



REATTORI IBRIDI

La terza opzione nucleare: il reattore ibrido

Nel workshop “Fusion for Neutrons & Sub-critical Fission (FUNFI)” tenuto a Varenna dal 12 al 15 settembre, circa 60 ricercatori UE, USA, Cina, India e Russia hanno fatto il punto della situazione sullo stato di avanzamento della ricerca in campo nucleare, e sono stati discussi vari concept-design di reattori ibridi. Il workshop è stato organizzato dal Centro Internazionale ‘Piero Caldirola’ per la Promozione della Scienza, in collaborazione con il Centro Ricerche ENEA di Frascati e il CNR (Istituto di Fisica del Plasma Milano).

Qui di seguito le spiegazioni ed i commenti di due esperti che hanno partecipato.

■ Antonio Botrugno, Francesco Paolo Orsitto

In questi anni viviamo un rapido aumento della domanda energetica mondiale prevalentemente legato allo sviluppo dei paesi dell’area asiatica e il graduale aumento del costo dell’energia da fossili dovuto all’aumento dei costi di estrazione. Molte stime indicano che il fabbisogno energetico mondiale passerà dall’attuale 250 MBDOE (milioni di barili di petrolio equivalente) al giorno a circa 350 MBDOE nei prossimi 20 anni (una crescita del 40%). In questo scenario appare evidente che la produzione di energia su larga scala svolgerà un ruolo fondamentale per lo sviluppo futuro e per gli equilibri geopolitici del pianeta. I paesi tecnologicamente avanzati puntano da tempo su una produzione di energia diversificata su varie sorgenti con una alta percentuale di energia da fissione nucleare. Con lo sfruttamento di circa 440 centrali a fissione, 31 Paesi producono circa il 15% del fabbisogno mondiale di energia elettrica (ma una percentuale ben più alta del loro fabbisogno nazionale! ad esempio in Francia la produzione di energia nucleare copre oltre il 75% dei consumi). Altre e più performanti centrali sono attual-

mente in costruzione: nel 2011 l’Iran ha acceso il suo primo reattore, mentre la Cina costruisce tre nuove centrali ogni anno.

La soluzione della fissione nucleare incontra da sempre la forte opposizione ambientalista, recentemente amplificata e avallata dal disastro di Fukushima dell’11 marzo 2011. *Indubbiamente i problemi legati alla produzione di energia da fissione non possono essere ignorati e sono principalmente legati alla produzione di scorie radioattive a lunga vita media.* La radiotossicità di alcuni isotopi prodotti rimane infatti al di sopra dei valori di radioattività naturale per un milione di anni; esiste inoltre il rischio di proliferazione nucleare durante i processi di arricchimento del combustibile e di riprocessamento delle scorie, e il rischio ambientale dovuto alla possibilità di contaminazione di una ampia area geografica. Tanto che il neo presidente francese Hollande ha ipotizzato nelle sue promesse elettorali una riduzione dal 75% al 50% del contributo nucleare al fabbisogno energetico francese entro il 2025.

Una soluzione definitiva a questi problemi è promessa dalla fusione nucleare, una fonte di energia pulita, sicura, potenzialmente illimitata. Il combustibile di un reattore a fusione è costituito da una miscela di deuterio e trizio, mentre il prodotto della reazione è l’elio. Oltre a non produrre scorie radioattive la centrale a fusione non ha i problemi di sicurezza di una centrale

■ Antonio Botrugno, Francesco Paolo Orsitto
 ENEA, Unità Tecnica Fusione

a fissione perché il processo non avviene all'interno di una reazione a catena, e si arresta appena le condizioni si discostano da quelle di funzionamento del reattore. La fusione si presenta come una soluzione di lungo termine: sembra infatti che altri 50 anni occorreranno prima del passaggio all'applicazione e allo sfruttamento commerciale dell'energia da fusione. Attualmente la via più promettente è quella dei reattori di tipo tokamak: il reattore sperimentale ITER è in fase di costruzione a Cadarache (Francia).

