale GNEP (v. oltre), ed è sviluppato da un consorzio internazionale (IRIS-Project) di 20 partners (università, industrie, enti di ricerca, utilities) provenienti da 10 paesi (USA, Brasile, Croazia, Giappone, Italia, Messico, Spagna, Regno Unito, Russia, Lituania), sotto la leadership di Westinghouse LLC.

IRIS ha da tempo riscosso l'interesse dell'industria nazionale Ansaldo Nucleare ed Ansaldo Camozzi e, recentemente, anche di ENEL.

Su questo progetto è fortemente impegnata – oltre ovviamente all'ENEA e al CIRTEN che ne è stato il promotore originario – anche la società partecipata SIET con la prova integrale di sistema da effettuarsi sulla facility SPES3 in via di progettazione.

Il sistema italiano, e in particolare l'ENEA, è impegnato anche in molte altre attività di sviluppo di tale reattore: dalla progettazione delle schermature all'isolamento sismico dell'isola nucleare, dal progetto concettuale di grandi componenti e sistemi alla loro qualifica sperimentale, fino alla valutazione degli aspetti economici specifici dei reattori di piccola taglia.



Figura 1 – Spaccato del reattore IRIS - International Reactor Innovative and Secure

LFR - Lead-cooled Fast Reactor

Reattore di IV generazione il cui corrispondente progetto europeo ELSY – *European Lead-cooled SYstem* è coordinato da Ansaldo Nucleare e, dal punto di vista tecnico, dalla Del Fungo Giera Energia. Altri partner italiani fortemente coinvolti sono: ENEA, CIRTEN e CESI Ricerca.

Si tratta di un sistema veloce di IV generazione a ciclo chiuso, dalle caratteristiche alquanto innovative, che promette di essere particolarmente semplice, sicuro ed economicamente competitivo.

L'ENEA coordina le attività di ricerca sulle tecnologie del refrigerante piombo, nonché quelle di definizione concettuale del nocciolo del reattore (combustibile ad ossidi misti U-Pu contenente attinidi minori) e della struttura esterna di contenimento, oltre ad effettuare le classiche analisi di sistema e di sicurezza.

Nell'ambito del sopraccitato AdP MSE-ENEA, vengono svolte attività complementari a quelle di ELSY, che si estendono fino alla progettazione concettuale di un impianto dimostrativo da circa 100 MW.

Le attività svolte a tutt'oggi sono già state apprezzate a livello internazionale, tanto che nell'ultima riunione del *GIF Policy Group* il rappresentante europeo ha dichiarato che "ELSY è un caso di successo dell'Euratom" e gli USA, apprezzando il lavoro di R&S portato avanti in Europa e, in particolare, in Italia, su questo concetto, sono ora propensi ad entrare nel progetto.

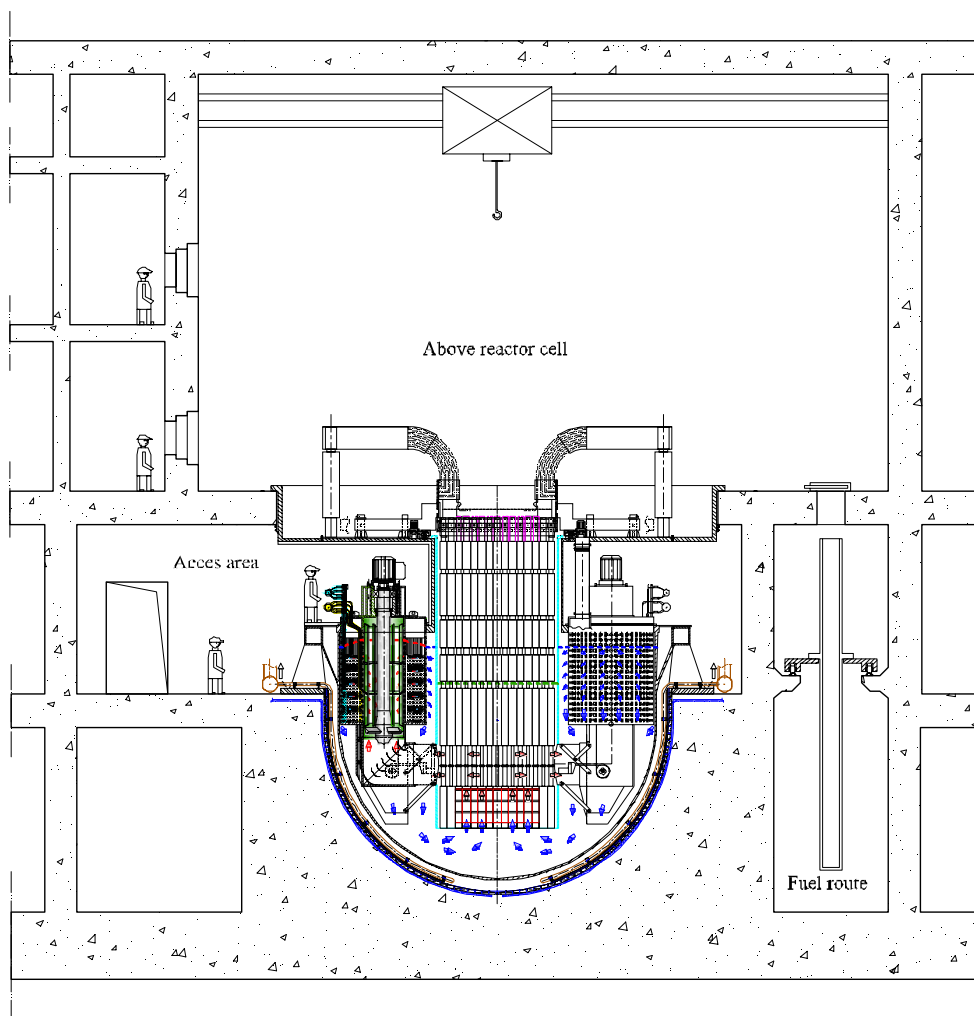


Figura 2 – Progetto concettuale dell' *European Lead-cooled System (ELSY)*

SFR - Sodium-cooled Fast Reactor

Si tratta di un reattore di IV generazione.

