

## I reattori di IV generazione e le iniziative internazionali ed europee per il loro sviluppo

Stefano Monti

ENEA, Presidente di SIET SpA

*I reattori di quarta generazione, ancora allo stadio concettuale, sono oggetto di una iniziativa avviata dal Department of Energy americano nel gennaio 2000, allorquando dieci Paesi si sono uniti per formare il "Generation IV International Forum" col fine di sviluppare i sistemi nucleari di futura generazione, cioè i sistemi che potranno divenire pienamente operativi a livello industriale fra 30 o 40 anni, subentrando all'attuale generazione di reattori a neutroni termici refrigerati ad acqua*

### Generation IV Reactors and the EU and International Initiatives for Their Development

*Generation IV reactors – actually still at the conceptual stage – are the subject of an initiative launched by US-DoE on January, 2000, when ten countries met in the "Generation IV International Forum" with a view to develop next-generation nuclear systems. These systems will be fully deployed in 30 or 40 years and will be replacing the current generation of LWRs*

## Quadro di riferimento

Oggi giorno più di due miliardi di persone non hanno accesso all'elettricità. Le più autorevoli agenzie internazionali stimano in circa 9 miliardi la popolazione mondiale all'orizzonte del 2050, concentrata prevalentemente nei paesi emergenti e in via di sviluppo. Anche queste persone dovranno vedere garantiti i medesimi diritti di quelle del mondo sviluppato in termini di migliori condizioni di vita, raggiungibili, in particolare, attraverso la maggiore disponibilità di acqua e di energia.

Al tempo stesso non si può non tener conto del possibile impatto antropico sui cambiamenti climatici del pianeta; lo sviluppo sostenibile, coniugato ai futuri bisogni energetici dell'umanità, richiede dunque un uso crescente di sorgenti energetiche prive di emissioni di gas serra. Da questo punto di vista l'energia nucleare presenta notevoli vantaggi in quanto è virtualmente priva di emissioni di CO<sub>2</sub>, competitiva rispetto alle fonti fossili e, sebbene non sia 'la soluzione', sicuramente è parte irrinunciabile della soluzione del problema energetico.

Affinché il nucleare possa contribuire significativamente alla soluzione di tale problema, occorre sviluppare in questo settore tecnologie a breve, medio e lungo termine.

Attualmente l'energia nucleare contribuisce per il 16% alla produzione di energia elettrica mondiale e per circa il 31% nell'Unione Europea. Più di 30 paesi 'non nucleari' hanno già avanzato richiesta alla *International Atomic Energy Agency* (IAEA) di Vienna per ottenere supporto al fine di definire ed implementare il proprio programma nucleare nazionale. Paesi che già posseggono impianti nucleari di potenza prevedono nel breve-medio termine un ulteriore ricorso a questa fonte energetica. In questo consiste il cosiddetto 'Rinascimento Nucleare'.

Come già precisato in altri articoli di questa stessa rivista, e in questo numero in particolare, la principale tecnologia nucleare ad oggi disponibile è quella dei cosiddetti *Light Water Reactor* (LWR), che hanno accumulato una lunghissima esperienza di esercizio (equivalente a 13.000 anni.reattore) con eccellenti performance sul piano della sicurezza. Per

i reattori di II generazione attualmente in esercizio che assicurano la sopra menzionata quota del 16% dell'energia elettrica mondiale, l'innovazione tecnologica deve garantire l'estensione della loro vita fino a 40-60 anni di funzionamento e, in taluni casi, aumentarne la potenza, mantenendo i più elevati standard di sicurezza. In parallelo, sia nei paesi già dotati di impianti nucleari di potenza sia in paesi, quali l'Italia, che al momento non hanno reattori sul proprio territorio, si stanno introducendo importanti programmi nucleari per la realizzazione di LWR di III generazione, i cui primi esemplari sono in costruzione in Francia, Finlandia, Cina, Giappone ecc. A breve-medio termine (orizzonte del 2020) la sfida è quella di mantenere l'energia nucleare competitiva rispetto alle altre fonti energetiche che assicurano il carico di base e gestire in maniera corretta e sicura i rifiuti radioattivi ad alta attività ed a lunga vita (tipicamente il combustibile irraggiato scaricato dagli impianti nucleari di potenza).

