

## Il nucleare da fissione: quadro internazionale e prospettive per l'Italia

Stefano Monti

ENEA  
Dipartimento Fusione,  
Tecnologie e Presidio Nucleare

*Le preoccupazioni ambientali e dei costi dell'energia stanno riproponendo in tutto il mondo il nucleare da fissione. Per quanto riguarda l'Italia, il mondo della ricerca può contribuire al rilancio dei programmi nazionali sul nucleare da fissione, attraverso l'alta formazione e l'immissione di giovani tecnici e ricercatori nelle attività di R&S, nonché favorendo una immediata partecipazione del sistema italiano nelle principali iniziative europee ed internazionali sul nucleare sostenibile*



stefano.monti@bologna.enea.it

## Nuclear fission energy: the international scene and the outlook for Italy

*Because of concerns about the environment, energy security and energy costs, fission nuclear energy is gaining ground again around the world. In Italy, the research community can help relaunch the national nuclear programmes by providing advanced training, recruiting young engineers and researchers for R&D activities, and furthering an immediate cooperation of the Italian system in the principal European and international projects on sustainable nuclear energy*

Il mondo ha bisogno di energia, ne ha bisogno in quantità sempre maggiori e chiede alla scienza e alla tecnologia risposte concrete, credibili, da veder realizzate in un arco di tempo accettabile.

Il mondo si sta surriscaldando e anche questo problema vuole soluzioni veloci e non procrastinabili.

Che fare? In entrambi i casi servono interventi a breve, medio e lungo termine.

Al quadruplicarsi della popolazione mondiale nel XX secolo è corrisposta una potenza primaria impiegata 16 volte superiore, ottenuta per lo più col ricorso a combustibili fossili, che hanno rilasciato nell'atmosfera quantità tali di CO<sub>2</sub> da far prevedere ai climatologi, anche a quelli meno catastofisti, cambiamenti climatici preoccupanti [1].

Ridurre le emissioni sarebbe possibile se tutti i paesi, sia quelli postindustriali, sia quelli in rapida espansione industriale (in primis Cina e India), adottassero le risoluzioni definite nei vari



simposi e contesti internazionali (Kyoto, post-Kyoto, EU Energy Policy ecc.), ma, da un lato ciò non avviene, dall'altro queste misure potrebbero non essere sufficienti e lasciano, comunque, aperto il problema della sicurezza dell'approvvigionamento energetico.

Le fonti rinnovabili, dall'eolico al solare, pur proponendosi come possibili alternative, riuscirebbero solo in minima percentuale ed a costi attualmente ancora troppo elevati, a dare un contributo, che non risulterebbe però determinate, in quanto richiedono condizioni climatiche particolari e costanti, impianti suppletivi per garantire la continuità di erogazione dell'energia, occupazione di immense superfici.

Idroelettrico e nucleare da fissione sono, al momento, le uniche due fonti energetiche in grado di produrre continuamente e massivamente energia elettrica senza emissioni di CO<sub>2</sub>: un mix energetico equilibrato - composto da energie rinnovabili, fonti fossili ma utilizzate con tecniche innovative per la riduzione delle emissioni ed il sequestro della CO<sub>2</sub> e, appunto, nucleare - sembra quindi, nella situazione attuale, l'unica soluzione percorribile per affrontare la triplice problematica sicurezza dell'approvvigionamento energetico, riduzione delle emissioni di gas serra, costi competitivi: ciò significa restituire al nucleare da fissione il suo ruolo in questo mix energetico.

Il combustibile fossile più utilizzato per produrre energia è il carbone; proviamo allora a fare un confronto: con 1 kg di U<sup>235</sup> si produce una quantità di energia, senza emissioni di CO<sub>2</sub>, paragonabile a quella ottenuta da 3000 tonnellate di carbone: col primo combustibile si produrrebbe 1 kg di

rifiuti nucleari, col secondo 10.000 tonnellate di CO<sub>2</sub>, altri inquinanti gassosi dispersi nell'atmosfera, centinaia di tonnellate di ceneri, anch'esse piuttosto radioattive.

È ben vero che i rifiuti nucleari provenienti dalle centrali nucleari sono, in parte, altamente radioattivi e decadono in tempi geologici, ma è altrettanto vero che, se rigorosamente controllati e confinati, non sono più pericolosi di altre sostanze solo apparentemente meno nocive. La ricerca in corso permetterà poi, nel giro di qualche decina di anni, di ridurre notevolmente questo problema. Infatti, il ritrattamento ed il riciclo del combustibile in reattori di quarta generazione a spettro neutronico veloce e/o in sistemi nucleari sottocritici "trasmutatori" (ADS, Accelerator Driven System), separando e trasmutando gli elementi radioattivi a vita lunga in elementi a vita breve, permetterà, in un futuro abbastanza prossimo, di ridurre fortemente i volumi dei rifiuti radioattivi, il loro tempo di decadimento, la radiotossicità ed il carico termico sul deposito geologico. Il riciclo del combustibile consentirà, inoltre, un migliore sfruttamento delle risorse naturali, rendendo il nucleare una fonte praticamente inesauribile.

Il nucleare è economicamente competitivo: a fronte di un consistente impegno iniziale di capitali, controbilanciato da un costo del combustibile che pesa solo qualche per cento sul costo del kWh nucleare, tutti i più autorevoli studi economici recenti [2] sono concordi nell'affermare che, con gli attuali costi dei combustibili fossili, l'energia nucleare è competitiva anche rispetto alla fonte più economica, il carbone.

Per quanto riguarda la sicurezza, gli oltre 10.000 reattori-anno di operazione

hanno dimostrato una sostanziale assenza di problemi per tutti gli impianti nucleari progettati, costruiti e gestiti secondo gli standard occidentali. Si può anzi affermare che non vi è, probabilmente, altra tecnologia utilizzata su grande scala in tutto il mondo che abbia dimostrato un così elevato livello di sicurezza e per la quale siano stati studiati così a fondo gli effetti sulla salute. In particolare, un'analisi statistica esaustiva dell'intera filiera (dalla estrazione delle materie prime all'operazione degli impianti fino all'impatto delle emissioni e dei residui sull'ambiente e sulla salute) dimostra che quella nucleare è una tecnologia più controllabile e affidabile di altre tecnologie energetiche [3]. Ciò è evidentemente dovuto al fatto che fin dall'inizio del programma per le applicazioni civili dell'energia nucleare, almeno in Occidente, venne data la massima priorità ai criteri di sicurezza. Non si vuole certamente sminuire la gravità e la severità dell'incidente di Chernobyl, ma da allora la situazione è cambiata, perché quell'evento, peraltro frutto di una tecnologia nucleare obsoleta e mal gestita, è stato un monito forte e chiaro per scienziati, tecnici e politici. La ricerca, anche dove non trasformata in applicazione, come in Italia, è proseguita con sempre maggiore attenzione per la sicurezza, i reattori si sono evoluti, la III Generazione è già in fase esecutiva, la IV lo sarà nel giro di qualche decina di anni e anche paesi con forte vocazione ambientalista, e che avevano accantonato l'opzione dell'atomo, stanno ridisegnando le proprie strategie energetiche nell'ottica del nucleare. Per quanto riguarda l'Italia, nonostante i naturali depauperamenti conseguenti all'abbandono del nucleare nell'epoca post-Chernobyl, sono state con-

servate vive ed implementate le competenze nel settore, attraverso la faticosa e costante partecipazione a progetti europei ed internazionali da parte di varie organizzazioni di ricerca (ENEA, INFN, CIRTEC ecc.) e soggetti industriali (ENEL, Ansaldo Nucleare, SOGIN, Mangiarotti Nuclear, Techint, SRS Group ecc.) ed al mantenimento di corsi universitari in Ingegneria Nucleare, almeno in alcuni atenei (Politecnici di Milano e Torino, Università di Pisa, Università "La Sapienza" di Roma, Università di Palermo, Università di Bologna). Uno sguardo sul mondo e sull'Europa è, a questo punto, doveroso, oltre che necessario, per indurre ad una riflessione scevra da pregiudizi.

