



Verso le nuove generazioni

L'energia nucleare oggi.

di Giovanni Ricco

Nel corso di questo secolo una delle sfide globali sarà mantenere l'equilibrio tra la domanda di crescita di energia per lo sviluppo economico e il conseguente impatto socio politico e ambientale. Anche contando su una crescita parallela della capacità di risparmio energetico sia nei Paesi industrializzati che in quelli in via di sviluppo, è prevedibile che la domanda globale di energia cresca nei prossimi decenni fino al doppio di quella attuale.

In Italia la situazione energetica non è delle migliori: il massiccio ricorso alle fonti fossili, soprattutto gas e petrolio, ha portato a una notevole dipendenza (circa 84%) dalle importazioni, a un costo della bolletta notevolmente più alto (+45% per le utenze domestiche rispetto alla media europea) e alla violazione del protocollo di Kyoto, che impone entro il 2012 la riduzione delle emissioni di gas serra (CO₂) del 6.5% rispetto a quelle del 1990. Già nel 2007 le emissioni risultavano nel nostro Paese superiori del 17% rispetto ai valori del 1990 e con tendenza all'aumento.

L'energia nucleare può coprire una quota significativa della crescita del fabbisogno energetico, riducendo al tempo stesso le preoccupazioni di natura ambientale, politica e sociale associate al consumo di combustibili fossili. Tuttavia una parte importante dell'opinione pubblica è ancora convinta che i rischi della energia nucleare siano più importanti dei suoi vantaggi. Vediamo quindi di esaminare i problemi che verrebbero sollevati dalla riattivazione in Italia delle centrali nucleari e le risposte che la moderna tecnologia può dare. Dal punto di vista della sicurezza nel mondo oggi sono regolarmente in funzione circa 440 reattori della cosiddetta seconda generazione, costruiti a partire dagli anni 70, 36 sono in costruzione e un centinaio già pianificati. Gli unici incidenti estremi sono avvenuti negli Stati Uniti a Three Mile Island nel 1979 e in Ucraina a Chernobyl nel 1986. Furono dovuti entrambi a una sequenza di malfunzionamenti seguiti da operazioni errate da parte degli

addetti, che hanno portato alla parziale fusione del nocciolo con emissione di gas radioattivi a pressione molto elevata. Solo a Chernobyl però questi gas sono fuoriusciti dal reattore, che non aveva una struttura di contenimento esterna adeguata. Anche in seguito allo studio di quegli incidenti e ai miglioramenti apportati, la sicurezza di tutti gli impianti costruiti nei paesi dell'Ocse (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) è andata sempre migliorando ed ha raggiunto oggi un livello altissimo, tanto che in molti casi l'attività degli impianti è stata prolungata dai 40 anni previsti fino a 60. Le normative di sicurezza sono oggi molto severe e tra il nocciolo radioattivo e la popolazione sono interposte almeno 4 barriere: la guaina del combustibile, il contenitore metallico, il sistema di raffreddamento e l'edificio in cemento armato. A questi si aggiungono sistemi di sicurezza sia elettromeccanici sia passivi, governati cioè da principi fisici che si innescano spontaneamente quando necessario. Un altro aspetto cruciale è naturalmente quello dello smaltimento delle scorie radioattive. Il combustibile bruciato contiene materiali a bassa radioattività (soprattutto isotopi di uranio) e residui a radioattività elevata. Tra questi ultimi vi sono i frammenti di fissione, che sono nuclei più leggeri dell'uranio con vite medie dell'ordine del centinaio di anni e gli attinidi minori, nuclei instabili un po' più pesanti dell'uranio con vite medie fino a parecchie migliaia di anni (come il plutonio ²³⁹Pu che è anche un possibile combustibile nucleare). La maggior parte dei vecchi reattori custodisce il combustibile bruciato così come è prodotto e necessita quindi di depositi molto capaci ben isolati dalla biosfera (miniere di sale, depositi geologici profondi). Per i nuovi reattori è iniziata in alcuni Paesi (Francia, Giappone) la pratica del ritrattamento, cioè la separazione della miscela di Uranio e Plutonio, che può essere usata come nuovo combustibile, dagli attinidi minori e dai frammenti, che possono essere vetrificati e conservati nei depositi sotterranei, ma in volumi ridotti.