Peraltro, come sopra accennato, la domanda mondiale di elettricità è destinata a crescere vertiginosamente sia per la richiesta che proviene dai paesi emergenti e da quelli in via di sviluppo sia per la graduale sostituzione dei combustibili fossili anche in settori diversi da quello elettrico (basti pensare, ad esempio, agli ormai inarrestabili programmi di sviluppo delle auto elettriche).

Le risorse attualmente identificate di uranio permetteranno di alimentare l'attuale flotta di reattori termici a ciclo aperto per circa 100 anni<sup>1)</sup>. Se il tasso di crescita dell'utilizzo dell'energia nucleare nel mondo seguirà l'andamento previsto, si porrà presto la questione della disponibilità di combustibile a prezzi accessibili. Considerati i tempi, per loro natura lunghi, di maturazione tecnologica e di introduzione nel mercato di nuove tipologie di reattori nucleari, appare dunque saggio impegnarsi fin da ora nello sviluppo di reattori a spettro neutronico veloce (comunemente denominati reattori veloci) da operare in ciclo chiuso, che hanno la potenzialità di moltiplicare di un fattore da 50 a 100 l'energia prodotta da una data quantità di uranio, rispetto a quella prodotta da LWR che operano in ciclo, rendendo così l'energia nucleare disponibile per alcune

migliaia di anni con le attuali risorse di uranio identificate. I reattori veloci permettono di ottenere, nel contempo, un significativo miglioramento della gestione dei rifiuti radioattivi ad alta attività. Infatti, attraverso la trasmutazione dei cosiddetti attinidi minori (Am, Cu, Np) ed eventualmente dei prodotti di fissione a lunga vita, i reattori critici e sottocritici a

spettro neutronico veloce permettono di ridurre l'attività dei rifiuti radioattivi a più lunga vita da centinaia di migliaia di anni a qualche centinaio di anni. In realtà vari reattori veloci sono già stati costruiti ed eserciti nel passato soprattutto in Europa ma anche in USA, Russia, Giappone e India, altri sono attualmente in costruzione (tabella 1).

**Tabella 1** – Quadro completo dei vari reattori veloci nel mondo

Paese	Nome	Potenza Termica (MWth)	Potenza Elettrica (MWe)	Refrigerante primario	Tipo	Anno di entrata in funzione	Stato attuale
USA	Clementine	0,025	0	Hg	RS	1946	AD: 1952
USA	EBR 1	1,4	0,2	NaK	RS	1955	AD: 1963
USA	LAMPRE	1	0	Na	RS	1961	AD: 1965
USA	EBR 2	60	18	Na	RS	1956	AD: 1993
USA	FERMI	300	100	Na	RS	1963	AD: 1972
USA	SEFOR	20	0	Na	RS	1969	AD: 1972
USA	FFTF	400	0	Na	RS	1980	AD:2001
USA	Clinch River	975	380	Na	RD	X	CF
Russia	BR 1	0,03	0	Na	RS	1955	AD
Russia	BR 2	0,2	0	Hg	RS	1956	AD: 1958
Russia	BR 5 - BR 10	5 - 10	0	Na	RS	1958/73	AD: 2002
Russia	BOR 60	60	0	Na	RS	1969	IE
Russia	BN 350	1000	350	Na	RD	1972	AD: 1999
Russia	BN 600	1430	600	Na	RP	1980	IE
Russia	BN 800	1970	800	Na	RP	2012	IC
Francia	RAPSODIE	24-40	0	Na	RS	1967/70	AD: 1983
Francia	PHENIX	560	250	Na	RD	1973	AD: 2008
Francia	SUPERPHENIX	3000	1200	Na	RP	1985	AD: 1998
Francia	SPX2	3600	1500	Na	RP	X	PA: v. EFR
GB	DFR	72	15	NaK	RS	1959	AD: 1977
GB	PFR	600	250	Na	RD	1974	AD: 1994
GB	CDFR	3300	1320	Na	RP	X	PA: v. EFR
Germania	KNK 1 - KNK 2	60	20	Na	RS	1972/77	AD: 1991
Germania	SNR 300	730	300	Na	RD	X	CF
Germania	SNR 2	3600	1500	Na	RP	X	PA v. EFR
Giappone	JOYO	140	0	Na	RS	1977	F
Giappone	MONJU	714	280	Na	RD	1994	F
Giappone	DFBR	1600	660	Na	RD	X	PA
Giappone	JSFR	3570	1500	Na	RP	?	P
India	FBTR	40	15	Na	RS	1985	IE
India	PFBR	1210	500	Na	RD	2011	IC
Italia	PEC	140	0	Na	RS	X	CF
Cina	CEFR	65	23	Na	RS	2009	IC
Corea del Sud	KALIMER	392	150	Na	RD	X	PA(1)
Corea del Sud	KALIMER 600	1523	600	Na	RD	?	P
Europa	EFR	3600	1500	Na	RP	X	PA(1)