## Il panorama internazionale

Sono stati ipotizzati differenti scenari di aumento dei consumi dell'energia al 2050 ([4], [5], [6], [7]) ma la maggior parte di essi prevede che, nonostante i potenziali miglioramenti sull'intensità energetica, il consumo mondiale di energia primaria – che attualmente è pari a circa 10 Gtep<sup>1</sup> - nel 2050 si assesterà fra i 12 e i 28 Gtep. I medesimi scenari prevedono che le tre aree geografiche dove si verificheranno i maggiori consumi energetici saranno: Stati Uniti, Europa e Asia. Ad esempio, lo scenario "medio" IIA-SA B (figura 1) prevede un consumo di 19,7 Gtep nel 2050 (ovvero il raddoppio di quello del 2000). Se si considera uno scenario più moderato dettato da una crescita più sostenibile, si può ipotizzare un consumo al 2050 di 14 Gtep, ma questo scenario dovrà vedere la combinazione di:

- una gestione assai efficiente dell'energia, in grado di portare la doman-

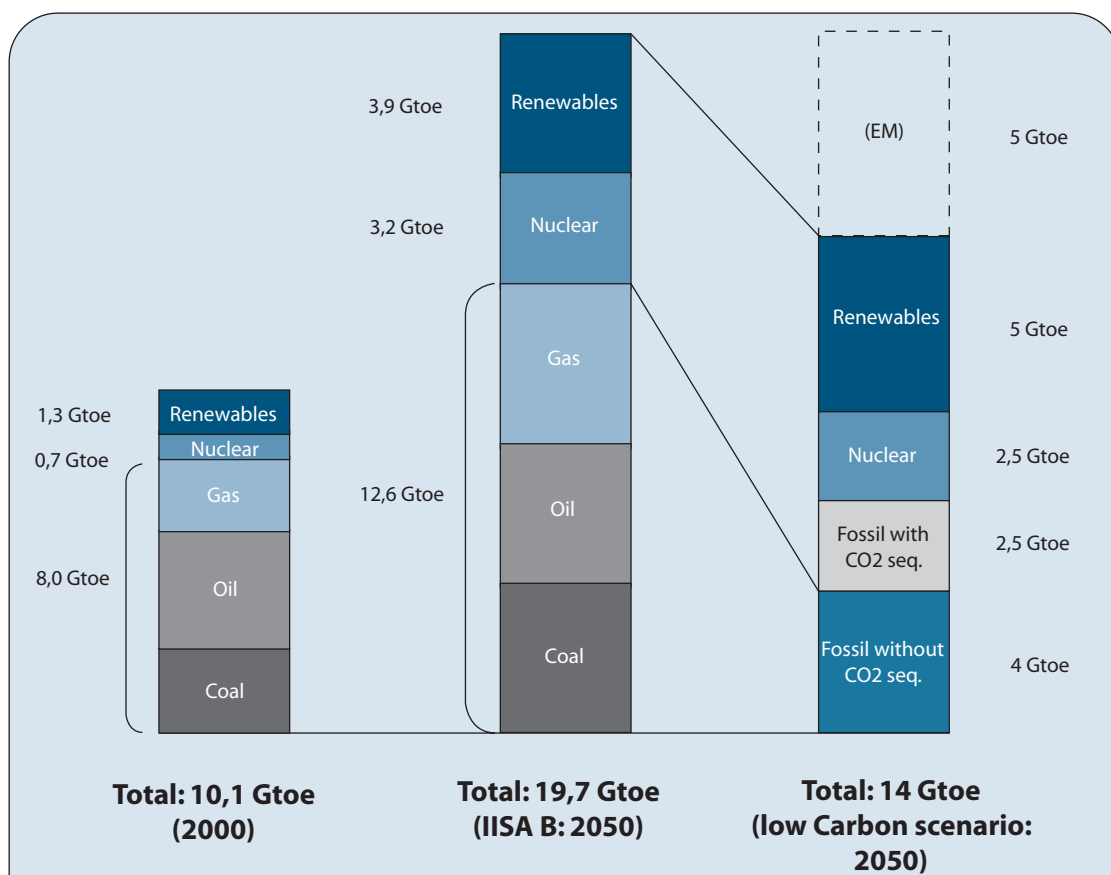
<sup>1</sup> 1 Gtep = 1 GIGA (10<sup>9</sup>) Tonnellata Equivalente di Petrolio.

da tendenziale da 19 a 14 Gtep (-5 Gtep al 2050); è in linea con l'attuale curva dello sviluppo dell'efficienza energetica;

- emissioni annuali di CO<sub>2</sub> non superiori a 3 Gton di carbone (corrispondenti a 4 Gtep di energia da combustibili fossili);
- una politica fortemente basata sulle rinnovabili: 5 Gtep/anno, incluso 1,4 Gtep/anno di idroelettrico e 0,8 Gtep/anno da energia eolica ecc.;
- energia nucleare: assumendo che il suo contributo sia limitato a coprire parzialmente il deficit lasciato dalle altre fonti energetiche al fine di soddisfare la domanda mondiale, si può prevedere un aumento graduale di produzione per via nucleare dall'attuale

0,7 Gtep/anno (7%) a 2,5 Gtep/anno (18%) nel 2050, ovvero 3,5 volte l'attuale capacità nucleare installata.

L'energia nucleare potrebbe dover essere utilizzata anche più intensamente qualora i 2,5 Gtep di energia primaria non ancora allocati (figura 1) non fossero ottenibili da fonti fossili con sequestro della CO<sub>2</sub>, o qualora la gestione dell'efficienza energetica e le rinnovabili non fossero in grado di raggiungere le quote sopra indicate (assai ambiziose). In estrema sintesi, la prevedibile crescita dei consumi energetici mondiali per essere sostenibile non può seguire uno schema del tipo "business as usual" ma deve necessariamente prevedere almeno tre fattori principali:



**Figura 1**  
 Possibile ruolo dell'energia nucleare in differenti scenari al 2050: esempio di uno scenario a 14 Gtep dove l'energia nucleare rappresenterebbe 2,5 Gtep (corrispondenti ad una capacità installata di 1300 GWe)  
 Fonte: WEC IASA B

- una forte politica di risparmio energetico;
- uno sviluppo molto ambizioso delle energie rinnovabili;
- l'ulteriore sviluppo dell'energia nucleare.

#### *La situazione attuale dell'energia nucleare nel mondo*

Sono in operazione nel mondo 439 reattori nucleari di potenza (quasi tutti di seconda generazione), per una potenza installata di 372 GWe in servizio in 30 paesi, che copre circa il 16% della produzione mondiale di energia elettrica [8].

Si osserva a livello mondiale una vera e propria rinascita dell'energia nucleare, contrassegnata da 34 impianti nucleari di potenza in costruzione, 93 ordinati o pianificati (e.g. approvati e finanziati e che si pensa saranno in funzione entro 8 anni), 222 proposti, senza contare le innumerevoli richieste di prolungamento a 50-60 anni della vita degli impianti attualmente in esercizio, presentate alle varie autorità di sicurezza nel mondo.

Ovviamente questo nuovo impulso nella costruzione di impianti nucleari ha rimesso al centro dell'attenzione la questione della disponibilità del combustibile nucleare. Le attuali riserve uranifere mondiali sono di 4,7 milioni di tonnellate, quelle che potrebbero essere sfruttate circa 15 milioni di tonnellate [9]. L'attuale consumo di 67.000 t di uranio all'anno crescerebbe a 90.000 t all'anno nell'ipotesi che da oggi al 2025 si passi ad una potenza nucleare installata compresa fra 449 e 553 GWe. Assumendo che l'attuale capacità nucleare installata di 370 GWe cresca fino a 1300 GWe nel 2050 (v. sce-

nario di cui alla figura 1) e che a quella data l'intero parco reattori mondiale sia composto da *Light Water Reactor* (LWR) a ciclo aperto (come è attualmente quasi al 100%), le risorse uranifere mondiali sarebbero completamente "esaurite" nell'arco della vita di quei reattori. Questo fatto, unitamente alla necessità di minimizzare i rifiuti radioattivi mediante riciclo del combustibile irraggiato, è la ragione principale del lancio di iniziative internazionali atte a promuovere l'immediato sviluppo ed il futuro utilizzo, attorno al 2030-2040, di reattori a spettro neutronico veloce con un ciclo del combustibile chiuso. Il ricorso a tali cicli - che prevedono l'utilizzo come combustibile nucleare non solo dell'uranio (naturale ed impoverito) ma anche del plutonio derivante dal ritrattamento del combustibile irraggiato - permette di moltiplicare l'energia potenzialmente producibile per via nucleare di un fattore 100, a parità di uranio utilizzato. In tal modo l'energia nucleare da fissione diviene una potenziale fonte di energia per migliaia di anni.