Il sistema Italia e, in particolare, l'ENEA, può ancora vantare una notevole esperienza nel settore della tecnologia dei reattori refrigerati a sodio, grazie alla partecipazione, nel passato, alla progettazione e realizzazione dell'impianto sperimentale PEC - Prova Elementi di Combustibile, presso il Centro del Brasimone e dell'impianto Superphenix 1 presso Creys Malville (Francia), nonché alle attività di R&S a supporto nelle facility sperimentali realizzate presso i centri del Brasimone e della Casaccia.

In tempi più recenti, l'ENEA ha contribuito alla progettazione del reattore modulare PRISM di concezione General Electric. Il rinnovato interesse dell'ENEA verso tale tecnologia si è concretizzato nella partecipazione al progetto europeo EISOFRAR (*roadmap for European Innovative Sodium Fast Reactor*) e nella definizione della proposta ESFR (*Large-scale integrating Project for an European Sodium Fast Reactor*) del VII Programma Quadro Europeo.

Le attività si focalizzeranno su temi specifici quali: semplificazione del circuito secondario mediante ricorso a fluidi alternativi (sali fusi, Pb-Bi, Pb, ecc), bruciamento degli attinidi minori, analisi di sicurezza e mitigazione degli effetti di eventi sismici.

Verrà posta, inoltre, particolare attenzione agli aspetti di R&S che sono in comune col reattore a piombo, quali l'approccio alla sicurezza nucleare, lo sviluppo di combustibili innovativi, l'*In-Service Inspection*. Al progetto partecipano anche l'Ansaldo Nucleare, la Del Fungo Giera Energia, l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" ed il CESI Ricerca.

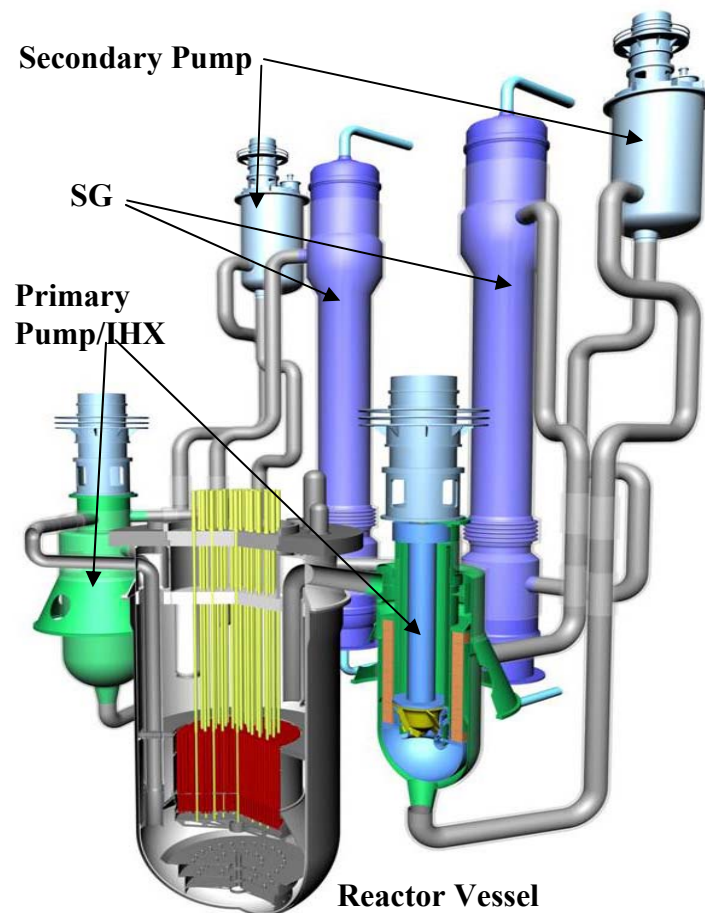


Figura 3 - Schema di Sodium-cooled Fast Reactor di IV generazione

VHTR - Very High Temperature Reactor

Reattore di IV generazione, ottimizzato per la produzione di idrogeno e calore.

Il relativo progetto europeo RAPHAEL - *ReActor for Process heat, Hydrogen and Electricity generation* vede la partecipazione di ENEA ed Ansaldo Nucleare. ENEA – che sviluppa il sistema anche nell’ambito dell’AdP col MSE – concentra le proprie attività sulla qualifica di uno scambiatore intermedio elio-elio da testare sulla facility He-FUS3 del Centro del Brasimone e sull’interpretazione mediante codice RELAP di alcuni transitori di impianto.

Inoltre, assieme all’Università di Roma La Sapienza e a SRS Group, sono previste analisi neutroniche del core e la progettazione di un set-up di prova, da introdurre nel reattore Tapiro del Centro della Casaccia, per studiare il comportamento del flusso neutronico all’interfaccia core-riflettore in questo tipo di reattori.