Legenda: RS = Reattore Sperimentale – RD = Reattore Dimostrativo – RP = Reattore di Potenza – AD = Arrestato Definitivamente – F = Fermato – IE = In Esercizio – P = Progetto – PA = Progetto Abbandonato – CF = Costruzione Fermata – IC = In Costruzione. (1) Il progetto è stato completamente sviluppato e poi abbandonato.

Fonte: IAEA, *Fast Reactors Status Report* (in corso di pubblicazione)

Dalla tabella si nota, in particolare, che l'unico reattore veloce di potenza attualmente in funzione è il BN600 in Russia; ad esso si aggiungono i reattori di ricerca BOR60 in Russia e FBTR in India; il giapponese MONJU dovrebbe ritornare critico in primavera 2010, il reattore indiano PFBR da 500 MWe dovrebbe raggiungere la criticità nel 2011, il CEFR cinese da 23 MWe dovrebbe entrare in funzione nel 2010.

Peraltro, gli attuali standard di sicurezza, competitività ed esercizio del settore nucleare richiedono lo sviluppo di una nuova generazione di reattori veloci. Si tratta, per l'appunto, dei cosiddetti reattori veloci di IV generazione.

## Il Generation IV International Forum (GIF)

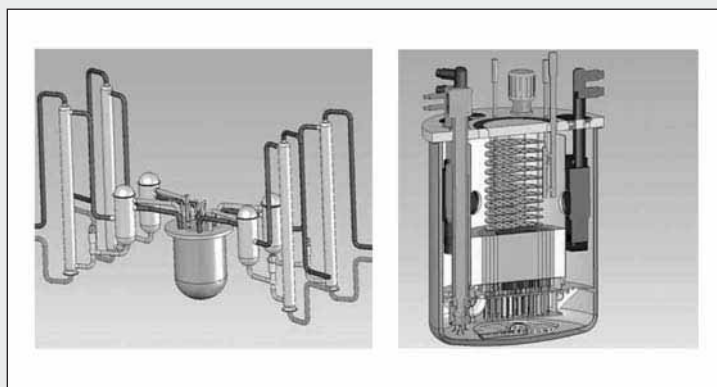
I reattori di quarta generazione sono ancora allo stadio concettuale. Essi sono oggetto di un'iniziativa avviata nel gennaio 2000, allorché dieci Paesi si sono uniti per formare il "Generation IV International Forum" (GIF;<sup>[2]</sup>) col fine di sviluppare i sistemi nucleari di futura generazione, cioè i sistemi che potranno divenire pienamente operativi a livello industriale fra 30 o 40 anni, subentrando all'attuale generazione di reattori a neutroni termici refrigerati ad acqua. I sistemi nucleari di quarta generazione dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- **sostenibilità**, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- **economicità**, ovvero basso costo del ciclo di vita dell'impianto e livello di rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- **sicurezza e affidabilità**; in particolare i sistemi di quarta generazione dovranno avere una bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e tollerare anche gravi errori umani; non dovranno, inoltre, richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, non essendoci uno scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito;
- **resistenza alla proliferazione e protezione fisica** contro attacchi terroristici.