Per quanto riguarda l'altro problema già accennato della gestione del combustibile esaurito, esistono oggi soluzioni tecniche per lo stoccaggio sicuro e definitivo dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita. Ad esempio negli Stati Uniti, in Francia, in Finlandia e in Svezia, dopo un ampio dibattito pubblico e l'acquisizione del parere di autorevoli comitati, si è adottato un programma nazionale per lo stoccaggio finale di tali rifiuti. Occorre peraltro notare che, nonostante i rifiuti nucleari rappresentino un volume molto ridotto rispetto a quelli generati dalle altre attività industriali<sup>2</sup>, la per-

<sup>2</sup> Come riportato nel «Rapport No. 3003 Assemblée Nationale, relatif à la gestion des matières et des déchets radioactifs», Cl. Birraux, 29 mars 2006, in Francia, dove sono in esercizio 58 impianti nucleari di potenza, si produce un kg di rifiuti nucleari all'anno e per abitante, di cui solo 10 gr rappresentano rifiuti radioattivi a lunga vita, che vanno comparati con i 100 kg di rifiuti industriali e a 2500 kg di rifiuti solidi urbani.

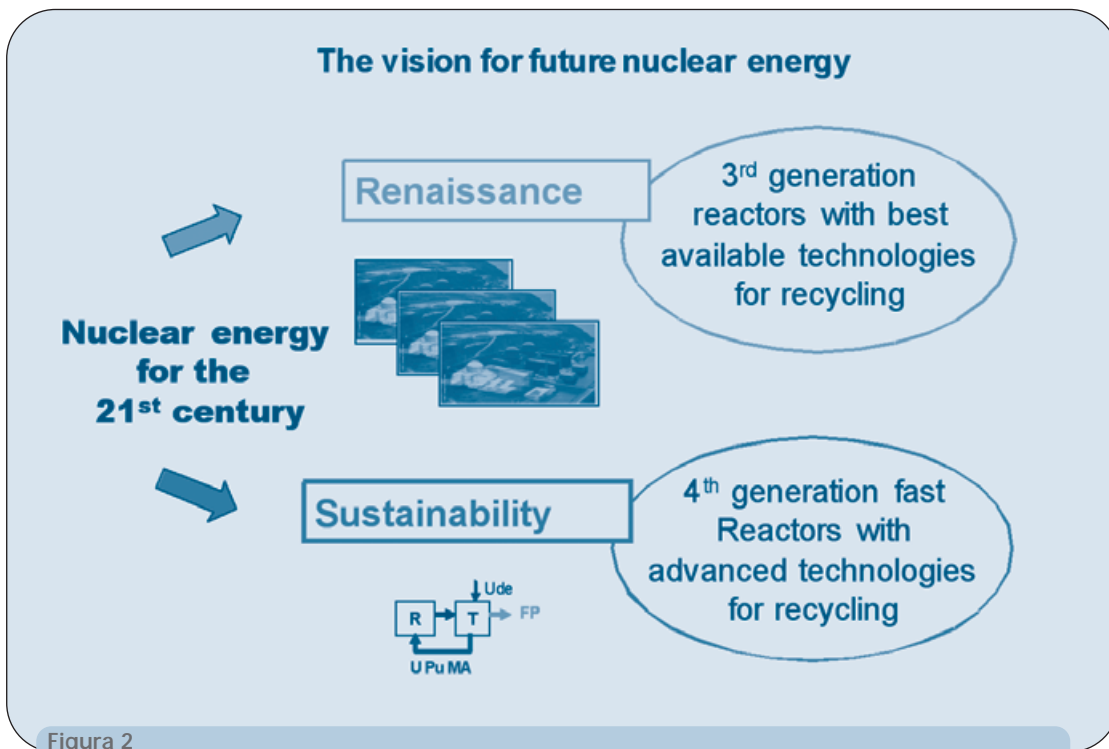


Figura 2  
Sostenibilità dell'energia nucleare  
Fonte: SNETP, Sustainable Nuclear Energy Technology Platform

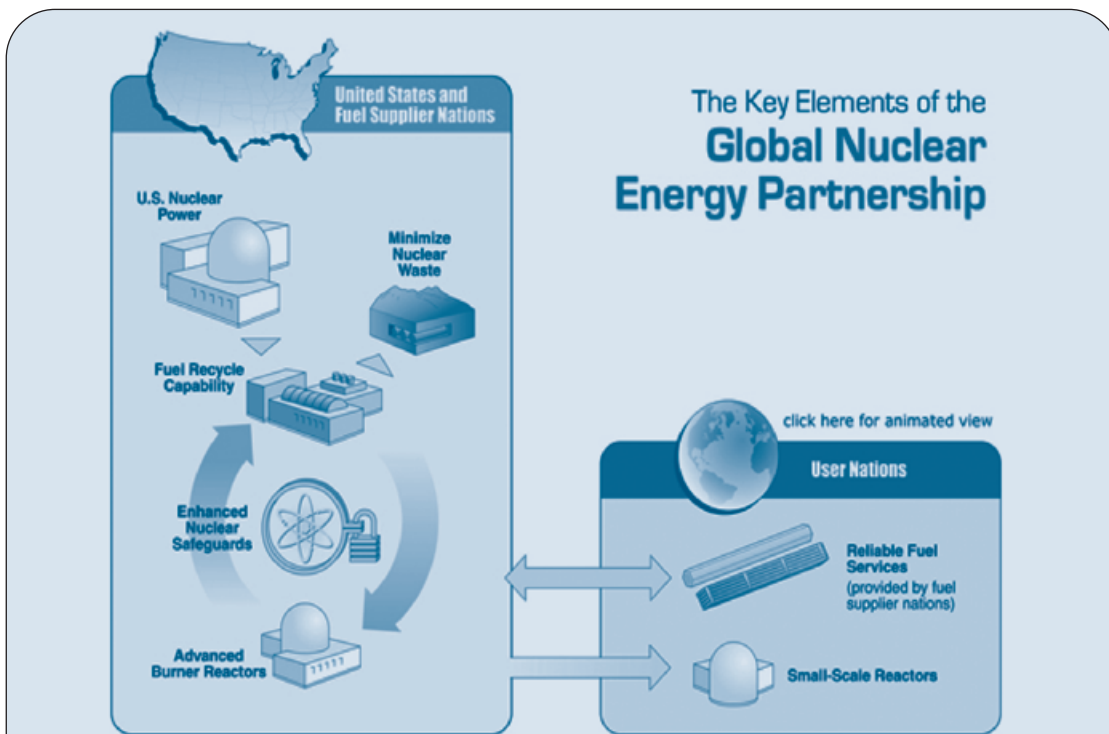
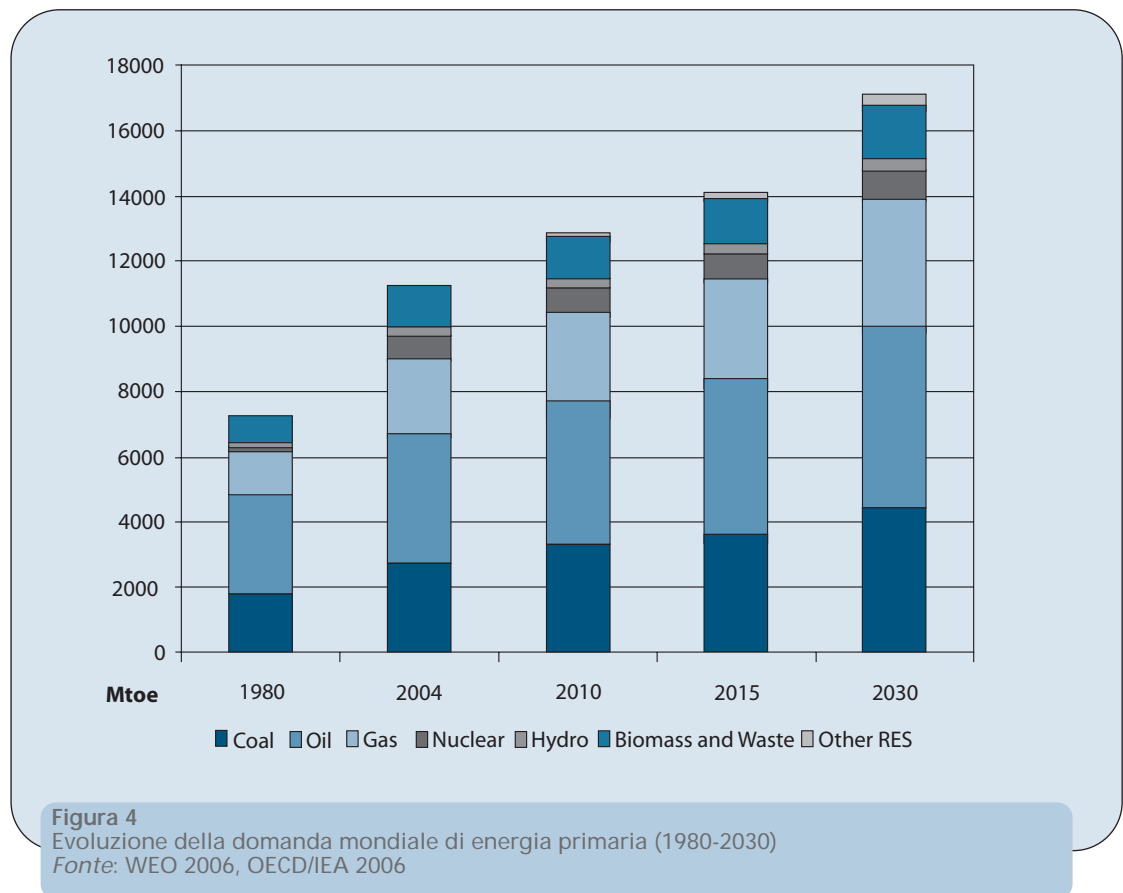