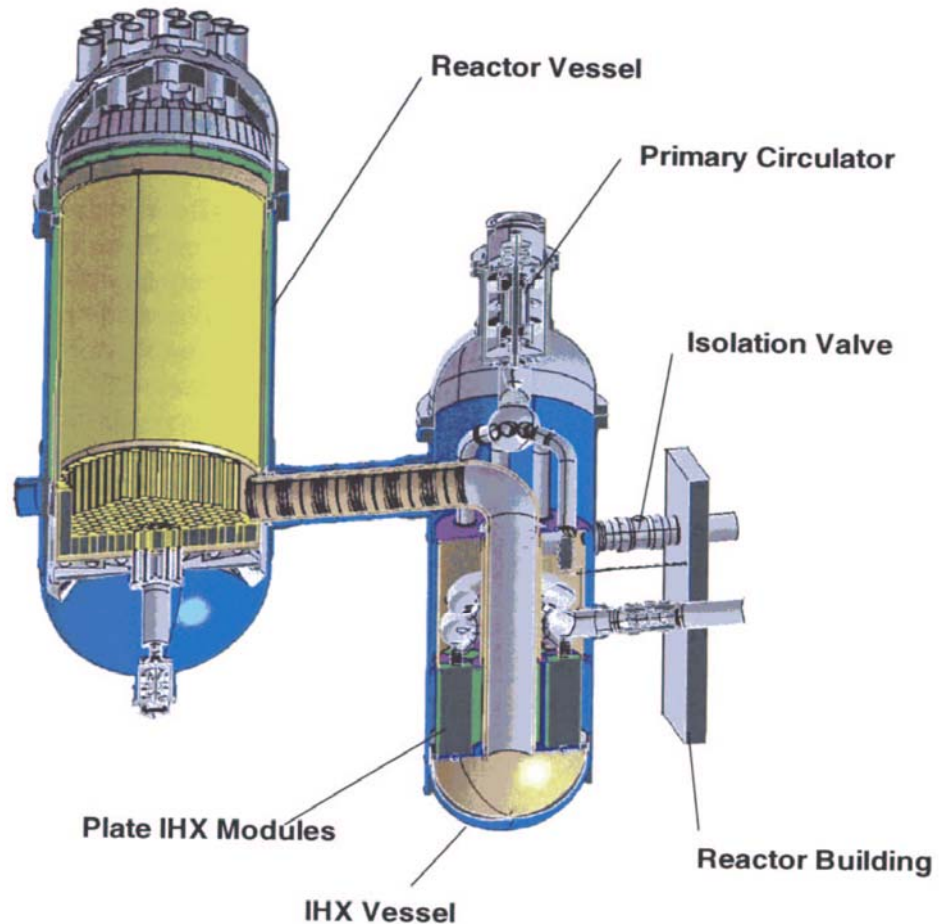


Figura 4 – Schema di Very High Temperature Reactor di IV generazione

Si sottolinea che il SFR, il LFR e il VHTR sono elementi centrali nella *Strategic Research Agenda* della *Sustainable Nuclear Energy Technology Platform* europea in via di definizione (bozza prevista in giugno 2008): il SFR – considerata la volontà espressa dal Governo francese di costruirne un prototipo entro il 2020 – è assunto come il reattore veloce di IV generazione di riferimento; il LFR è considerato il concetto di Fast Reactor alternativo più promettente, soprattutto in Europa, vista l’ampia esperienza accumulata con i sinergici programmi e progetti sugli ADS.

Ciò risulta anche da quanto elaborato nell'ambito dei progetti europei - con partecipazione ENEA - SNFTP (*Sustainable Nuclear Fission Technology Platform*) e PATEROS (*PARTitioning and Transmutation, European ROadmap for Sustainable nuclear energy*) che mirano a definire una strategia globale europea per l'ulteriore sviluppo dell'energia nucleare da fissione e ad elaborare una *Road Map* strategica per l'implementazione della tecnologia del "Partitioning and Transmutation" di rifiuti radioattivi ad alta attività in Europa.

Le ricerche sulla gestione e minimizzazione dei rifiuti radioattivi

Sul tema della gestione dei rifiuti radioattivi sono di fondamentale importanza - anche per dare soluzione definitiva al problema delle scorie radioattive provenienti dagli impianti nucleari (reattori ed impianti del ciclo del combustibile) italiani dismessi - le attività relative all'individuazione del sito ed alla successiva realizzazione del deposito definitivo dei rifiuti radioattivi di II categoria e temporaneo dei rifiuti di III categoria, nonché quelle di R&S per il loro smaltimento geologico. Le prime sono portate avanti nell'ambito di una linea progettuale specifica dell'AdP MSE-ENEA, le seconde mediante la partecipazione ad alcuni progetti europei del VII Programma Quadro. Inoltre, in tale settore, l'Ente, attraverso il braccio operativo della partecipata NUCLECO S.p.A. verso la quale svolge un'azione d'indirizzo, coordinamento e supervisione, da un lato mette a disposizione del Paese una struttura tecnico-operativa denominata "Servizio Integrato" per la gestione, a livello nazionale, dei rifiuti radioattivi di origine non elettronucleare e di media e bassa attività, dall'altro lato, svolge un'intensa attività di ricerca e sviluppo di sistemi per la caratterizzazione radiologica dei rifiuti radioattivi e dei materiali nucleari e per il condizionamento e la qualificazione dei relativi processi.

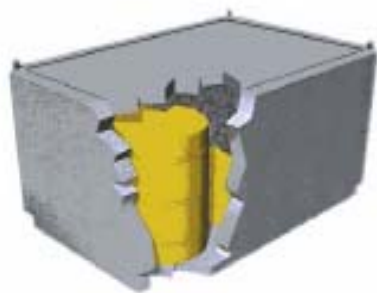


Figura 5 - Modulo di smaltimento

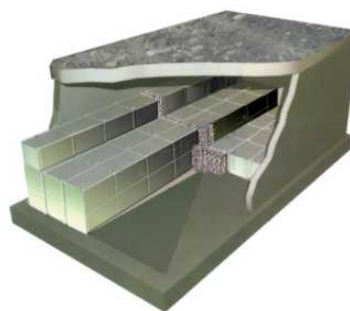


Figura 6 - Cella di deposito

Per quanto riguarda i cicli del combustibile avanzati che consentano la minimizzazione dei rifiuti radioattivi ed il migliore sfruttamento delle risorse naturali, lo sforzo italiano di R&S si concentra da tempo sui metodi di *Partitioning & Transmutation* in sistemi nucleari critici e sottocritici (cosiddetti *Accelerator Driven System - ADS*).