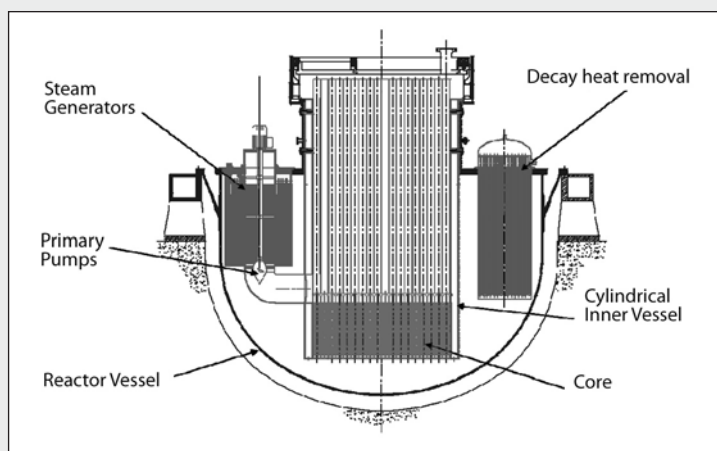
I Paesi attualmente costituenti il GIF sono: Argentina, Brasile, Canada, Cina, Federazione Russa, Francia, Giappone, Gran Bretagna, Repubblica di Corea (Sud), Repubblica del Sud Africa, Svizzera e Stati Uniti; anche l'Euratom, per l'Unione Europea, aderisce al Forum. Sono presenti in GIF, in qualità di osservatori, la International Atomic Energy Agency (IAEA) e la Nuclear Energy Agency (NEA), che fornisce anche la segreteria tecnica al GIF.

Oltre 100 esperti dei 10 Paesi aderenti al GIF hanno lavorato per due anni all'esame di un centinaio di alternative tecnologiche, e – con l'emissione nel dicembre 2002 di una *Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*<sup>[3]</sup> – sono pervenuti a definire i sei concetti più promettenti per la IV Generazione di reattori nucleari, intorno a cui organizzare il successivo programma di ricerca e sviluppo. I sei sistemi nucleari selezionati dal GIF sono:

- **Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR)** – reattori a spettro veloce, refrigerati a sodio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi (*figura 1*);
- **Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)** – reattori a spettro veloce, refrigerati a piombo o eutettico piom-



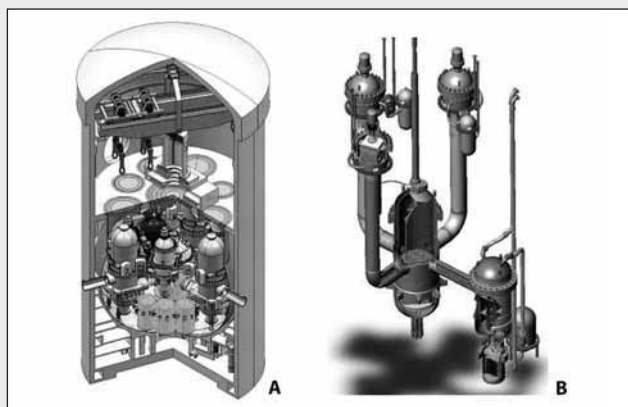
**Figura 1**  
Progetti concettuali di SFR di IV generazione a loop e, rispettivamente, a pool da 1500 MWe  
Fonte: CEA



**Figura 2**  
 Schema concettuale del LFR di IV generazione da 600 MWe denominato ELSY – European Lead-cooled SYstem  
 Fonte: Ansaldo Nucleare

bo-bismuto e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi (figura 2);

- **Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)** – reattori a spettro veloce, refrigerati a elio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi (figura 3);



**Figura 3**  
 A: Schema di GFR da 1200 MWe  
 B: Schema di GFR sperimentale da 50-100 MWth  
 Fonte: CEA

- **Molten Salt Reactor (MSR)** – reattori a fissione prodotta in una miscela circolante di sali fusi, con spettro epitermico (e recentemente anche veloce) e possibilità di gestione degli attinidi;
- **Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR)** – reattore refrigerato ad acqua a temperatura e pressione oltre il punto critico, a spettro termico o veloce;
- **Very-High-Temperature Reactor (VHTR)** – reattore moderato a grafite e refrigerato ad elio, con ciclo *once-through*. Questo reattore è ottimizzato per la produzione termochimica di idrogeno, oltre che di elettricità.

Come si può notare, in GIF grande rilevanza viene data ai reattori nucleari a spettro neutronico veloce operanti in ciclo chiuso.

Ogni paese partecipante al GIF si concentra, con proprie attività di R&S, su quei sistemi e su quelle linee di ricerca che rivestono il maggior interesse nazionale. Pertanto in una seconda fase, che si è sviluppata dal 2002 al 2005, per ognuno dei sei sistemi selezionati i paesi interessati ad un dato sistema hanno elaborato un piano di R&S che include anche un quadro regolamentario riguardante le problematiche di proprietà intellettuale ecc. Questa fase si è conclusa nel febbraio



