

Osservazioni  
sulla III<sup>a</sup> Conferenza  
Internazionale  
per le applicazioni  
pacifiche  
dell'energia atomica

La prima Conferenza di Ginevra del 1955 era stata caratterizzata dall'euforia delle prospettive potenziali dell'energia nucleare. Alla data della seconda Conferenza del 1958 era stata confermata la fattibilità tecnica della produzione di energia per via nucleare, ma d'altra parte le prime realizzazioni prototipo avevano mostrato costi assai superiori alle rosee previsioni del 1955. Il clima del 1958 era quindi quello di un ripensamento generale e di più caute previsioni delle prospettive future. Tuttavia un notevole entusiasmo era stato suscitato dai risultati delle prime esperienze e dalle prospettive della fusione termoneucleare.

La terza Conferenza di Ginevra è stata preceduta dall'inizio delle note realizzazioni commerciali di impianti nucleari, per cui più che una Conferenza scientifica ad alcuni è parsa una « fiera commerciale ».

Anche questa volta si è cercato di trovare un tema avveniristico con cui caratterizzare la Conferenza, ed il ruolo è toccato, sia pure in tono assai discreto, alle prospettive di produzione di acqua dolce per desalinizzazione. Così è stato detto che l'energia nucleare ha aperto all'umanità oltre alle prospettive di energia praticamente senza limiti, prospettive di acqua dolce praticamente senza limiti.

Al di là di questi aspetti più appariscenti della Conferenza di Ginevra, essa dà certo adito a meditazioni e permette di intravedere più chiaramente le prospettive industriali dell'energia nucleare, oltre tuttavia a mettere in luce l'estrema complessità del settore, non solo per le scelte tecniche incerte, ma per le interrelazioni di carattere politico e nazionale e per la necessità di una programmazione a lungo termine dello sviluppo dell'energia nucleare.

I risultati di interesse generale della Conferenza possono essere così raggruppati:

— discrete prospettive mondiali per la richiesta di centrali nucleari per il prossimo decennio e riconoscimento generale del ruolo primario che l'energia nucleare avrà nel futuro più lontano;

— molteplicità, ristretta rispetto alle previsioni passate, ma pur sempre esistente, di soluzioni tecniche per reattori cosiddetti di « tipo provato » sui quali cioè si è in grado di fare stime di costo basate su esperienze esistenti di prototipi o centrali a scala normale;

— difficoltà di paragonare le varie soluzioni tecniche sulla base dei propri meriti intrinseci, per via della notevole forza d'inerzia e dell'impulso di numerosi programmi in atto da anni, a carattere spesso nazionale, supportati da massicci finanziamenti governativi su certi tipi di reattore;

— esistenza di possibili alternative di soluzioni tecniche per il prossimo futuro attualmente in corso di sviluppo che potrebbero rappresentare dei temibili concorrenti per i reattori di « tipo provato »;

— previsione pressoché unanime che a lungo termine i reattori autofertilizzanti veloci avranno un ruolo primario; previsione basata tuttavia su motivazioni di carattere generale per un miglior sfruttamento delle risorse di combustibile nucleare, più che su dati economici concreti;

— complicazioni tecniche ed economiche del ciclo integrale del combustibile nucleare, legate alla limitatezza delle fonti di approvvigionamento di combustibile arricchito e degli impianti di riprocessamento e alle incertezze tecniche ed economiche legate alla riutilizzazione del Pu o di altri materiali fissili prodotti nei reattori esistenti;

— dimostrazione dei progressi notevoli compiuti dall'industria manifatturiera nella tecnologia nucleare, in particolare nel campo dei reattori di tipo provato;

— interesse crescente in applicazioni dell'energia nucleare collaterali a quelle di produzione di energia, e prime realizzazioni concrete in settori quali: propulsione navale commerciale, applicazioni spaziali, desalinizzazione di acque, preservazione dei cibi, utilizzazione industriale di radioisotopi, ecc.

— allontanamento nel futuro remoto dei tempi di pratica utilizzazione della fusione termonucleare per produzione di energia.

Oltre alla rassegna delle centrali nucleari esistenti o in corso di realizzazione, sono stati presentati dai vari Paesi programmi assai precisi a corto termine di realizzazione di altre centrali e prospettive più a lungo termine sul ruolo dell'energia nucleare.

In generale si può dire che interesse per l'energia nucleare è mostrato sia dai Paesi più sviluppati e con riserve di combustibili fossili, sia dai Paesi sottosviluppati e con carenza di fonti tradizionali di energia.