In particolare l'ENEA è uno dei partner principali del progetto europeo EUROTRANS (*EUROpean Research Programme for the TRANsmutation of High Level Nuclear Waste in an Accelerator Driven System*) - il progetto più rilevante del VI Programma Quadro dell'area *waste management* con budget pari a 43 M€ e 45 partner - che si propone di realizzare un progetto concettuale per un trasmutatore industriale di scorie nucleari, che utilizzi leghe di piombo come materiale di spallazione e fluido refrigerante. La tecnologia di riferimento è la medesima del *Lead Fast Reactor* di IV generazione; sono, dunque, evidenti le sinergie fra questo programma e quanto sviluppato dal sistema italiano nell'ambito di ELSY e dei sopracitati programmi nazionali finanziati dal MSE e dal MiUR. I vari progetti di sistemi nucleari a spettro neutronico veloce, basati sulla tecnologia del metallo liquido pesante, sono destinati a confluire nell'iniziativa europea di costituzione di un *Central Design Team*, da insediare presso il Centro SCK.CEN di Mol, per sviluppare un reattore trasmutatore/facility di irraggiamento a spettro neutronico veloce europei, da realizzare in quel sito.

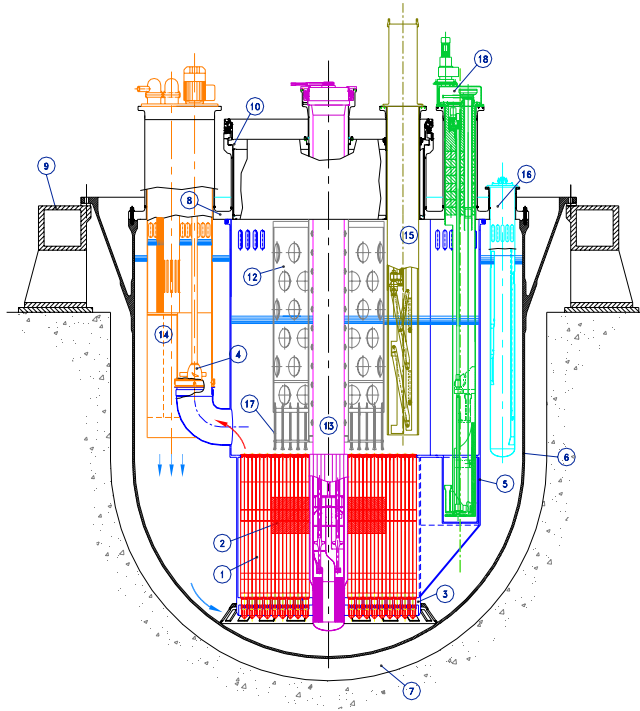


Figura 7 – Schema dell'ADS - European Facility for Industrial Transmutation (EFIT)

Per quanto riguarda le tecnologie avanzate di separazione degli attinidi e dei prodotti di fissione, l'ENEA ha partecipato al progetto EUROPART (*EUROpean Research Programme for the PARTitioning of Minor Actinides and some Long-lived Fission Products from high active waste issuing the reprocessing of spent nuclear fuels*) e partecipa alla sua prosecuzione ACSEPT (*Actinide reCYcling by SEParation and Transmutation*) del VII PQ europeo, concentrando il proprio impegno sullo sviluppo delle tecnologie di separazione degli attinidi mediante metodi pirochimici.



Figura 8 - Impianto PYREL II (Centro Ricerche ENEA del Brasimone)

Progetti trasversali

I temi trasversali sono sviluppati attraverso collaborazioni bilaterali (ad es. col CEA francese) e, soprattutto, con la partecipazione di varie organizzazioni italiane e, in particolare, di ENEA ad un numero considerevole di progetti europei dei vari Programmi Quadro.

Da questo punto di vista e limitandosi, per brevità, ai maggiori progetti del V, VI e VII Programmi Quadro Euratom, vale la pena ricordare che:

- L'ENEA ha coordinato il progetto TECLA (*TEChnologies for Lead Alloys*), dedicato allo studio delle problematiche di compatibilità dei materiali strutturali con l'ambiente di processo nei sistemi refrigerati a leghe di piombo;
- L'Italia ha partecipato, tramite ENEA, al grande esperimento MEGAPIE (MEGAWatt Pilot Experiment), di realizzazione di un modulo di spallazione a metallo liquido pesante, della potenza di 1 MW;
- L'ENEA, coordina l'iniziativa VELLA (*Virtual European Lead Laboratory*), che si pone quale obiettivo principale quello di riunire in maniera omogenea le infrastrutture di ricerca esistenti nei diversi Paesi, facilitando l'accesso alle infrastrutture più rilevanti e garantendo la vera creazione di uno spazio comune di ricerca nell'ambito delle tecnologie del piombo;
- L'Italia è attivamente coinvolta, attraverso ENEA, CESI e CNR-IENI nel progetto GETMAT (*Generation IV and Transmutation MATerials*), dedicato allo sviluppo e caratterizzazione di nuovi materiali strutturali adatti ad operare nelle condizioni estreme di funzionamento dei sistemi nucleari di nuova generazione (*Generation IV, ADS ecc.*);
- In collaborazione con l'IRSN francese e con oltre 40 organizzazioni europee partecipanti al progetto SARNET - *Network of Excellence for a Sustainable Integration of European Research on Severe Accident Phenomenology*, l'ENEA continua gli studi fenomenologici e le attività di validazione di codici per l'analisi di sequenze incidentali gravi in reattori LWR (i più diffusi in Europa) e per l'individuazione delle procedure più opportune di "accident management".