Figura 3  
Schema di implementazione dell'energia nucleare nel mondo proposto dalla Global Nuclear Energy Partnership  
Fonte: GNEP, Global Nuclear Energy Partnership

cezione pubblica della pericolosità per l'uomo e l'ambiente di tali rifiuti resta particolarmente elevata. Per tale motivo - e per raggiungere l'obiettivo tecnico di ridurre i requisiti del deposito geologico - sono state recentemente intraprese rilevanti attività di R&S che mirano alla drastica riduzione dei rifiuti radioattivi a lunga vita mediante tecniche di separazione e trasmutazione. In particolare, la separazione ed il riciclo degli attinidi<sup>3</sup> in sistemi nucleari a spettro neutronico veloce permettono di ridurre il carico termico, il volume ed il tempo di confinamento dei rifiuti radioattivi che richiedono un deposito geologico. Recenti sviluppi hanno mostrato che è possibile ottenere elevatissimi tassi

di separazione degli attinidi dal resto del combustibile nucleare esausto: questo fatto apre la via alla possibilità di "trasmutare" questi elementi in un sistema a spettro nucleare veloce (critico o sottocritico), utilizzando il loro potenziale energetico e, nello stesso tempo, eliminandoli come materiali radioattivi a lunga vita. In sintesi, l'adozione di cicli del combustibile basati sull'utilizzo di reattori nucleari a spettro neutronico veloce e sulla separazione spinta ed il riciclo degli attinidi nei medesimi reattori consente un utilizzo ottimale delle risorse naturali e la minimizzazione dei rifiuti radioattivi da inviare al deposito geologico; è in questo che consiste il cosiddetto nucleare da fissione "sostenibile" (figura 2).



<sup>3</sup> Attinidi o attinoidi: i 15 elementi chimici radioattivi della tavola periodica, con numeri atomici compresi fra 89 e 103.



Infine, volendo completare il quadro dei principali aspetti dell'energia nucleare da fissione con considerazioni relative alla competitività presente e futura di questa fonte energetica rispetto alle altre "base load energy", è sufficiente ricordare quanto riportato nell'*IEA World Energy Outlook*

2006: "I nuovi impianti nucleari di potenza sarebbero in grado di produrre l'elettricità ad un costo di meno di 5 centesimi di \$ USA per kWh, se i rischi di costruzione ed operazione fossero adeguatamente gestiti dai costruttori di impianti e dalle compagnie energetiche" e ancora: "A 10 \$ USA per ton-

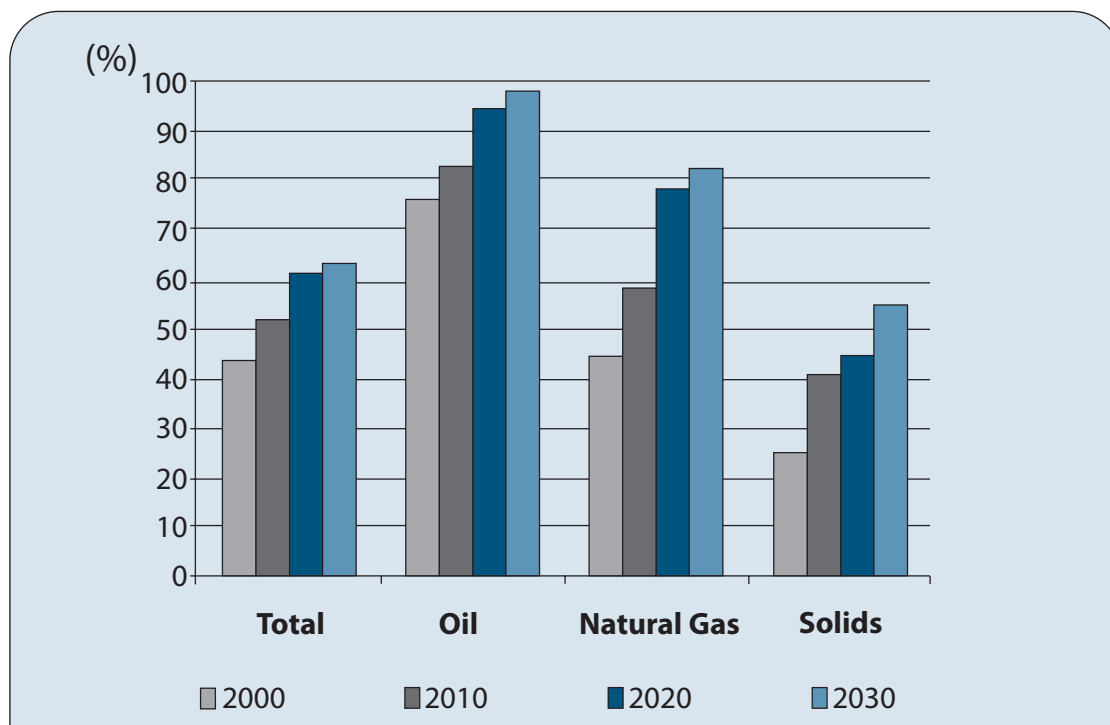


Figura 5  
EU-27: dipendenza energetica al 2030  
Fonte: Commissione Europea, DG TREN; PRIMES

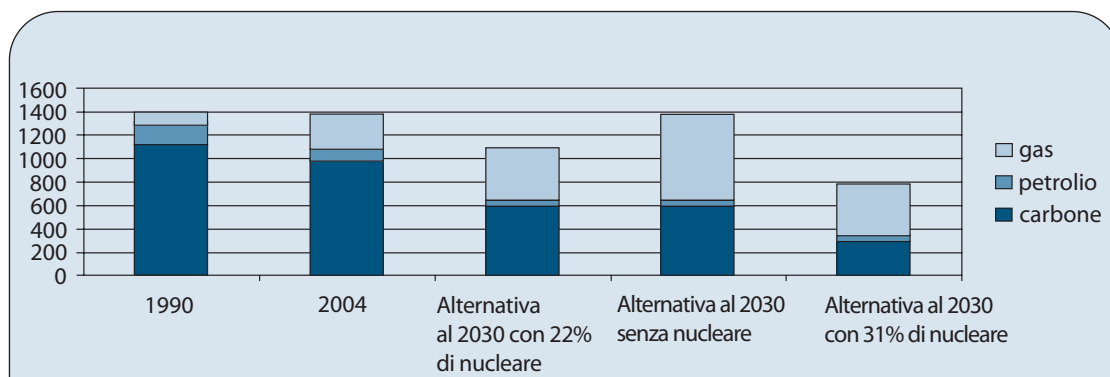


Figura 6  
Emissioni di CO<sub>2</sub> da produzione di energia elettrica nell'UE (Mt)  
Fonte: elaborazione ENEA da World Energy Outlook 2006, OECD/IEA, 2006



nellata di CO<sub>2</sub> emessa, il nucleare sarebbe competitivo con gli impianti a carbone. La prossima generazione di impianti nucleari dovrebbe ridurre ulteriormente questi costi”.