Tipico tra i primi è l'atteggiamento degli Stati Uniti, i quali, pur possedendo combustibile convenzionale in grande quantità, valutano l'energia nucleare economicamente competitiva già per il 60% dell'area del paese con centrali che entrino in funzione entro il 1970.

Per i Paesi in via di sviluppo, privi di combustibili fossili e carenti di linee di comunicazione, l'energia nucleare rappresenta forse l'unica soluzione per sostenere un rapido sviluppo dell'economia del paese. Ad esempio per il Pakistan è stato dichiarato che già ora l'energia nucleare è più conveniente anche in centrali di modeste dimensioni. In tale paese è in via di decisione la realizzazione di una centrale da 70 MWe che produrrà energia a 9 mill/kWh, mentre con centrali convenzionali tale costo è stimato 11 mill/kWh.

Per i Paesi sottosviluppati il problema sembra essere solo quello di ottenere adeguati finanziamenti. Piani per nuove realizzazioni di centrali nucleari sono stati presentati, tra gli altri, dall'Argentina, dall'India, dalla R.A.U., dalla Romania, da Israele.

Tra i Paesi più sviluppati: la Gran Bretagna nel prossimo quinquennio realizzerà centrali nucleari per 5.000 MWe; la Francia intende realizzare una centrale nucleare da 500 MWe ogni anno (dopo l'entrata in funzione della centrale E.D.F.-4 da 480 MWe in corso di realizzazione); il Giappone prevede 3 nuove centrali da 300 MWe entro il 1970, oltre ad un'altra centrale da 300 MWe di cui è già stato deciso il finanziamento; la Repubblica Federale di Germania ha già annunciato la realizzazione di due nuove grandi centrali, una ad acqua in pressione ed una ad acqua bollente; il Canada ha annunciato la decisione di costruire due reattori da 500 MWe del tipo Candu.

Per quanto riguarda l'Italia non ci sono piani definiti immediati, ma le prospettive a medio termine sembrano buone, sia a giudicare dalle dichiarazioni dell'Enel che ritiene che l'energia nucleare prodotta a partire dal 1970 in centrali di grandi dimensioni sarà competitiva, sia per le dichiarazioni del Governo che prevede 3.000 MWe installati entro il 1974.

Le prospettive per il secondo decennio sono state meno dettagliate, ma da tutti è ormai riconosciuto che l'energia nucleare avrà un ruolo primario. Anche la Svizzera ad esempio prevede che dopo il 1975, avendo esaurito il suo potenziale idroelettrico, sarà costretta a ricorrere alle centrali nucleari. L'Unione Sovietica in particolare ha espresso decisamente la necessità di far svolgere solo all'uranio il ruolo di combustibile, per poter utilizzare i combustibili fossili esclusivamente come materia prima per l'industria chimica.

**MOLTEPLICITÀ DEI TIPI DI REATTORI  
FRONTI PER REALIZZAZIONI COMMERCIALI**

Rispetto alla prima ed alla seconda Conferenza di Ginevra lo spettro dei tipi possibili di reattori si è certamente ristretto, per lo meno per il fatto che solo alcune delle soluzioni prospettate sono state portate avanti fino al livello di realizzazione di prototipi di centrale in grande scala, e solo per esse si è in grado di fare tesoro di esperienza sia tecnologica sia economica ed estrapolare da essa per realizzazioni di tipo prettamente commerciale.

Tuttavia almeno cinque tipi diversi di centrali sono stati presentati come capaci di essere utilizzati per realizzazioni commerciali competitive. Essi sono: centrali tipo P.W.R.; B.W.R.; a gas-grafite con combustibile rivestito in magnox; a gas-grafite di tipo avanzato (A.G.R.); ad acqua pesante a tubi in pressione (tipo Candu).

Per ciascun tipo di reattore sono stati fatti passi da gigante nella riduzione dei costi di capitale e di combustibile.

Le prospettive dei costi delle centrali tipo P.W.R. e B.W.R. sono note e sono state confermate alla Conferenza dalle società

principalmente interessate al loro sviluppo (Westinghouse e General Electric). Inoltre sono state ricordate le seguenti cifre che, anche se non comparabili una all'altra, mostrano chiaramente i progressi fatti per vari tipi di reattore:

Tipo di reattore	Costo capitale	\$/kW
A gas-grafite inglese (magnox)	per Berkeley	460
	per Wylfa	252
A gas-grafite francese (magnox)	per E.D.F.-2	440
	per E.D.F.-4	220
Candu	per Douglas Point	405
	per Fair Point	266

I francesi hanno dichiarato che con la realizzazione in corso della centrale E.D.F.-4 (del tipo magnox) da 480 MWe si è raggiunta in Francia la competitività con le più moderne centrali nucleari e che le centrali da 500 MW dello stesso tipo che seguiranno, saranno concorrenziali.