INFRASTRUTTURE DI RICERCA

Nonostante le ridotte risorse finanziarie disponibili nel settore dopo il referendum del 1987 ed il conseguente depauperamento di risorse umane e strumentali, l'Italia possiede tuttora rilevanti competenze specifiche e infrastrutture di ricerca di livello internazionale, conservate e sviluppate grazie alla partecipazione ai programmi MIUR sulla trasmutazione, ai progetti europei dei vari programmi quadro Euratom ed alle attività di studio e consulenza presso organismi internazionali (OECD-NEA, IAEA ecc.), nonché tramite l'acquisizione di alcune commesse nazionali e internazionali ricevute dall'industria. Tali competenze ed infrastrutture sono concentrate presso i Centri ENEA del Brasimone, della Casaccia e di Saluggia, le partecipate SIET, CESI Ricerca e NUCLECO e presso le Università che fanno capo al Consorzio CIRTEN. In sintesi le infrastrutture di ricerca sono:

- Capacità e competenze di sviluppo metodi, progettazione e analisi in settori quali: dati nucleari, fisica e termo-fluidodinamica del reattore nucleare, termoidraulica di impianto, analisi di sistema e di sicurezza, combustibile nucleare, ciclo del combustibile, materiali strutturali, strumentazione e controllo, analisi strutturale, sia in proprio, sia in collaborazione con partecipate (es. SIET e CESI Ricerca);
- Competenze nel settore dello smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi, formate nell'ambito delle passate attività svolte dall'Ente con una specifica *Task Force* per l'individuazione del sito di smaltimento;
- Grandi *facility* sperimentali e laboratori quali: gli impianti a metallo liquido pesante CIRCE, LECOR, CHEOPE e LiFUS5 presso il Centro Ricerche ENEA del Brasimone; i circuiti di prova ad acqua in pressione in grande scala presso la SIET di Piacenza (ad es. impianto SPES); i Laboratori per lo sviluppo delle metodologie di caratterizzazione radiologica dei manufatti condizionati, quali il laboratorio NDA C-43 e il laboratorio C-25, presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia (in collaborazione con Nucleco);
- Reattori nucleari di ricerca: TRIGA e TAPIRO presso il Centro ENEA Casaccia;
- Infrastrutture "fredde" per la qualificazione di matrici di condizionamento e per la caratterizzazione di rifiuti radioattivi: Laboratorio CETRA presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia;
- Infrastruttura "fredda" per caratterizzazione radiochimica: Laboratorio 1000 presso il Centro Ricerche ENEA di Saluggia, in fase di trasformazione a Laboratorio di radiochimica.

Infrastrutture ENEA

Presso il Centro Ricerche ENEA del Brasimone sono in operazione le seguenti facility sperimentali, mostrate nelle figure da 9 a 13:

Facility	Attività principale
LECOR	Corrosione e protezione dei materiali
CHEOPE	Corrosione e protezione dei materiali
Li FUS 5	Interazione Pb/LBE - acqua
CIRCE	Controllo dell'ossigeno e purificazione
	Esperimenti di Gas Lift
	Integral Circulation Experiment
HeFUS 3	Prova componenti in gas ad alta temperatura

Le prime 4 facility sono funzionali allo sviluppo tecnologico del *Lead-cooled Fast Reactor* di IV generazione e dell'*Accelerator Driven System* per la trasmutazione dei rifiuti radioattivi, la facility HeFUS3 – realizzata nell'ambito del programma fusione – permette l'effettuazione di prove con gas ad alta temperatura per la qualifica di grandi componenti (ad esempio scambiatore intermedio) del *Very High Temperature Reactor* di IV generazione.



Figura 9 - Impianto LECOR nell'edificio sperimentale CPC1



Figura 10 - Impianto CHEOPE



Figura 11 - Vista dell'impianto LiFUS

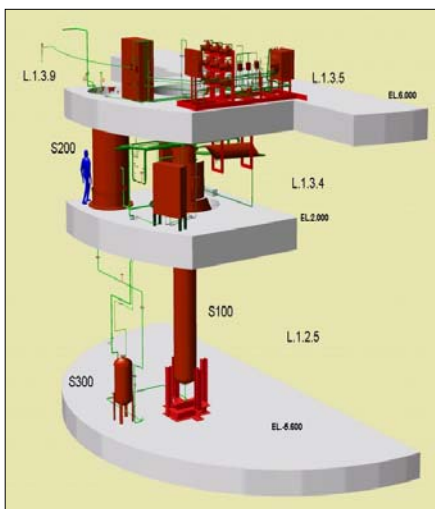


Figura 12 - Vista dell'impianto sperimentale CIRCE



Figura 13 - Impianto HeFUS3

Presso il centro della Casaccia sono in funzione i due reattori nucleari di ricerca dell'ENEA denominati TRIGA RC-1 e TAPIRO che – unitamente ai reattori di ricerca LENA dell'Università di Pavia e AGN dell'Università di Palermo – costituiscono gli unici reattori nucleari in esercizio in Italia.