2005 con un accordo intergovernativo (il cosiddetto *Framework Agreement*) attualmente siglato da otto membri attivi del GIF, ovvero: Canada, Cina, Euratom, Francia, Giappone, Corea, Svizzera e Stati Uniti. La firma del *Framework Agreement* da parte di Euratom consente di fatto a tutti gli Stati dell'Unione Europea di contribuire alla fase di R&S del GIF, tramite l'Euratom. Una nuova fase di lavoro è iniziata nel 2006 con la definizione di accordi formali per ciascun sistema nucleare (i cosiddetti *System Arrangement*) e la definizione di specifici progetti (*Project Arrangement*) di R&S all'interno dei *System Arrangement*. Inoltre, per coprire argomenti comuni a tutti e sei i sistemi, sono stati creati 3 *Methodology Working Groups* (*Proliferation Resistance and Physical Protection, Economic Modelling, and Risk and Safety*) che hanno sviluppato metodologie di valutazione nelle maggiori aree tecnologiche trasversali.

Il primo *Project Arrangement* è stato firmato nel marzo 2007 e riguarda lo sviluppo di combustibili avanzati per l'SFR (in realtà tali sviluppi sono di interesse anche per il LFR). Successivamente sono stati firmati due ulteriori *Project Arrangement* riguardanti il progetto dei componenti e del *Balance of Plant* del SFR ed il progetto *Global Actinide Cycle International Demonstration* (GACID) che mira a dimostrare su scala significativa che i reattori veloci sono effettivamente in grado di gestire l'intero inventario di attinidi presenti nel combustibile irraggiato.

Sempre in ambito internazionale, i sistemi di IV generazione ed i relativi cicli del combustibile sono studiati anche nelle altre due iniziative parallele al GIF e precisamente:

- INPRO *International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycle della IAEA*<sup>[4]</sup>;
- GNEP, *Global Nuclear Energy Partnership* lanciata nel 2006 dall'amministrazione USA<sup>[5]</sup>.

L'Italia è membro effettivo di entrambe le iniziative.

A livello nazionale, e in particolare nell'ambito dell'AdP MSE-ENEA, gli sforzi si stanno concentrando su due dei sei sistemi descritti precedentemente, ovvero il LFR e il VHTR, che sembrano particolarmente adatti a valorizzare le compe-

tenze e le infrastrutture di ricerca presenti in Italia. Per maggiori dettagli su queste due tipologie di reattori vedi l'articolo a pag. 6.

## L'Europa ed i sistemi nucleari di IV generazione

L'Europa sta già fortemente contribuendo a GIF in quanto nel corso dei VI e VII Programmi Quadro Euratom ha lanciato, e sta lanciando, una serie di progetti sia specificamente indirizzati al progetto concettuale dei sei sistemi selezionati e della *facility* di irraggiamento a spettro neutronico veloce per lo sviluppo di tecnologie di IV generazione, sia riguardanti tematiche di carattere orizzontale quali: i materiali ed i combustibili innovativi contenenti attinidi minori, la sicurezza di questi reattori innovativi, i metodi di simulazione e la loro qualifica sperimentale per la progettazione di sistemi di IV generazione, lo sviluppo di metodologie di separazione e trasmutazione degli attinidi ecc.

A ciò si aggiunge che, nell'ambito delle iniziative legate al cosiddetto *Strategic Energy Technology Plan* (SET-Plan<sup>[6]</sup>) e sotto l'egida della *European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform* (SNETP<sup>[7]</sup>), ovvero il luogo di tutti gli *stakeholder* europei del settore nucleare, sta per essere lanciata la cosiddetta *European Sustainable Nuclear Industrial Initiative* (ESNII), incentrata sullo sviluppo delle tecnologie di quarta generazione. L'iniziativa è ritenuta necessaria per abbreviare il *time to market* dei reattori veloci a ciclo chiuso di quarta generazione.

I principali sistemi nucleari, *facility* sperimentali e attività di R&S della ESNII sono già stati stabiliti da una task force europea di SNETP che vede la partecipazione anche di organizzazioni italiane quali Ansaldo Nucleare ed ENEA, e sono schematicamente rappresentati nella *figura 4*.