Per quanto riguarda i *trend* tecnologici a medio-lungo termine, le iniziative internazionali più rilevanti indirizzate ad un nuovo nucleare da fissione sostenibile e competitivo sono:

- *Generation IV* [10], lanciata dal *Department of Energy* (DOE) americano nel 2000, a cui l'Italia partecipa tramite Euratom;
- INPRO – *International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles* [11], promosso nel 2000 dall'*International Atomic Energy Agency* (IAEA), in cui l'Italia è al momento osservatore;
- GNEP: *Global Nuclear Energy Initiative* [12] (figura 3), lanciata dal Governo americano nel 2006, in cui il Governo italiano ha siglato il relativo *Statement of Principle* nel 2007;

- SNETP: *Sustainable Nuclear Energy Technology Platform*, per quanto riguarda l'Europa [13], cui vari soggetti italiani, fra i quali l'ENEA, partecipano attivamente

## La situazione in Europa

La sicurezza dell'approvvigionamento energetico è diventata una delle maggiori preoccupazioni mondiali, in particolare per l'Europa che oggi importa il 50% della propria energia e che, mantenendo inalterata la propria politica nel settore dell'energia e dei trasporti, finirà per importare il 65% della propria energia nel 2030, con un aumento dal 57% all'84% delle proprie importazioni di gas e dall'82% al 93% di petrolio (figure 4 e 5).

Oltre alla forte dipendenza dai combustibili fossili, esiste, dunque, in Europa un rischio crescente di carenza di forniture di energia primaria. Le ri-

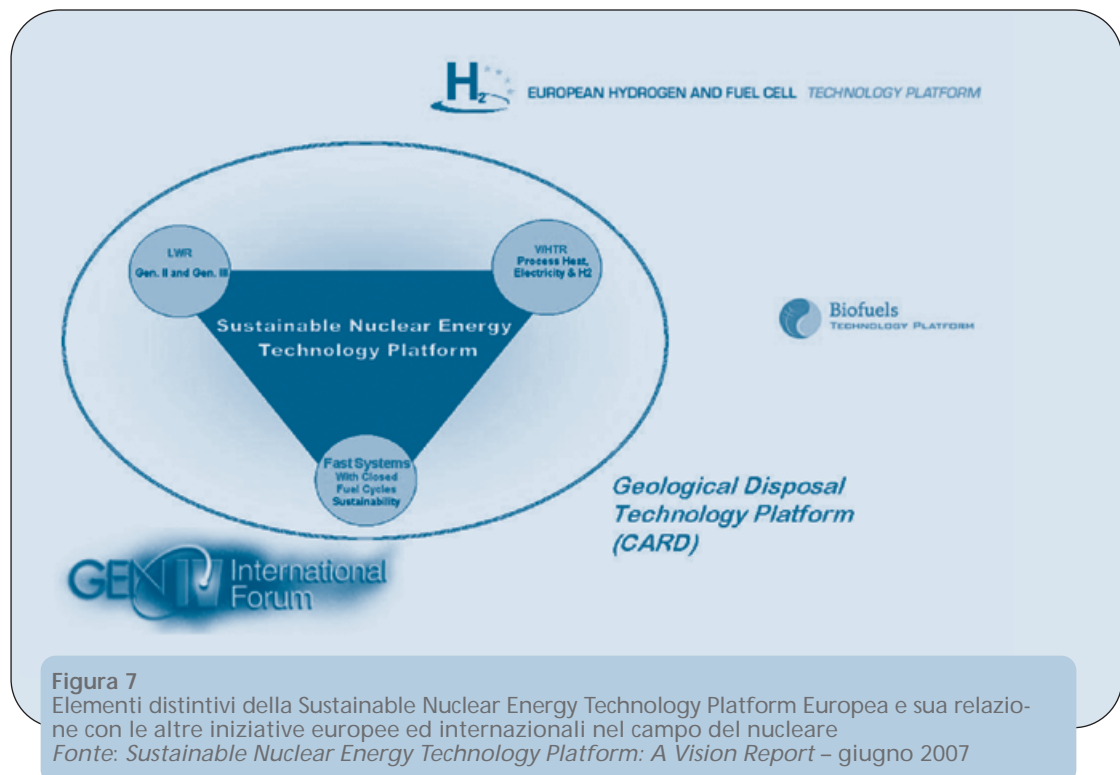


Figura 7  
Elementi distintivi della Sustainable Nuclear Energy Technology Platform Europea e sua relazione con le altre iniziative europee ed internazionali nel campo del nucleare  
Fonte: *Sustainable Nuclear Energy Technology Platform: A Vision Report* – giugno 2007



serve di combustibili fossili, ed in particolare il petrolio, sono confinate a poche aree nel mondo ed i fattori politici, economici e ambientali spesso cospirano a renderne volatili ed elevati i relativi costi.

Nello stesso tempo, le preoccupazioni ambientali impongono una forte riduzione dei gas serra. Oggi giorno, l'energia è responsabile dell'80% delle emissioni di gas serra in Europa, e con le attuali politiche nel settore dell'energia e dei trasporti tali emissioni nell'UE aumenterebbero del 5% nel 2012, in chiaro conflitto con l'obiettivo di Kyoto che impone una riduzione dell'8% delle emissioni nello stesso periodo temporale.

In sintesi, come osservato dal Consiglio Europeo in uno dei suoi ultimi summit, l'Europa deve adottare una *policy* integrata per l'energia ed il clima che miri ai seguenti tre obiettivi:

- sicurezza degli approvvigionamenti e minor dipendenza dalle importazioni extra europee di combustibili fossili per energia primaria;
- riduzione dell'emissione dei gas ad effetto serra. La maggioranza della comunità scientifica [1] ritiene attualmente che la soglia "sostenibile" di emissione annuale di gas serra di origine antropica sia inferiore a 3 Gton di carbone equivalenti, il che significherebbe per i paesi dell'UE ridurre le emissioni attuali di almeno un fattore 4;
- mantenere e anzi aumentare la competitività nella produzione di elettricità. Per i cittadini e le industrie europei è ovviamente importante evitare la delocalizzazione dei settori industriali "energivori" in altre regioni del mondo dove l'elettricità ha un costo inferiore.

L'analisi degli scenari energetici europei al 2030 presentata dalla IEA nel

suo *World Energy Outlook 2006* [6], evidenzia che il contemporaneo raggiungimento di questi tre obiettivi passa necessariamente attraverso l'ulteriore sviluppo dell'energia nucleare in Europa. Infatti, come mostrato nella figura 6, il confronto fra tre scenari di emissione di CO<sub>2</sub> da produzione di energia elettrica nel 2030 nell'UE (Scenario 1: scenario di riferimento che prevede il 22% di produzione di elettricità per via nucleare, Scenario 2: abbandono del nucleare, Scenario 3: mantenimento della quota attuale di nucleare, vale a dire 31% dell'energia elettrica totale) mostra che se si rimpiazzasse la produzione elettrica per via nucleare con quella con ciclo combinato a turbogas, anche nel caso di forte riduzione del consumo di energia elettrica e massiccio ricorso alle energie rinnovabili, l'emissione di CO<sub>2</sub> rimarrebbe allo stesso livello del 2004. Pertanto, il ricorso all'energia nucleare è essenziale se l'Europa vuole ridurre le proprie emissioni di gas serra.