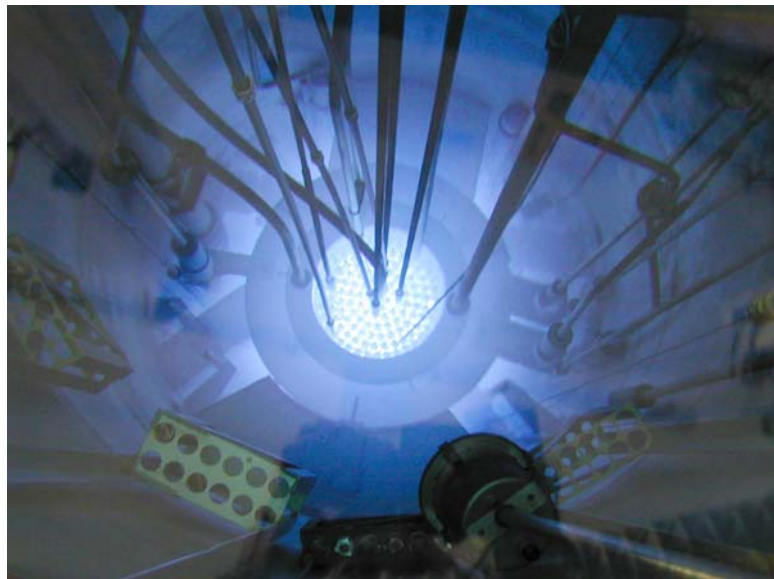


Figura 14 – Il Reattore TRIGA RC-1. Interno della piscina



Figura 15 – Il Reattore TAPIRO. Sala reattore

È stata infine avviata la progettazione di un Laboratorio di Radiochimica - da installare presso il Centro di Saluggia e che dovrà operare in sinergia con il Laboratorio C-III-43 di Casaccia specializzato in analisi fisiche non-distruttive - destinato alla caratterizzazione, mediante tecniche distruttive, di materiali radioattivi, e all'esecuzione di studi e ricerche in scala banco e in scala pilota sulla chimica degli attinidi e dei prodotti di fissione, nell'ambito dei programmi di R&S comunitari.

Alle competenze ed infrastrutture dei Centri ENEA sopra menzionati, si aggiungono quelle delle partecipate SIET, CESI Ricerca e NUCLECO, brevemente descritte nel seguito.

Infrastrutture presso le Partecipate ENEA

SIET

SIET, Società Informazioni ed Esperienze Termoidrauliche, ha sede a Piacenza all'interno dell'area produttiva Edipower (Centrale Levante - 800 MWel) di cui può utilizzare energia elettrica ad elevata potenza e fluidi di servizio. La SIET nasce nel 1983 per iniziativa di CISE (ENEL) ed ENEA con lo scopo principale di svolgere attività di termoidraulica sperimentale nel campo della sicurezza degli impianti nucleari. La SIET gestisce impianti sperimentali, unici al mondo per dimensioni e specificità, indirizzati alla R&S nel campo della termoidraulica e termomeccanica di componenti e sistemi per la produzione di energia. Nel periodo 1984-'95, grazie alle competenze specifiche del personale ed alla rilevanza internazionale dei propri impianti sperimentali, la SIET partecipa ad importanti programmi di ricerca, fra i quali: i) la certificazione sperimentale del reattore AP-600 (Westinghouse) mediante il simulatore fisico SPES, ii) la qualifica sperimentale a piena scala degli scambiatori di calore PCC e IC del reattore SBWR (General Electric).

L'impianto GEST SEP (fig. 16) permette di verificare il funzionamento e le performance dei separatori acqua-vapore, componenti di primaria importanza installati sia all'interno dei generatori di vapore di centrali nucleari di tipo PWR sia all'interno dei reattori ad acqua bollente.

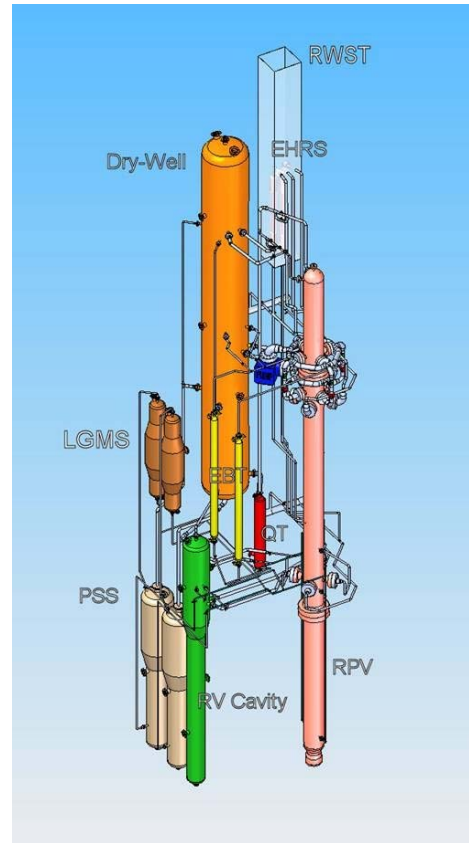


Figura 16 - Impianto GEST-SEP Figura 17 - Vista 3D della facility SPES3

SIET dispone, inoltre, di una struttura sperimentale che simula il comportamento di un impianto reale in condizioni critiche o di incidente di un circuito termoidraulico primario di una centrale nucleare di tipo pressurizzato; Tale facility, denominata SPES, è stato oggetto, negli anni '90, di un programma sperimentale, commissionato da Westinghouse, per la certificazione presso NRC-USA del sopracitato reattore "AP600". Sulla base di tale esperienza, SIET, in collaborazione con le aziende interessate (Westinghouse, Ansaldo Nucleare, Ansaldo Camozzi, ENSA) e gli Enti partecipanti al progetto IRIS, tra cui ENEA, sta progettando le modifiche da apportare all'attuale facility SPES (v. fig. 17) per effettuare le prove prestazionali del nuovo impianto IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*), in particolare quelle richieste per la verifiche di affidabilità e sicurezza

CESI Ricerca

CESI Ricerca ha ereditato le risorse dedicate alla ricerca nucleare che in passato appartenevano ad ENEL, CISE ed ISMES.