I canadesi con la decisione di procedere nella realizzazione di una centrale da 1.000 MWe dotata di due reattori da 500 MW tipo Candu affermano che l'energia prodotta costerà 4 mill (canadesi)/kWh e cioè come l'energia più a buon mercato prodotta in Canada.

Solo gli inglesi sono incerti sul tipo da scegliere per la centrale da 1.000 MWe con due reattori da 500 MW, per cui hanno indetto una gara con scadenza il prossimo febbraio.

Alla gara parteciperanno ditte inglesi e gruppi inglesi-americani presentando offerte per reattori tipo A.G.R., P.W.R., B.W.R. e probabilmente anche del tipo magnox con combustibile migliorato.

Benché sia difficile fare previsioni, è probabile che tutti i tipi di centrali soprammenzionati continueranno a coesistere disputandosi il mercato nucleare prossimo su basi o concorrenziali o di interesse nazionale.

È inoltre da tenere presente, anche se non se n'è parlato a Ginevra, che un'eventuale declassificazione completa dell'esperienza compiuta con i reattori plutonigeni americani (a grafite e ad acqua pesante) potrebbe avere l'effetto di un vero e proprio « shock » per la quantità di sviluppo tecnologico che sta dietro a tali reattori e che non è attualmente utilizzabile.

**DIFFICOLTÀ DI ESEGUIRE UN CONFRONTO TECNICO-ECONOMICO  
TRA I VARI TIPI DI CENTRALI NUCLEARI**

L'esperienza di esercizio proveniente dai vari prototipi di centrali è sufficientemente buona per i diversi tipi di reattori sviluppati, per cui sembra difficile o prematuro fare una scelta su tale base.

Sono note le eccellenti prestazioni della centrale Yankee.

Per la centrale di Dresden è stato annunciato che essa, date le ottime prestazioni di controllo, verrà collegata alla rete con asservimento automatico alle variazioni del carico.

Per i reattori a gas-grafite gli inglesi hanno affermato che gli otto reattori di Calder Hall e Chapel Cross hanno operato a piena potenza l'87% del tempo e che il prototipo A.G.R. di Winfrith ha mostrato un'affidabilità dell'88%.

È risultato evidente dalla Conferenza che un confronto su basi puramente economiche è difficile da fare in termini generali. Infatti le varie cifre di costo presentate non sempre sono omogenee per via delle prassi diverse seguite nei vari Paesi per la contabilità. Ad esempio per gli inglesi non è stato possibile fare un confronto tra i costi annunciati per la centrale di Oyster Creek (U.S.A.) e quelli per centrali inglesi, perché nel costo di capitale è consuetudine in Gran Bretagna includere tutto fino ai trasformatori e alle connessioni con la rete, mentre negli Stati Uniti ci si ferma ai generatori principali. Gli inglesi considerano una vita di 20 anni ed un fattore di carico del 75%, mentre gli americani considerano una vita di 30 anni ed un fattore di carico dell'80%.

È inoltre assai difficile valutare l'influenza e l'importanza dei finanziamenti o delle sovvenzioni governative, e l'impulso dato dagli investimenti spesso massicci in ricerca e sviluppo svolti da vari enti governativi.

Ad esempio è difficile stabilire, nella decisione francese di proseguire con le centrali di tipo gas-grafite e nelle loro dichiarazioni di raggiunta economicità, quale sia l'influenza della difesa del lavoro nazionale e dei capitali investiti, ad esempio, nella creazione di attrezzature speciali per la fabbricazione ed il riprocessamento del combustibile, oltre che per gli sviluppi tecnologici e per la standardizzazione dei processi di fabbricazione messi a punto dall'industria francese per i componenti dei reattori sviluppati in Francia.

Quando si è trattato nei vari Paesi che più hanno contribuito allo sviluppo della tecnologia nucleare, di decidere negli anni passati la strada da seguire, certamente hanno avuto molto peso considerazioni di carattere politico nazionale o l'incertezza sulla disponibilità di combustibile arricchito, come indicato esplicitamente durante le Conferenze di Ginevra del 1955 e del 1958. La via dell'utilizzazione di uranio naturale scelta dagli inglesi, francesi, canadesi, svedesi è stata soprattutto dettata da ragioni di tale tipo più che da indicazioni economiche a quel tempo inesistenti.