Le forti preoccupazioni energetico-ambientali a livello europeo hanno indotto la Commissione Europea a pubblicare recentemente una serie di documenti che fanno esplicito riferimento al ruolo dell'energia nucleare in Europa.

Ad esempio, nell'UE Energy Policy [14] pubblicato nel 2007 si afferma che "L'energia nucleare è la maggiore fonte energetica a basso contenuto di carbonio utilizzata in Europa. Il nucleare è meno soggetto alla dinamica dei costi del combustibile rispetto a carbone e gas, in quanto l'uranio rappresenta una frazione limitata del costo totale dell'energia elettronucleare, esiste in quantità sufficienti per molte decadi ed è ampiamente distribuito sul pianeta". Il Consiglio Europeo in

marzo 2007 ha adottato un "piano d'azione" denominato "Energy policy for Europe" [15] in cui nel capitolo dedicato alle tecnologie energetiche sono incluse quelle nucleari e il supporto di R&S al fine di "migliorare ulteriormente la sicurezza nucleare e la gestione dei rifiuti radioattivi".

Queste considerazioni hanno portato la Commissione Europea a definire un cosiddetto "European Strategic Energy Technology (SET) Plan" [16] – recentemente adottato dal Consiglio Europeo - che consenta all'UE di transire verso un sistema energetico a bassa emissione di carbonio, con un mix energetico complessivo che includa:

- una considerevole quota di rinnovabili per la produzione di elettricità e di calore e per i trasporti;
- utilizzo di gas e carbone con sequestro della CO<sub>2</sub> e produzione di idrogeno;
- nucleare da fissione e, nel lungo termine, da fusione.

Il SET Plan individua il nucleare da fissione come tecnologia nel medio termi-

ne avente un potenziale significativo per fornire energia a basso tenore di carbonio. In particolare nel SET Plan, fra le principali sfide tecnologiche nel campo dell'energia che l'UE dovrà affrontare nei prossimi 10 anni, compaiono:

- la preservazione della competitività nelle tecnologie della fissione, insieme a soluzioni a lungo termine per la gestione delle scorie, per conseguire gli obiettivi fissati per il 2020;
- il completamento delle azioni preliminari per la dimostrazione di una nuova generazione (Gen-IV) di reattori a fissione per una maggiore sostenibilità, per conseguire gli obiettivi fissati per il 2050.

Per quanto riguarda la fissione nucleare, le indicazioni fornite dal SET-Plan derivano dal documento "The Sustainable Nuclear Energy Technology Platform: A Vision Report" [17], messo a punto dagli stakeholder europei del settore. Il rapporto, presentato pubblicamente nel corso del 2007, delinea una visione a breve, medio e lungo termine per l'energia nucleare da fissio-

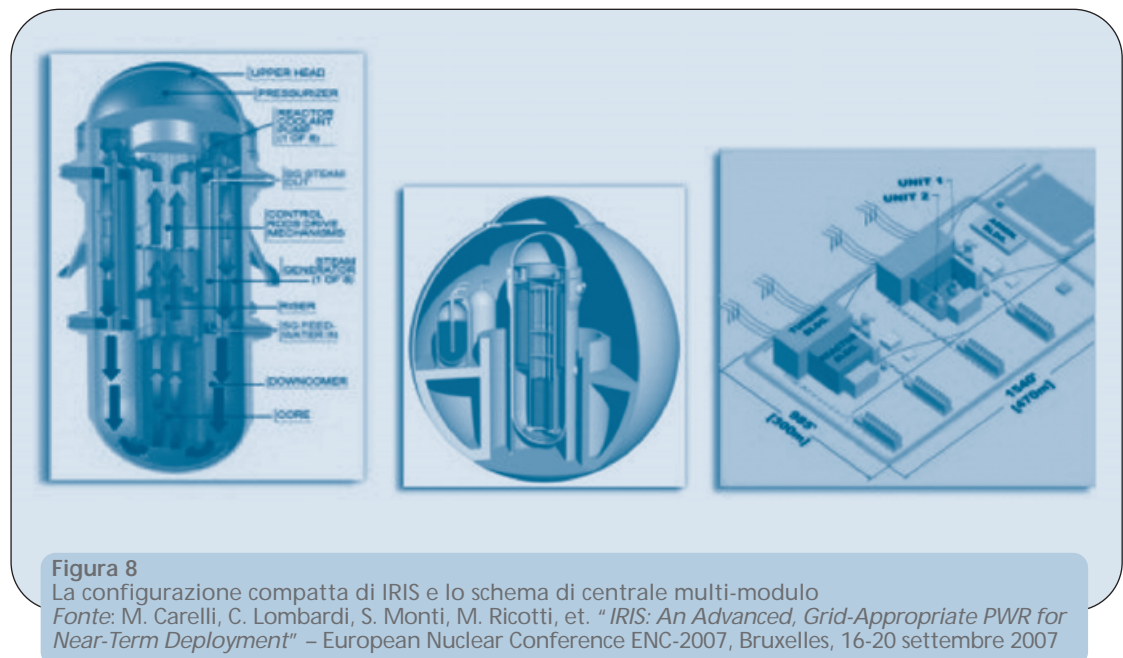


Figura 8

La configurazione compatta di IRIS e lo schema di centrale multi-modulo

Fonte: M. Carelli, C. Lombardi, S. Monti, M. Ricotti, et. "IRIS: An Advanced, Grid-Appropriate PWR for Near-Term Deployment" – European Nuclear Conference ENC-2007, Bruxelles, 16-20 settembre 2007