Un reattore da 1.000 MW produce in un anno, dopo il ritrattamento, tra 15 e 35 m³ di rifiuti ad alta attività.

Va comunque ribadito che la disponibilità di un deposito geologico per le scorie a lunga durata è ad oggi una premessa indispensabile sia per l'utilizzo di nuove centrali nucleari, che per lo smantellamento dei vecchi impianti. Il ritrattamento delle scorie incide anche sulla disponibilità del combustibile. In ogni caso, però, anche senza ritrattamenti, le risorse disponibili di ²³⁵U sono sufficienti, agli attuali consumi, fino a circa fine secolo. Se si tiene conto delle risorse stimate, anche a costi di estrazione più elevati (il prezzo dell'uranio minerale contribuisce alla bolletta solo per il 5%) e quelle ottenibili dal disarmo nucleare, si possono guadagnare parecchie decine di anni.

Per quanto riguarda i costi di produzione, quelli del nucleare sono assolutamente competitivi, ma i costi di costruzione sono molto elevati e i tempi lunghi. Ciò può rendere un investimento di questo tipo poco attraente. Una maggiore durata del periodo di produzione e una diminuzione del tempo di installazione aiuterebbe l'ammortizzamento dei capitali investiti.

Persiste infine il rischio dell'uso bellico o delittuoso di scorie radioattive da parte di gruppi terroristici o organizzazioni criminali. La linea di difesa si attua attraverso sistemi internazionali di salvaguardia e controllo (trattato di non proliferazione), nuove concezioni ingegneristiche di salvaguardia degli impianti, e la gestione sempre più internazionalizzata dell'intero ciclo del combustibile, con l'esclusione di processi nel corso dei quali si produca plutonio separato utilizzabile per ordigni bellici. La tecnologia dei reattori nucleari è da sempre oggetto di ricerche e innovazioni continue, che hanno prodotto un avanzamento costante delle garanzie di sicurezza degli impianti e di smaltimento delle scorie.

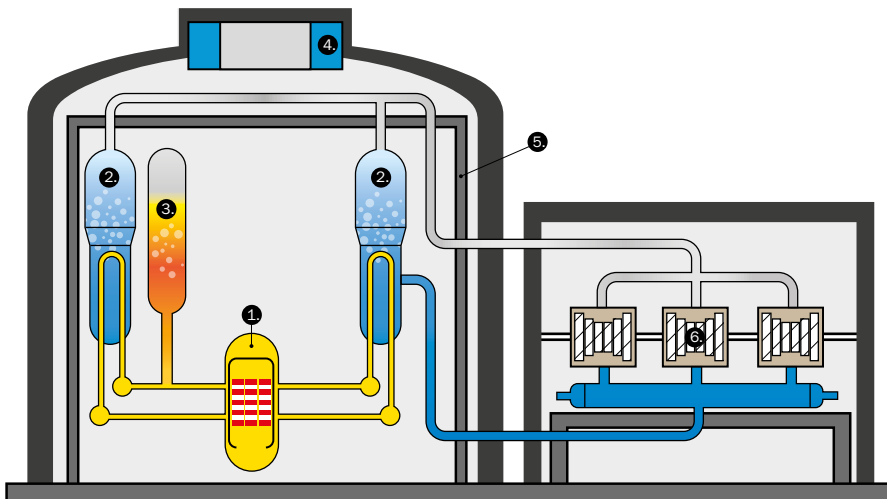
I reattori di ultima generazione, la cosiddetta terza generazione avanzata (III+), che entreranno in commercio entro qualche anno, saranno costruiti con procedure di sicurezza notevolmente potenziate, con diminuito impatto ambientale e riduzione dei rischi anche nelle già rarissime eventualità di fusione del nocciolo o impatto con un aereo. Questi miglioramenti, uniti alle più razionali tecnologie costruttive, permetteranno di garantire a 60 anni la durata dei nuovi impianti, ridurne i tempi di costruzione a 4 o 5 anni e portare il periodo di utilizzo a oltre il 90% del tempo, con conseguente contenimento dei costi. Il combustibile della generazione III+ può essere costituito per la metà da una miscelazione di uranio e plutonio, recuperata dal ritrattamento delle scorie, contribuendo così al loro smaltimento e al miglior utilizzo delle risorse. Tra i vari modelli di questa generazione proposti con queste caratteristiche due sono i più rilevanti per il mercato italiano.

a.
Westinghouse AP1000

Rappresentazione schematica del reattore AP1000 (Advanced Passive 1000), in cui è visibile in alto il serbatoio d'acqua a caduta libera per raffreddamento e lo sfianto dell'aria a convezione naturale.