Tra le possibili alternative per la produzione di energia su larga scala, è tornata recentemente alla ribalta negli ambienti scientifici un'idea degli anni 50 del premio Nobel Hans Bethe. Si tratta di un reattore ibrido a fissione-fusione. Questa soluzione risolve molti dei problemi della fissione e grazie ai recenti progressi della ricerca sulla fusione sembra attualmente attuabile con progetti a medio termine, inferiori ai 10 anni. Il motivo che giustifica l'accostamento delle due reazioni è che queste sono complementari, le reazioni di fusione sono ricche di neutroni mentre le reazioni di fissione sono ricche di energia. Nel reattore ibrido le reazioni di fusione deuterio-trizio nel plasma termoneucleare producono poca energia ma molti neutroni a 14,1 MeV, questi inducono reazioni di fissione nel mantello fissile amplificando la produzione di energia fino ad un fattore di guadagno (Q) complessivo dell'intero sistema pari a 30-50.

Tecnicamente si tratta di un reattore con un plasma termoneucleare sotto il punto di ignizione, cioè con un fattore di guadagno della fusione inferiore ai valori richiesti per la produzione di energia ($Q \ll 30$, in pratica $Q \approx 1-3$), affiancato da un mantello fissile sotto il valore di massa critica (con un fattore di moltiplicazione effettivo $k_{\text{eff}} \ll 1$) cioè incapace di autosostenere le reazioni di fissione. Con un reattore ibrido si eliminano i principali problemi della fusione nucleare, sia quelli di tipo fisico legati alla stabilità di un plasma con alto Q , sia quelli di tipo tecnologico legati allo sviluppo di materiali in grado di sostenere grossi flussi neutronici proprio perché i neutroni prodotti dalla fusione sono utilizzati dal materiale fissile.

Inoltre si eliminano molti problemi dei reattori a fissione. La sorgente indipendente di neutroni permette di bruciare il materiale fissile in maniera più efficace,

quindi le scorie prodotte hanno tempi di decadimento molto inferiori a quelli delle scorie di un reattore a fissione. Nel mantello è possibile usare materiale fissile ma anche materiale fertile, come uranio naturale e torio, quindi senza la necessità di processi di arricchimento, oppure è possibile utilizzare gli scarti del combustibile di un reattore a fissione evitando il riprocessamento delle scorie radioattive; tutto ciò riduce notevolmente i rischi di proliferazione nucleare. Inoltre il reattore ibrido opera con materiale fissile al di sotto della massa critica, ciò elimina completamente i rischi di esplosione o di fusione del nocciolo.

Sebbene l'idea di inglobare un reattore a fusione in uno a fissione può sembrare bizzarra e un azzardo in termini di sicurezza, gli studi condotti dimostrano la fattibilità del progetto. Nel panorama mondiale la Cina, che ha urgenti problemi di reperimento di sorgenti energetiche, ha già iniziato un rilevante programma di sviluppo di reattori ibridi. Inoltre l'India ha iniziato uno studio concettuale di un reattore ibrido che utilizza come sorgente di neutroni un tokamak con $R=4,4$ m, campo magnetico $B=5,4$ T (dimensioni vicine a quelle di ITER), da utilizzare con il ciclo di fissione del torio. È emerso inoltre che molti concept-design di reattori ibridi si basano su macchine la cui tecnologia è praticamente acquisita, mentre altri richiedono solo una piccola estrapolazione dell'odierna tecnologia. I reattori ibridi sono quindi una soluzione già percorribile, e l'energia prodotta potrebbe essere sfruttata per usi civili nel medio termine (10 anni). Per questo motivo i reattori ibridi si propongono oggi come i candidati più credibili per la soluzione del problema dell'energia su larga scala e di quello delle scorie radioattive di lungo termine.

Per gli sviluppi futuri della ricerca sicuramente i vari progetti di ricerca e sviluppo sui reattori ibridi potranno supportare lo sviluppo separato di entrambe le tecnologie: fissione e fusione. Nell'ambito di studi futuri, si potrebbe prevedere la possibilità di modificare alcuni esperimenti attualmente dedicati alla fusione e ormai poco rilevanti per il progresso scientifico, in esperimenti sul concetto di ibrido. In futuro potrà essere possibile affiancare un reattore ibrido ad uno di pura fissione, ciò potrebbe diminuire in modo consistente il costo del kilowatt nucleare.