Le attività di R&S sono orientate agli aspetti di sicurezza dei sistemi nucleari di nuova generazione. L'esperienza maturata nel campo della sicurezza degli impianti nucleari, in particolare nei confronti delle fenomenologie che caratterizzano gli scenari incidentali severi, è inoltre valorizzata nel campo degli studi teorico-sperimentali nel settore della fusione nucleare, in collaborazione con l'ENEA di Frascati. Per l'analisi dei transitori operazionali e per la verifica del sistema di controllo CESI Ricerca sviluppa modelli dinamici sia di impianti LWR che a metallo liquido, comprendenti l'isola nucleare, il ciclo termodinamico e il sistema di controllo.



Figura 18 - Facility Ultra Super Critical (USC) Steam

Le installazioni sperimentali disponibili per test a piccola scala – quali l’impianto *Ultra Super Critical Steam* (fig. 18) – permettono studi sul comportamento dei materiali in contatto con fluidi ad alta pressione e temperatura e l’interazione tra particolato radiotossico e/o infiammabile con flussi gassosi turbolenti.

L’apparato SOFFIA - Sospensione Ottenuta Facendo Fluire Improvvisamente Azoto (Fig. 19), è stato invece realizzato per misurare il rateo di mobilizzazione (risospensione) di polveri contaminate o infiammabili dovuto a flussi turbolenti di gas.



Figura 19 - Impianto sperimentale SOFFIA

Nucleco S.p.A.

La Nucleco S.p.A., costituita nel 1980 a seguito di delibera del Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (CIPE) ed attualmente compartecipata SOGIN S.p.A. al 60% ed ENEA al 40%, opera all’interno del Centro ENEA della Casaccia con un organico di circa 100 Unità e su un’area di 35.000 metri quadrati di cui 8.000 coperti.

La Nucleco opera principalmente nel settore della gestione dei rifiuti radioattivi e smantellamento degli impianti nucleari, nonché nella gestione di particolari classi rifiuti speciali, tossici e nocivi. La società, inoltre, su indirizzo, coordinamento, supervisione e pianificazione dell’ENEA, svolge da oltre venti anni ed a livello nazionale, attività raccolta, trasporto, caratterizzazione, immagazzinamento, trattamento-condizionamento e deposito temporaneo a lungo termine o, per alcune tipologie con radioattività residuale irrilevante, lo smaltimento in esenzione, di rifiuti radioattivi del comparto della ricerca, industriale e medico-sanitario (Servizio Integrato), nonché di sorgenti radioattive sigillate ad alta attività e delle sorgenti “orfane”.

Nell'ambito del suo settore d'intervento, la Nucleco svolge per operatori esterni nazionali ed internazionali, attività di ingegneria, di caratterizzazione radiologica, di bonifica di impianti e siti contaminati, di trattamento, deposito e smaltimento dei rifiuti prodotti.

L'insieme degli impianti e dei laboratori utilizzati dalla Società, in parte di proprietà dell'ENEA, sono:

- impianto di supercompattazione e cementazione di rifiuti solidi primari (1.500 t);
- impianto di smantellamento di grandi componenti con tecniche remotizzate di taglio al plasma, tagli meccanici e pressatura;
- impianto di trattamento rifiuti liquidi radioattivi con rilascio nell'ambiente degli effluenti decontaminati e cementazione dei residui radioattivi;
- Sistema di caratterizzazione radiologica di rifiuti e materiali radioattivi, in manufatti di varie forme e dimensioni, mediante analisi spettrometriche integrate qualitative e quantitative, distruttive e non distruttive, con misure alfa beta e gamma, *Segmented gamma scanning* e conteggi neutronici attivi e passivi;
- Laboratorio di qualificazione dei processi di cementazione di rifiuti radioattivi in matrici omogenee, in conformità alle prove previste nella Guida Tecnica ENEA n. 26.

La Società, inoltre, è in grado di intervenire su impianti terzi per l'esecuzione delle attività di caratterizzazione, smantellamento e condizionamento rifiuti, con impianti mobili:

- unità MOWA, composta da una struttura trasportabile e schermata in grado di effettuare il condizionamento in matrice di cemento di liquidi, fanghi e resine a media attività in modo remotizzato in contenitori omologati da 200 o da 400 litri;
- unità di supercompattazione (superpack TM 2000), che consiste di una pressa trasportabile di 2.000 tonnellate di capacità collegabile ad un modulo, trasportabile separatamente con il sistema idraulico di alimentazione.
- Sistemi di caratterizzazione gamma mobili.



Figura 20 - Impianto di supercompattazione ICS 42



Figura 21 - Impianto Mobile MOWA

Nel settore dei rifiuti tossici e nocivi la Nucleco ha acquisito una vasta esperienza relativamente, in particolare, all'amianto. La pluriennale esperienza, maturata nel corso degli interventi in presenza di radioattività, permette alla Nucleco di affrontare con elevata professionalità i rischi connessi con la bonifica di ambienti contenenti tale materiale.

PARTECIPAZIONE ALLE GRANDI INIZIATIVE EUROPEE ED INTERNAZIONALI PER UN NUOVO NUCLEARE SOSTENIBILE

È opinione diffusa che per un graduale rientro sul medio-lungo termine dell'Italia nel nucleare da fissione è condizione necessaria – anche se non sufficiente - un'azione forte ed immediata per l'innesto del sistema italiano, ed in particolare dell'ENEA, nelle principali iniziative europee ed internazionali di R&S sul nucleare sostenibile.