1. Nocciolo del reattore
2. Generatori di vapore
3. Pressurizzatore
4. Serbatoio dell'acqua di raffreddamento per la sicurezza passiva
5. Struttura di contenimento di acciaio
6. Turbine

a.



L'Epr ad acqua pressurizzata è costruito dall'azienda francese Areva e ha una potenza elettrica di 1.600 MW. Ha la certificazione della Comunità Europea (Eur) ed è in corso quella statunitense (Nrc). Punta ancora sui sistemi di sicurezza ridondanti. Ciò significa che un sistema di sicurezza, ad esempio il raffreddamento di emergenza, viene quadruplicato con componenti equivalenti di marche diverse posti in parallelo tra loro: una tecnologia complessa, ma ancora tradizionale, concepita per garantire una altissima affidabilità. A fronte di incidenti severi con fusione del nocciolo, il materiale fuso viene convogliato e contenuto in una apposita piscina, successivamente raffreddata. Particolarmente rinforzato il contenitore esterno in calcestruzzo armato spesso circa 2 m a doppia parete con rivestimento in acciaio. È in costruzione in Francia, Finlandia e Cina.

L'AP1000 ad acqua pressurizzata è costruito dalla multinazionale Westinghouse (Usa), ha una potenza elettrica di 1.117 MW. Ha la certificazione statunitense (Nrc), mentre è in corso quella della Comunità Europea (Eur). Punta alla sicurezza passiva: cioè a dispositivi di sicurezza, che non dipendono dall'intervento dell'uomo, né da reti di alimentazione o da sistemi elettronici, ma funzionano in modo automatico, sfruttando ad esempio semplici principi fisici (la gravità, la circolazione naturale di gas e fluidi...). In caso di eventi imprevisi si può quindi mantenere in sicurezza l'installazione per ore anche senza un comando attivo: si tratta di una tecnologia di sicurezze fortemente innovativa, che già anticipa i reattori di nuova generazione. In caso di incidente severo con fusione del nocciolo, il vaso di contenimento è progettato in modo da restare integro tramite refrigerazione delle pareti esterne. È in costruzione in Cina.

A lungo termine le centrali di quarta (IV) generazione, che dovrebbero essere disponibili industrialmente dopo il 2030, offriranno soluzioni più complete e sostenibili alle problematiche sollevate dai vecchi impianti.

Il Forum Internazionale Generazione IV, cui l'Italia aderisce solo tramite la Ue, ha selezionato per ricerche approfondite sei sistemi, per la maggior parte reattori a neutroni veloci, raffreddati non con acqua (che rallenterebbe i neutroni), ma con metalli liquidi e in grado di usare combustibili diversi dall' ^{235}U , come ^{238}U e talvolta torio. La conversione nei reattori veloci dell' ^{238}U non fissile in materia fissile permetterebbe di moltiplicare per 60 l'energia prodotta a partire dall'uranio naturale portando la disponibilità del combustibile nucleare a migliaia di anni. Il medesimo meccanismo permetterebbe di bruciare le scorie trasformando per fissione gli attinidi minori a vita media lunghissima in frammenti più leggeri a vita media molto più breve e ridimensionando così la necessità di depositi geologici. Le nuove centrali nucleari saranno poi concepite in modo da offrire sicurezza passiva e la