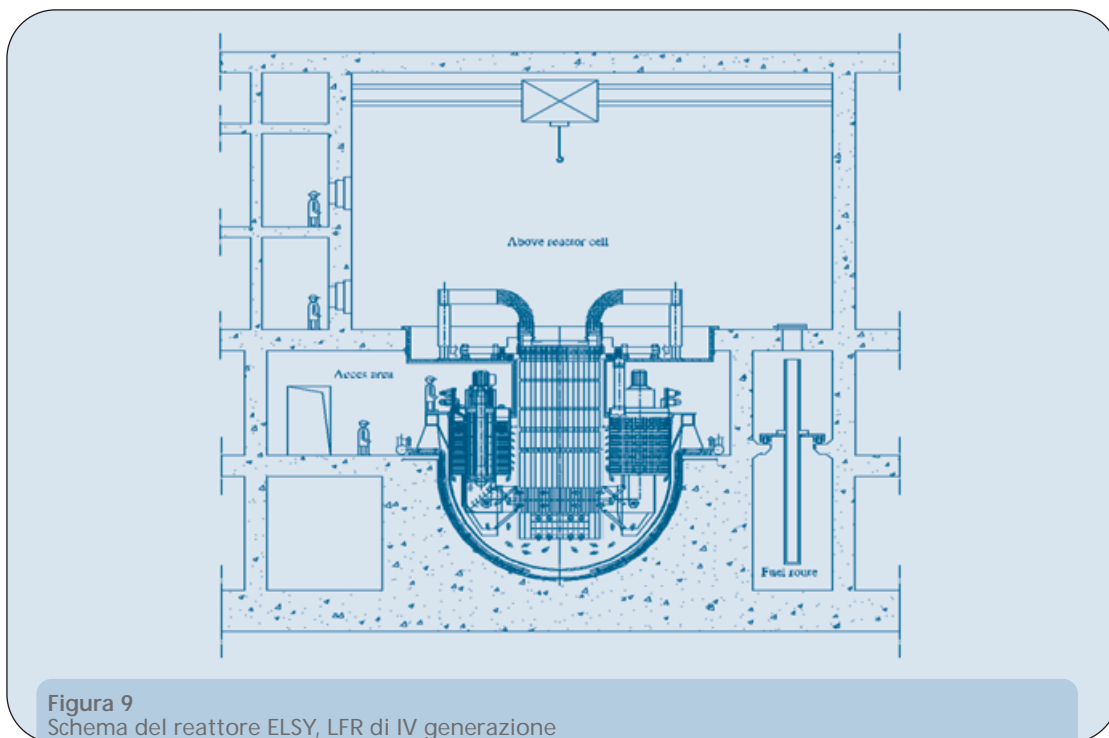


ne in Europa e supporta il lancio della "European Technology Platform on Sustainable Nuclear Energy, SNE-TP" (figura 7) avvenuto il 21 settembre 2007 a Bruxelles. La *roadmap* in esso delineata costituisce l'elemento di base per la formulazione della cosiddetta *Strategic Research Agenda* in corso di redazione e la cui prima emissione è prevista per l'autunno di quest'anno. La SNE-TP fornirà pareri e raccomandazioni alla Commissione ed ai governi nazionali per integrare i team di ricerca, e gli strumenti di R&ST, ottimizzare l'uso delle infrastrutture esistenti e la creazione di nuove, in modo tale da contribuire a creare una *European Research Area*; si occuperà, infine, di promuovere e coordinare lo sviluppo delle competenze nucleari in Europa, effettuare proposte all'UE per la preparazione e l'implementazione dei Programmi Quadro, alimentare iniziative comuni fra organismi di ricerca, industria, *utilities*, e l'UE quali i *Joint Undertaking*.

## La situazione in Italia

Per quanto riguarda l'Italia - a fronte della legge sulla ristrutturazione del settore energetico nazionale, pubblicata nell'agosto 2004, che consente ai produttori di elettricità italiani di realizzare ed operare impianti energetici, inclusi quelli nucleari, localizzati all'estero - va sottolineato il rimarchevole attivismo di ENEL nell'acquisizione di impianti nucleari all'estero e, in particolare:

- l'acquisizione del 66% del capitale di *Slovenské Elektrárne* (Repubblica Slovacca) che dispone di 5 reattori nucleari VVER (tecnologia russa). *Slovenské Elektrárne* è anche impegnata nella costruzione della centrale di Mochovce che sarà completata nel 2012;
- il controllo, attraverso la spagnola ENDESA recentemente acquisita, di 3.000 megawatt di potenza nucleare, generata da reattori con tecnologie americana;



**Figura 9**  
 Schema del reattore ELSY, LFR di IV generazione  
 Fonte: L. Cinotti, S. Monti et al., The ELSY Project, PHYSOR2008 "Nuclear Power: A Sustainable Resource", Interlaken, Svizzera, 14-19 settembre 2008

- l'accordo con l'agenzia federale russa Rosatom per la fornitura di tecnologie, in Romania, dove punta al completamento dell'impianto nucleare di Cernavoda (tecnologia canadese);
- l'accordo con la francese EDF per l'acquisizione di una quota produttiva di 200 MWe del nuovo impianto EPR (*European Pressurized Reactor*) da 1.600 MWe in corso di realizzazione a Flamanville in Normandia;
- l'offerta per il nuovo impianto nucleare di Belene, in Bulgaria.

Ansaldo Energia ha acquisito nel 2003 un contratto per il completamento dell'Unità 2 di Cernavoda (Romania) e partecipa attualmente allo studio di fattibilità per la realizzazione della terza e quarta unità. A fine 2005 Finmeccanica, a partire dalla Divisione Nucleare di Ansaldo Energia, ha dato vita ad Ansaldo Nucleare SpA la quale avvierà accordi con aziende europee per partecipare alla costruzione, nei Paesi della UE, delle centrali nucleari di nuova generazione. Nel frattempo Ansaldo Nucleare ha acquisito un'importante commessa da Toshiba-Westinghouse per la realizzazione del primo AP1000 (impianto di III generazione avanzata) in Cina, con opzione per le successive tre unità. In parallelo ha acquisito un consistente pacchetto di commesse estere relative al *decommissioning & waste management*.

Ansaldo Camozzi – recentemente acquisita da Mangiarotti Nuclear - continua con le attività di realizzazione di grossi componenti per centrali nucleari e, in particolare, ha ultimato la fornitura dei quattro generatori di vapore della Centrale di Palo Verde, i più grandi mai costruiti.

SOGIN sta progredendo nelle attività di *decommissioning & waste management* degli impianti nucleari di potenza e del

ciclo del combustibile italiani dismessi. La R&S sui reattori innovativi ed i cicli del combustibile avanzati è portata avanti principalmente da ENEA e società partecipate (SIET, Cesi Ricerca, Nucleco), ma esistono importanti attività – prima fra tutte la formazione di un numero ancora rilevante di ingegneri nucleari – presso le Università di Bologna, Roma, Palermo, Pavia, Pisa e nei Politecnici di Milano e Torino. Anche l'Ansaldo Nucleare e alcune PMI italiane (Del Fungo Giera Energia, SRS Group ecc.), assieme ad ENEA ed al Consorzio CIRTEEN delle università sopra citate, stanno partecipando, a volte con ruolo di coordinatore, ad importanti progetti di R&S europei ed internazionali sul nucleare da fissione innovativo – con particolare riferimento al progetto internazionale IRIS [18] relativo ad un reattore LWR di generazione III+ ed al progetto ELSY [19] relativo al *Lead-cooled Fast Reactor* di IV generazione - nonché a progetti relativi ai cicli del combustibile avanzati (*Partitioning&Transmutation*, Accelerator Driven Systems ecc.) [20], al deposito geologico, alla sicurezza nucleare ecc.. IRIS (*International Reactor Innovative & Secure*; figura 8) è un reattore modulare di piccola taglia (335 MWe) di tipo PWR, come la maggioranza dei reattori commerciali in esercizio nel mondo. La taglia di riferimento è stata scelta nella prospettiva di localizzazione sia di moduli singoli (specialmente nei paesi in via di sviluppo, con reti elettriche di piccole dimensioni e allo scopo di produzione combinata di elettricità, calore e/o acqua potabile), sia di centrali pluri-modulo, gestite attraverso un'unica sala controllo. IRIS è un reattore a configurazione integrale, cioè particolarmente semplificata e compatta (generatori di vapore, pompe, pressurizzatore e barre di control-



lo, tutti collocati all'interno del vessel reattore (figura 8). Questo tipo di layout permette di incrementare drasticamente la sicurezza, poiché in tal modo, a progetto, vengono eliminate, le grandi tubazioni primarie fuori vessel, fonte principale di rischio per gli incidenti di perdita di refrigerante (grandi LOCA-*Loss of Coolant Accident*). In IRIS l'88% degli incidenti di classe superiore è eliminato all'origine, o comunque mitigato.

Le prove integrali si sistema e di sicurezza di IRIS, al pari di quelle per la certificazione del reattore AP1000 di III generazione sopra menzionato, verranno effettuate in Italia presso la società SIET di Piacenza, partecipata di ENEA, ENEL, Finmeccanica e Politecnico di Milano. ELSY – *European Lead-cooled System* rappresenta il concetto più avanzato di reattore veloce raffreddato a metallo liquido pesante di IV generazione, sviluppato nell'ambito del VI Programma Quadro Euratom da un consorzio di organizzazioni di ricerca (ENEA, CESI Ricerca, CIEMAT, CIRTEN, CNRS, FzK, JRC-Petten, NRG, PSI, SCK.CEN ecc.) ed industrie (Ansaldo Nucleare, Empresarios Agrupados, EdF, DEL ecc.) europee, sotto la guida dell'italiana Ansaldo Nucleare. Si tratta di un reattore in configurazione a pool da 600 MWe (1500 MW termici) raffreddato a piombo che, grazie all'adozione di soluzioni impiantistiche molto innovative, promette di soddisfare i requisiti di sostenibilità, sicurezza, economicità, resistenza alla proliferazione e protezione fisica stabiliti dalla Roadmap del *Generation IV International Forum* (GIF). In particolare ELSY utilizza combustibile MOX (ossidi di U e Pu) in ciclo chiuso ed è in grado di riciclare i propri attinidi minori, riducendo notevolmente i rifiuti radioattivi ad alta attività. Il piombo, a differenza del sodio comunemente utilizzato

come fluido termovettore dei reattori veloci, non reagisce con l'acqua e con l'aria: ciò permette di installare il generatore di vapore direttamente all'interno della tanca primaria, eliminando così il costoso circuito intermedio dei reattori veloci a sodio (figura 9).