Durante l'attuale Conferenza di Ginevra è sparito ogni accenno alla necessità di indipendenza dagli Stati Uniti per la fornitura di uranio arricchito, e si sono voluti mostrare i meriti dei vari reattori solo su basi strettamente economiche.

Data la difficoltà di una netta differenziazione economica tra i vari tipi di reattori « offerti » a Ginevra è probabile che, nella scelta del tipo di reattore che verrà fatta da paesi come Gran Bretagna, Giappone, Pakistan, India, Argentina, ecc. per le prossime realizzazioni, avranno grande influenza considerazioni di altro tipo: ad esempio che le centrali ad uranio arricchito hanno un costo di capitale minore di quelle ad uranio naturale. Saranno quindi elemento determinante le possibilità di finanziamento a disposizione. Ecco anche di questi problemi si è avuta durante tutta la Conferenza.

#### ALTERNATIVE DI REATTORI PER IL PROSSIMO FUTURO E NUOVE INIZIATIVE INDUSTRIALI

Della numerosa serie di reattori teoricamente possibili e già individuati fin dalla prima Conferenza di Ginevra, solo pochi si sono veramente persi per la strada.

Alla schiera dei più fortunati sovrammenzionati già pronti per applicazione commerciale ne segue una seconda non ben esattamente definita, che viene dagli interessati propugnata per un possibile superamento a breve scadenza delle centrali nucleari del primo tipo.

Alcune di queste soluzioni sono varianti più o meno sostanziali dei reattori del primo tipo. Ad esempio vi è tutta una famiglia di varianti al tipo Candu che mantenendo l'acqua pesante come moderatore e la struttura a calandria del nocciolo, propongono alternativamente come refrigerante: acqua leggera bollente, nebbia, vapore surriscaldato, gas, organico.

Sempre nel campo dei reattori ad uranio naturale ed acqua pesante, un posto a sé occupa la Svezia che sta perseguendo con notevole vigore e concentrazione di sforzi la strada dei reattori ad acqua pesante bollente o in pressione con unico contenitore in pressione.

Tra le realizzazioni attuate, o in corso, nel settore dei reattori ad acqua pesante « avanzati », vanno citate:

- Ågesta, in Svezia, che produce da alcuni mesi 65 MWe;
- Marviken da 200 MWe, in costruzione in Svezia, ad acqua pesante bollente;
- S.G.W.R. (*Steam Generator Heavy Water Reactor*) da 100 MWe, in costruzione in Gran Bretagna;
- reattore da 100 MWe della *Bayern Atomkraftwerke* ad acqua pesante-gas di cui è stata decisa la costruzione nella Repubblica Federale di Germania;
- Essor, reattore sperimentale a D<sub>2</sub>O-organico sviluppato dall'Euratom.

Inoltre studi vengono svolti in Italia nel campo della « refrigerazione a nebbia » e vi è la probabilità che un prototipo da

100 MWe di tale tipo venga realizzato nell'ambito del secondo piano quinquennale del C.N.E.N.

I canadesi tra le varie alternative al sistema Candu sembrano preferire il raffreddamento ad acqua leggera bollente. La Francia inoltre considera i reattori ad acqua pesante come un'alternativa a quelli a gas-grafite e sta realizzando l'EL-4 da 70 MWe del tipo Candu.

Nel campo dei reattori raffreddati e moderati ad acqua, da molte parti si è sentito affermare che essi avranno un avvenire assai limitato se non si passerà allo sviluppo del surriscaldamento nucleare. Esistono già in U.S.A. delle realizzazioni di prototipi di reattori di tale tipo e la Repubblica Federale di Germania ha deciso di inserirsi in tale sviluppo dando inizio alla realizzazione di un prototipo da 25 MWe. Inoltre essa ha stipulato un accordo bilaterale per scambio di informazioni e per ricerche in comune con gli U.S.A.; in particolare i tedeschi fabbricheranno degli elementi di combustibile da irraggiare nel *Vallecitos Superheater Reactor*.

Il surriscaldamento nucleare è la strada principale scelta dai russi usando tuttavia la grafite come moderatore. I russi hanno all'attivo la realizzazione della centrale di Belyarsk che fornisce potenza dalla scorsa primavera e quella di Novovoronezh che verrà prossimamente completata.

Un posto a parte va dato ai reattori a gas ad alta temperatura, sia perché rappresentano una tecnologia decisamente nuova rispetto ai tipi precedenti, sia per la veemenza con cui vengono propugnati in particolare dalla *General Atomics*. Alcune realizzazioni di prototipi sono in corso per tale tipo di reattore.