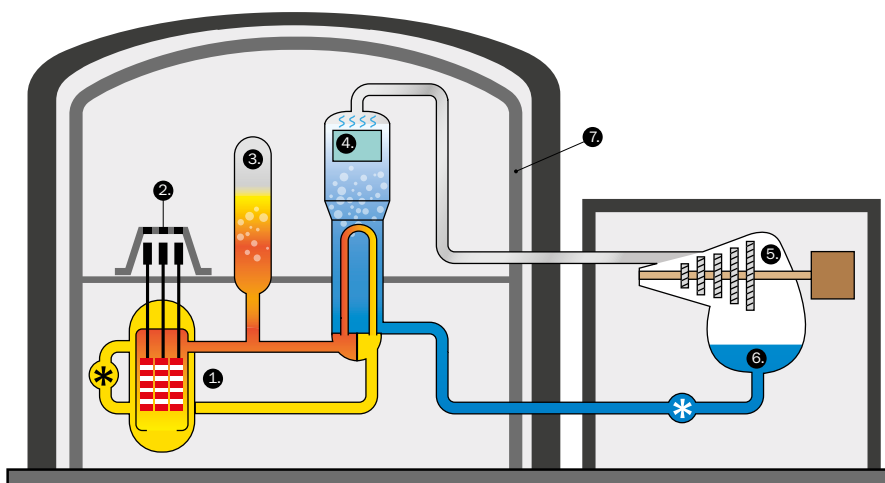
b.

Areva Epr

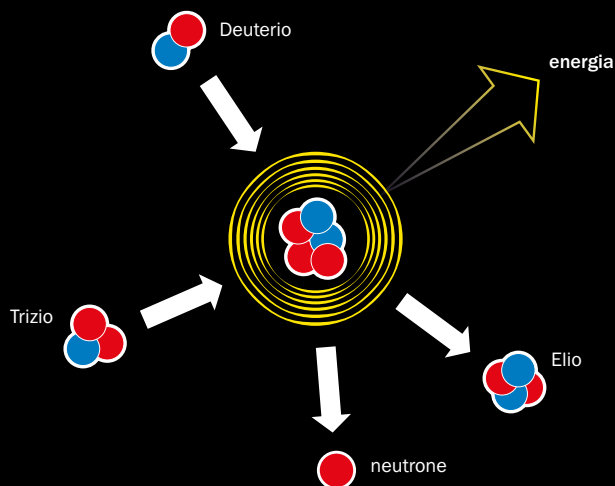
Rappresentazione schematica del reattore EPR (European o Evolutionary Pressurized Reactor) da 1600 MW in cui è mostrata la doppia calotta contro gli attacchi aerei.

1. Nocciolo del reattore
2. Barre di controllo
3. Pressurizzatore
4. Generatore di vapore
5. Turbina
6. Acqua di raffreddamento
7. Doppia struttura di contenimento

b.



Un piccolo Sole sulla Terra



1. Nella reazione deuterio-trizio, un nucleo di deuterio e uno di trizio producono un nucleo di elio e un neutrone, liberando energia.

1.

La fusione nucleare è una reazione (vd. fig. 1) in grado di produrre una gran quantità di energia bruciando una piccola quantità di combustibile. Nelle stelle l'innescò di questo meccanismo di produzione di energia è reso possibile dalle enormi forze gravitazionali, che generano a loro volta le condizioni di pressione e temperatura necessarie per rendere stabile il processo di combustione. Queste condizioni estreme però (fortunatamente) assenti sulla Terra, non rendono tecnologicamente semplice la realizzazione di reattori che funzionino utilizzando questa particolare reazione nucleare. I vantaggi, rispetto ad altri tipi di produzione di energia sono molteplici: alta efficienza di produzione di energia con basso consumo di combustibile, il combustibile è illimitato, poichè per una centrale da 1.000 MW sarebbero sufficienti ogni anno 110 kilogrammi di

deuterio e 380 kilogrammi di trizio. Non vi sarebbe inoltre nessuna emissione di anidride carbonica e una produzione di scorie a vita media brevissima e gestibili molto facilmente: la loro radiatività si esaurisce durante la stessa vita della centrale che le produce.