Tale caratteristica, unitamente all'adozione di un circuito primario semplice e molto compatto con tutti i componenti interni sostituibili, assicura un costo di impianto ed un tempo di costruzione particolarmente contenuti e, di conseguenza, un costo del kWh competitivo con quello degli attuali reattori LWR. La compattezza della tanca e del circuito primario, molto importante per un reattore raffreddato a piombo per limitare i problemi conseguenti ad eventi sismici, è realizzata attraverso l'utilizzo di generatori di vapore modulari con tubi a spirale che contengono al loro interno le pompe primarie. La sicurezza è garantita dalle proprietà chimico-fisiche del piombo già ricordate, nonché dall'adozione di sistemi ridondanti e diversificati per la rimozione del calore di decadimento in caso incidentale e da soluzioni innovative che permettono al sistema primario di essere più tollerante alla rottura dei tubi del generatore di vapore.

Molte delle soluzioni innovative di ELSY sono in corso di validazione sperimentale in alcune *facility* installate presso il Centro ENEA del Brasimone.

## Il riavvio del nucleare da fissione in Italia

Le attività delle industrie italiane all'estero, la partecipazione diretta o tramite Euratom ai principali programmi internazionali/europei sul nucleare sostenibile, l'alta formazione universitaria, nonché, ovviamente, le recenti dichiarazioni ed atti del governo e le at-

tese iniziative legislative atte a ripristinare un quadro ordinato di responsabilità funzionali al processo di *licensing* e, più in generale, di fattibilità di impianti di interesse strategico, contribuiscono a mantenere aperta e perseguibile un'opzione nucleare in Italia.

Peraltro, nell'attuale situazione italiana non è credibile che vi possa essere, a breve termine, un ricorso consistente alla fonte nucleare per la produzione di energia elettrica, con centrali ubicate sul territorio nazionale. Ciò in considerazione di alcuni ostacoli che – allo stato attuale – sembrano frapporsi alla rapida reintroduzione dell'energia nucleare, ovvero:

- i tempi per la definizione e l'approvazione di un piano energetico nazionale che, fra l'altro, dovrebbe includere la carta dei possibili siti, sia degli impianti di produzione sia delle strutture per la gestione del ciclo nucleare. Esso dovrebbe, in particolare, tener conto delle nuove opportunità che valorizzano l'energia nucleare, come il suo utilizzo diretto nei trasporti grazie ai veicoli ibridi ricaricabili in rete o, caso peculiare per l'Italia, la possibile sinergia tra impianti nucleari ed impianti idroelettrici di pompaggio;
- una decisione politica bi-partisan sulle linee-guida del piano energetico nazionale, e specificamente, sullo sviluppo ed utilizzo dell'energia nucleare;
- la definizione di un quadro legislativo e normativo che fornisca la necessaria stabilità nel tempo atta a favorire un adeguato *project financing* da parte dei possibili finanziatori, nel rispetto delle regole dell'attuale mercato libero dell'energia;
- le modalità ed i tempi di una consultazione pubblica simile a quella effettuata in Finlandia, Francia e Gran Bretagna che ha poi permesso di assumere - con il necessario consenso dei citta-

dini - la decisione governativa relativa alla costruzione di nuovi reattori di III generazione ed al deposito geologico;

- la soluzione definitiva del problema dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita provenienti sia dagli impianti nucleari dismessi, sia dalle future nuove installazioni; in generale, la costruzione di reattori nucleari implica necessariamente la definizione puntuale e l'implementazione del ciclo a monte (fornitura di combustibile fresco) ed a valle (eventuale riciclo del combustibile, gestione e stoccaggio temporaneo e definitivo delle varie tipologie di rifiuti radioattivi, smantellamento degli impianti);

- la ricostituzione delle necessarie competenze in tutti i settori, con particolare riferimento alle strutture tecniche ed istituzionali che presiedono al *licensing* degli impianti e alla sicurezza nucleare, ovvero quelle che più si sono depauperate a seguito dell'abbandono del nucleare in Italia.

Questa è un'obiettivo valutazione delle azioni necessarie per una ripartenza del nucleare che, nel loro insieme, comportano tempi relativamente lunghi; tuttavia, considerando che la situazione energetica mondiale e quella italiana in particolare potrebbero nel prossimo futuro fronteggiare una crisi difficile, anche per i vincoli ambientali da rispettare e per i ben noti problemi di approvvigionamento energetico, stiamo assistendo ad una crescente spinta politica e sociale volta ad accelerare i tempi.

In ogni caso, in vista degli obiettivi energetici europei del 2020 e oltre, e valendo, anche per il nostro Paese, le medesime considerazioni che hanno recentemente portato il Governo Britannico a riprendere la via del nucleare, è certamente necessaria in Italia una azione



forte ed immediata per l'innesto del sistema italiano nelle principali iniziative europee ed internazionali sul nucleare sostenibile e per il parallelo superamento degli ostacoli sopra evidenziati.

L'elemento chiave per il rilancio dei programmi nazionali sul nucleare da fissione, resta comunque il sostegno – da parte delle Università, dell'ENEA e degli altri *stakeholder* del settore - all'alta formazione e l'immissione di giovani tecnici e ricercatori nelle attività di R&S. Come sopra evidenziato, le Università italiane raggruppate nel consorzio CIR-TEN continuano a formare un centinaio di ingegneri all'anno con un profilo afferente al nucleare da fissione e Università che avevano soppresso i corsi di ingegneria nucleare stanno riconsiderando questa scelta (ad es. l'Università di Bologna, che peraltro ha sempre mantenuto insegnamenti sul nucleare da fissione, e l'Università di Firenze che ha recentemente istituito un Master di primo livello in "Gestione e Controllo dei Materiali Nucleari per usi pacifici e del regime di non proliferazione"). Peraltro il numero di giovani laureati e/o specializzati italiani con profilo nucleare, ad oggi disponibile, anche se significativo, non è certamente sufficiente ad alimentare le crescenti necessità industriali e del mondo della ricerca.

## Bibliografia

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change, *www.ipcc.ch*
- [2] Projected Costs of Generating Electricity, OECD/NEA-IEA, 2005 Update.
- [3] Risks and Benefits of Nuclear Energy, OECD/NEA, 2007.
- [4] *World Energy Outlook 2006*, OECD/IEA, 2006.
- [5] <http://www.worldenergy.org/wec-geis/edc/scenario.asp>
- [6] *World Energy Technology Outlook*, WETO-H2, EUR 22038, 2006.
- [7] *Energy Technology Perspectives*, OECD/IEA, 2008.
- [8] World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>
- [9] Uranium 2007: Resources, Production and Demand (Red Book), OECD/NEA – IAEA.
- [10] GIF, Generation IV International Forum, <http://www.gen-4.org/>
- [11] INPRO, International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPT/DS/Projects/INPRO/index.html>
- [12] GNEP, Global Nuclear Energy Partnership, <http://www.gnep.energy.gov/>
- [13] SNETP, Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, <http://www.snetp.eu/>
- [14] EU Energy Policy, 2007.
- [15] Brussels European Council 8/9 March 2007, Presidency Conclusions, 7224/07, Annex I European Council Action Plan (2007-2009) Energy Policy for Europe (EPE).
- [16] Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Towards a European Strategic Energy Technology Plan - COM(2006) 847, 10 gennaio 2007.
- [17] *Sustainable Nuclear Energy Technology Platform: A Vision Report* – giugno 2007.
- [18] M. Carelli, C. Lombardi, S. Monti, M. Ricotti, et. "IRIS: An Advanced, Grid-Appropriate PWR for Near-Term Deployment" – European Nuclear Conference ENC-2007, Bruxelles, 16-20 settembre 2007.
- [19] L. Cinotti, S. Monti et al., The ELSY Project, PHYSOR2008 "Nuclear Power: A Sustainable Resource", Interlaken, Svizzera, 14-19 settembre 2008.
- [20] EUROTRANS, EUROpean Research Programme for the TRANsmutation of High-Level Nuclear Waste in an Accelerator Driven System.