In sintesi la ESNII riguarderà dunque:

- la realizzazione in Francia, all'orizzonte del 2020, di un prototipo, denominato ASTRID, di *SFR* di IV generazione, ovvero di un reattore veloce da 250 a 600 MWe della tecnologia ritenuta più matura in quanto già provata in molti paesi (*tabella 1*);

- la realizzazione, in un sito ancora da stabilire e verosimilmente verso il 2025, di un dimostrativo da un centinaio di MW di reattore veloce di IV generazione di tecnologia alternativa al sodio: o LFR o GFR. La scelta fra queste due tecnologie alternative al sodio è attesa per il 2012;
- il ciclo del combustibile, con particolare riferimento alla *facility* per la produzione del combustibile nucleare (U-Pu e con attinidi minori) per i prototipi di reattore veloce sopra menzionati;
- la realizzazione ed esercizio di impianti "freddi" (cioè senza presenza di materiale nucleare e/o radioattivo) per prove sperimentali (di termo-fluidodinamica, di sicurezza, di compatibilità dei materiali, di sviluppo componenti e sistemi ecc.) di supporto allo sviluppo dei sistemi nucleari inclusi in ESNII;
- la realizzazione, con entrata in esercizio al 2020, di una *facility* di irraggiamento a spettro neutronico veloce, con particolare riferimento al reattore (critico o sottocritico) MYRRHA (figura 5), proposto da SCK.CEN (Mol, Belgio). Tale *facility* è ritenuta essenziale per le prove di qualifica di materiali e combustibili innovativi (contenenti alte percentuali di attinidi minori) da utilizzarsi nei reattori veloci di IV generazione sopra menzionati.

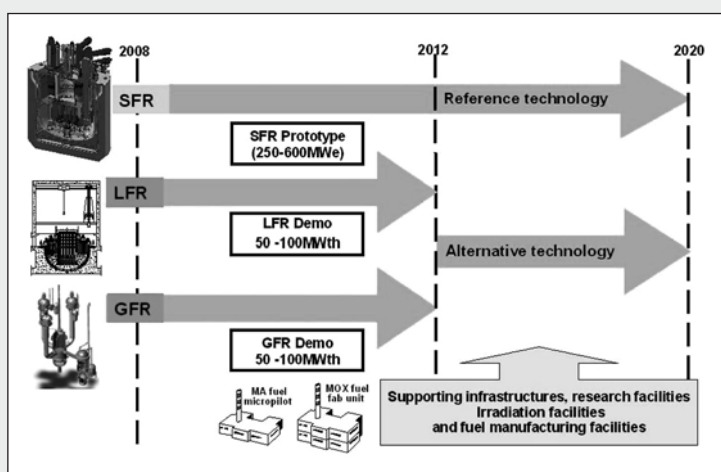
- un programma di R&S orizzontale funzionale ai prototipi, dimostrativi e *facility* sperimentali previsti in ESNII.

I costi complessivi sono stati valutati fra i 6 e i 10 miliardi di euro e dovranno essere coperti da partnership pubblico-privato (sono, ad esempio, previsti prestiti da parte della Banca Europea per gli Investimenti).

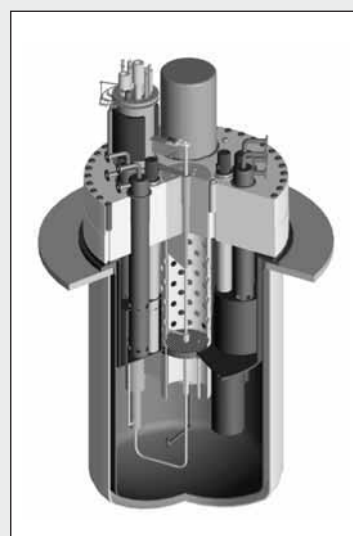
### L'Italia e le tecnologie nucleari di IV generazione

L'Italia (ENEA, Ansaldo Nucleare, CIRTEN e ERSE), contribuendo in maniera importante ad un numero significativo di progetti nucleari del VI e del VII Programma Quadro Euratom e in quanto membro di SNETP ed ESNII, partecipa di fatto all'iniziativa Generation IV tramite l'Euratom. Inoltre due italiani rappresentano l'Euratom rispettivamente nel *Provisional System Steering Committee* del *Lead-cooled Fast Reactor* e nel *Methodology Working Group PP&PR*.