Le difficoltà tecniche tuttavia sono molte e sostanzialmente legate al fatto che per riprodurre e controllare in laboratorio la reazione deuterio - trizio (vedi figura), considerata la più efficiente per la produzione di energia, è necessario operare il plasma (il gas caldissimo di deuterio e trizio privati degli elettroni e quindi elettricamente carico) a temperature di 150 milioni di gradi centigradi, cioè dieci volte più alte della temperatura del centro del Sole. Per affrontare questa importante sfida scientifica e tecnologica, gli stati europei hanno formato

il consorzio internazionale *Iter* che consentirà di realizzare, a partire dal 2018, i primi test di fattibilità su un impianto da 500 MW di potenza. Il progetto prevede la messa in esercizio del primo impianto per la produzione di energia (*Demo*) per il 2030. L'Infn partecipa al progetto *Iter* (attraverso il consorzio Rfx) e al progetto *Demo* nella costruzione della *International Fusion Materials Irradiation Facility*, una struttura in grado di ricreare in laboratorio le condizioni estreme di esposizione alla radiazione di tutti i materiali da utilizzare nella centrale. È un percorso scientifico lungo e impegnativo, che si può affrontare solo con grandi collaborazioni internazionali e importanti impegni finanziari. Ma è anche l'unico che potrà portarci un giorno ad addomesticare un piccolo Sole sulla Terra, per produrre energia pulita e pressochè illimitata. [A. S.]

massima resistenza sia ai rischi della proliferazione che ai sabotaggi o agli attacchi terroristici. Tra i sistemi selezionati il primo a essere commercializzato sarà quello raffreddato al sodio, che si avvale della precedente esperienza del reattore veloce francese *Superphenix*, ed è quindi favorito dalla Francia. L'interesse della ricerca italiana (Enea, Infn, Ansaldo Nucleare) è invece attualmente indirizzato sui sistemi veloci raffreddati a piombo liquido, nei quali la ricerca italiana è leader in Europa. L'installazione di reattori di potenza nel nostro Paese va quindi vista contestualmente con la partecipazione a un percorso di ricerca e sviluppo verso un sempre maggiore livello di sostenibilità, che richiederà un impegno congiunto da parte di istituzioni, industria e enti di ricerca scientifica.

Biografia

Giovanni Ricco, professore di fisica nucleare e subnucleare dell'Università di Genova, è stato vicepresidente dell'Infn dal 2001 al 2006 e responsabile di vari esperimenti di fisica nucleare in Italia e negli Stati Uniti, al Jefferson Lab a Newport in Virginia. È attualmente coordinatore del progetto Infn-Energia.