Da questo punto di vista, molto è stato fatto in questi ultimi anni. In particolare:

- L'Italia partecipa, tramite Euratom, al *Generation IV International Forum* e due italiani sono già presenti nella struttura organizzativa di tale iniziativa come chairman dello *Steering Committee* del LFR ed "alternate" per Euratom nel *Methodology Working Group* su *Physical Protection & Proliferation Resistance*. Altri ne entreranno non appena verrà siglato il *System Arrangement* del LFR;

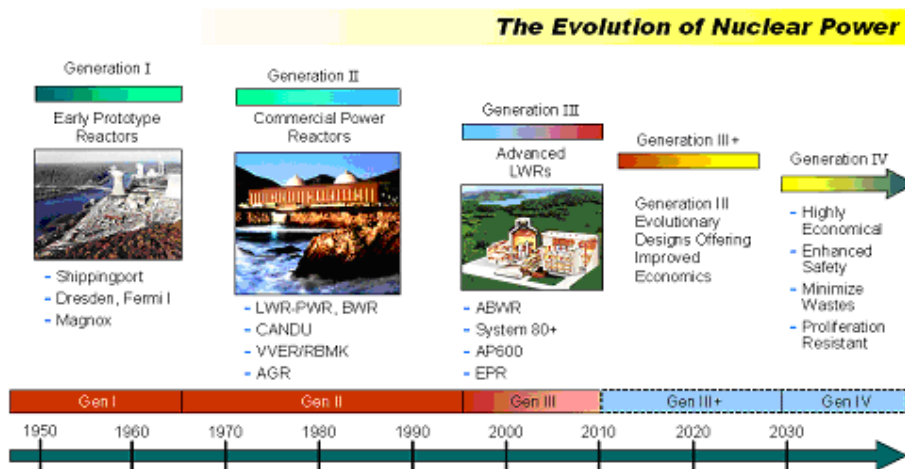


Figura 22 – Evoluzione delle successive generazioni di reattori

- L'Italia da novembre 2007 è diventata partner della *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP) e l'ENEA sta esprimendo propri rappresentanti nei vari *Working Group* della struttura organizzativa internazionale;

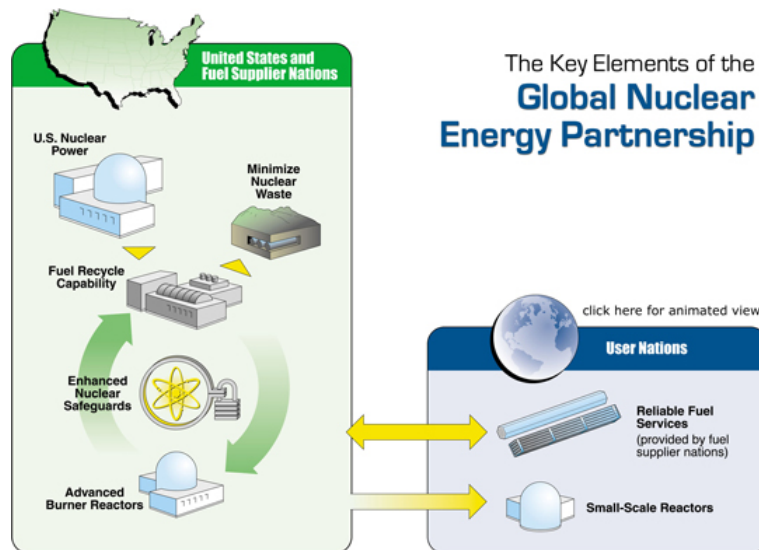


Figura 23 – Elementi chiave della Global Nuclear Energy Partnership

- L'ENEA esprime l'osservatore italiano nell'iniziativa, parallela a GENIV, denominata INPRO *International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles*, promosso nel 2000 dall'*International Atomic Energy Agency* (IAEA)
- Sono state riorganizzate e rese sistematiche le rappresentanze italiane – ed in particolare ENEA – nei vari *Standing Committee, Working Party* e *Working Group* della NEA e della IAEA, nonché della Commissione Europea od associazioni specifiche, quali ad esempio l'*European Network of Testing Facilities for the Quality Checking of Radioactive Waste Packages* e l'*ESARDA*.

Per quanto riguarda le collaborazioni bilaterali, l'ENEA ha riavviato lo storico accordo con il CEA francese, ed ha siglato un cosiddetto I-NERI con l'*Oak Ridge National Laboratory* dello US-DOE su IRIS e i reattori avanzati ed un analogo I-NERI con l'*Argonne National Laboratory* dello US-DOE per lo sviluppo concettuale di un dimostrativo di *Lead Fast Reactor*.

Per quanto riguarda la *European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform* (SNETP), l'ENEA, l'Ansaldo Nucleare e l'Università di Roma hanno contribuito al relativo *Vision Report*, documento di riferimento per il lancio della stessa SNETP nel 2007. L'Ansaldo Nucleare e l'Università di Roma ne hanno già effettuato l'*endorsement* e l'ENEL ha aderito a SNETP all'inizio del 2008. L'Ansaldo Nucleare è membro dell'*Executive Committee* di SNETP e l'ENEL è entrata a far parte del gruppo delle Utilities coordinato da EdF. L'ENEA, assieme ad Ansaldo Nucleare, DEL e CIRTEN, sta contribuendo alla prima stesura della *Strategic Research Agenda* di SNETP e si farà promotore di una piattaforma tecnologica italiana – sussidiaria a quella europea – fra tutti gli *stakeholder* italiani del settore.



Figura 24 – *European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform*