Importanti attività riguardanti le tecnologie di IV generazione e complementari a quelle sviluppate in GIF e nei Programmi Quadro Euratom, sono anche portate avanti nell'ambito di un Accordo di Programma triennale di R&S siglato fra il Ministero del-



**Figura 4**  
Roadmap di tecnologie di IV generazione elaborata in Europa da ESNII  
Fonte: ESNII Task Force



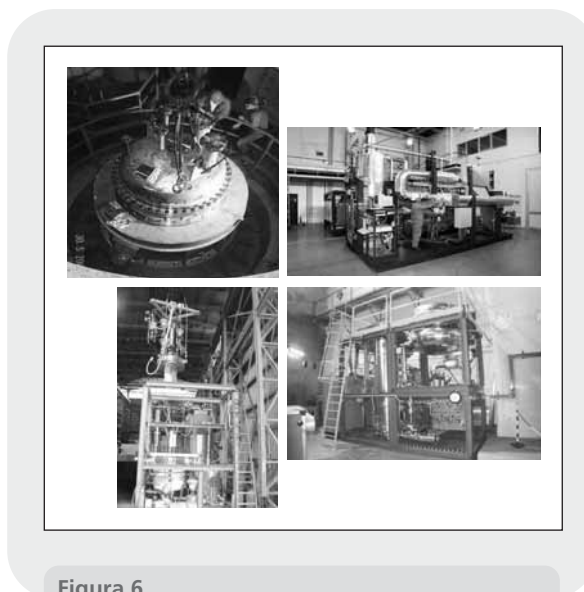
**Figura 5**  
Schema della *facility* di irraggiamento MYRRHA proposta da SCK.CEN (Belgio)  
Fonte: SCK.CEN

lo Sviluppo Economico e l'ENEA nel 2007 (vedi l'articolo a pag. 6).

Grazie a questo programma, nonché a finanziamenti derivanti dai precedenti programmi TRASCO (TRASmutazione SCORie) del MiUR per lo sviluppo dei cosiddetti *Accelerator Driven System* per la trasmutazione delle scorie, l'ENEA, presso il proprio Centro del Brasimone dell'Emilia Romagna, ha potuto sviluppare una serie di impianti sperimentali funzionali ai sistemi nucleari di IV generazione, di cui alcuni sono mostrati nelle *figura 6*.

L'obiettivo strategico per l'Italia è di sfruttare le competenze ancora esistenti per partecipare a pieno titolo allo sviluppo di un reattore di quarta generazione quale il *Lead-cooled Fast Reactor* e/o il *Sodium Fast Reactor* e/o il *Very High Temperature Reactor* in ambito Euratom e GIF. Così facendo, da un lato si contribuirà a ricreare le competenze e le infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per la ripresa del settore nucleare in Italia e, dall'altro, si metterà l'industria nazionale in grado di partecipare in maniera significativa alla progettazione e realizzazione di un prototipo o di un dimostrativo europeo di reattore veloce di IV generazione (inclusa la *facility* di irraggiamento a spettro neutronico veloce più volte menzionata).

Va anche notato come lo sviluppo e la realizzazione di reattori o impianti dimostrativi per le tecnologie di IV generazione non siano da intendersi alternativi alla realizzazione di impianti di generazione III e III+ e come ambedue le tecnologie, oltretutto con notevoli sinergie, possano avere un importante impatto sul substrato industriale, economico, sociale e tecnologico. In generale la realizzazione di impianti



**Figura 6**

Impianti sperimentali a metallo liquido pesante (piombo e lega piombo-bismuto) del Centro ENEA-Brasimone, a supporto del LFR di IV generazione

Fonte: ENEA

ti nucleari presuppone l'esistenza di strutture di ricerca, di controllo, di supporto, di fornitura ecc. che costituiscono il vero obiettivo strategico per il Paese in termini di ricadute socio-economiche.

Risulta quindi essenziale per l'Italia prevedere un'articolata struttura organizzativa, un 'Sistema Italia', da sviluppare e di cui avvalersi sia per la realizzazione degli impianti nucleari attualmente disponibili sul mercato sia per l'implementazione delle nuove tecnologie nucleari considerate in ambito GIF e SNETP/ESNII.

## Bibliografia

- [1] OECD/NEA-IAEA - Uranium 2007: Resources, Production and Demand.
- [2] GIF, Generation IV International Forum, <http://www.gen-4.org/>
- [3] The Generation IV International Forum, A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, 2002.
- [4] INPRO, International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPTDS/Projects/INPRO/index.html>
- [5] GNEP, Global Nuclear Energy Partnership, <http://www.gnep.energy.gov/>
- [6] Commission of the European Communities, A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan): towards a low carbon future, COM(2007) 723.
- [7] SNETP, Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, <http://www.snetp.eu/>