Link sul web

www.nea.fr Nuclear Energy Today,

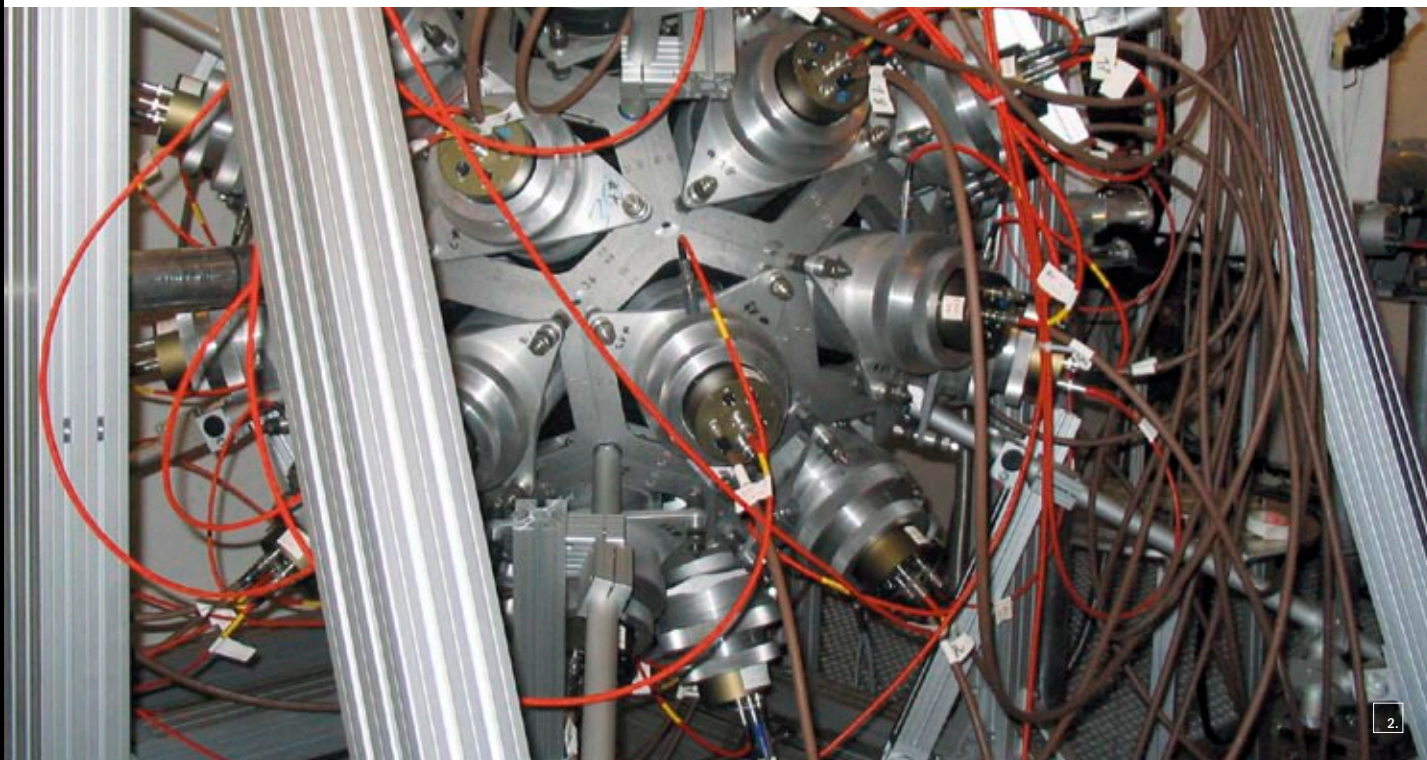
www.sif.it

www.infn.it Appunti sull'Energia Nucleare

Neutroni in volo

2.

Il calorimetro utilizzato a n_TOF per la misura delle reazioni di cattura neutronica. La sua forma sferica consente di coprire tutto il volume attorno al punto di collisione. L'apparato, costituito da 40 scintillatori al fluoruro di bario, è in grado di rivelare tutti i raggi gamma emessi nella reazione, discriminandoli dal rumore di fondo.



2.

La cattura di neutroni da parte di nuclei atomici riveste grande importanza nel campo dell'astrofisica perché responsabile della formazione degli elementi più pesanti del ferro. Questo processo ha luogo all'interno delle stelle durante la loro normale fase evolutiva o durante esplosioni di supernovae. Reazioni indotte da neutroni sono inoltre alla base di numerose applicazioni, fra le quali la più importante riguarda la produzione di energia nucleare da fissione. Lo studio delle interazioni neutroni-nuclei è pertanto fondamentale sia per migliorare la conoscenza dell'Universo e della sua evoluzione, sia per lo sviluppo di nuovi reattori nucleari e per applicazioni in campo medico e industriale.

Da qualche anno, al Cern di Ginevra, è possibile studiare reazioni indotte da neutroni, grazie alla disponibilità di un fascio di neutroni a largo spettro di energia e alto flusso: n_TOF (da *Neutron Time Of Flight*). Il fascio, prodotto dall'interazione di protoni accelerati fino a 20 GeV su un bersaglio di piombo,

permette di studiare le reazioni neutrone-nucleo in funzione dell'energia dei neutroni, ricavata dal loro tempo di volo, cioè dalla misura del tempo impiegato da questa particella a percorrere la distanza fra il bersaglio di produzione e il punto di misura. Le reazioni sono studiate utilizzando diversi rivelatori, anch'essi all'avanguardia. Una collaborazione internazionale, a cui partecipano varie sezioni dell'Infn, porta avanti un programma sperimentale a n_TOF per lo studio delle reazioni indotte da neutroni che sono di interesse per l'astrofisica e per le tecnologie nucleari emergenti. In quest'ultimo campo sono allo studio reazioni su elementi transuranici, di fondamentale importanza per migliorare la sicurezza dei reattori attualmente in funzione, per la realizzazione dei reattori di IV generazione e per la progettazione di sistemi atti alla trasmutazione delle scorie nucleari a lunga vita media. Una intensa e interessante attività di ricerca è programmata a n_TOF per i prossimi anni. [Nicola Colonna]

Biografia

Nicola Colonna è ricercatore nella sezione Infn di Bari. Dal 2001 è il coordinatore per l'Infn dell'esperimento n_TOF.

Link sul web

www.cern.ch/n_TOF