Il Dragon è diventato critico in Gran Bretagna nel luglio scorso e l'H.T.G.R. è in corso di realizzazione a Peach Bottom in U.S.A. Nella Repubblica Federale di Germania è prevista l'entrata in funzione per l'anno venturo del reattore da 15 MWe della *B.B.C.-Krupp* con combustibile a sfere di carburo di uranio.

Qual è il potenziale dei vari tipi di reattori sopraelencati? La *General Atomics*, che ha eseguito uno studio per un impianto del tipo H.T.G.R. da 1.000 MWe ha dichiarato che esso può essere sviluppato con costo dell'energia prodotta, variante da 2 a 3 mill/kWh, senza tuttavia i tempi e le fasi per un tale obiettivo. Non si sono avute tuttavia molte altre cifre, per i vari tipi di reattori allo studio, ma piuttosto elencazioni dei vantaggi tecnici relativi.

Sembra troppo presto quindi per dare una risposta all'interrogativo. Va tuttavia tenuto presente che l'effetto che la realizzazione dei vari prototipi in corso di sviluppo avrà sul panorama nucleare non sarà solamente tecnico. Infatti la spinta alla realizzazione di varie alternative ai reattori presenti è spesso data da interessi nucleari nascenti, o di Paesi, come Italia e Svezia ad esempio che desiderano sviluppare una linea nazionale, o da società che desiderano crearsi o consolidarsi un posto nel settore tra le grandi industrie nucleari. Se questi Paesi o società avranno la forza di percorrere tutta la strada fino alla realizzazione di prototipi di centrali, è probabile che il campo dei reattori « competitivi » invece di semplificarsi si complicherà ancora di più.

#### RUOLO A LUNGO TERMINE DEI REATTORI VELOCI

Energia elettrica è stata prodotta per la prima volta da fissione nucleare in un reattore veloce sperimentale (E.B.R.-1). Ciò sembra essere stato di buon auspicio per i reattori veloci se a Ginevra si sono quasi tutti mostrati d'accordo che, alla lunga, energia elettrica da fonte nucleare verrà prodotta soprattutto da reattori veloci.

Queste previsioni tuttavia non sono basate su dati economici più promettenti di costo di impianto, ma piuttosto su una certa ineluttabilità di usare i reattori veloci per poter utilizzare appieno le risorse naturali di uranio estraibili in maniera economicamente conveniente. In altri termini i programmi di sviluppo di reattori veloci presentati da vari Paesi, sono tutti frutto di una vera e propria pianificazione a lungo termine che prevede che, con l'aumentare delle richieste di uranio conseguenti allo sviluppo dell'energia nucleare con i reattori termici ora messi a punto, il costo dell'uranio salirà in modo tale da rendere conveniente l'uso di reattori veloci perché autofertilizzanti, anche se eventualmente di più elevato costo di capitale. Unici

a dissentire da queste previsioni sono stati i canadesi, che hanno invece negato esista la necessità di sviluppare reattori veloci, dato che con i reattori ad acqua pesante si ha una così buona economia neutronica da ridurre il costo del ciclo di combustibile in maniera tale da rendere economicamente conveniente anche l'estrazione di uranio dai depositi a costi di estrazione giudicati oggi troppo elevati.

A parte le dispute sulla bontà o meno delle pianificazioni per lo sviluppo dei reattori veloci, resta un fatto confermato a Ginevra, che ingenti somme vengono investite nel mondo per lo sviluppo dei reattori veloci, e che quindi il futuro dell'energia nucleare non potrà non esserne fortemente influenzato.

Il programma americano, pur essendo stato recentemente ridimensionato e diluito nel tempo, rappresenta pur sempre uno sforzo finanziario molto considerevole.

I tedeschi, ultimi arrivati nel campo nucleare, con intenzioni tuttavia, a giudicare almeno dagli investimenti in corso, di risalire rapidamente la corrente, hanno lanciato un programma estremamente ambizioso finanziariamente nel settore dei reattori veloci. Tale programma prevede la spesa di 100 milioni di dollari per una prima fase che va dal 1960 al 1967 e circa la stessa cifra per una seconda fase 1967-1974. La seconda fase prevede la costruzione di un prototipo di centrale da 200 MWe, mentre nella prima fase sono previste ricerche per sviluppare un concetto di reattore adatto per centrali fino a 1.000 MWe.

Nel campo dei reattori veloci, i tedeschi (Centro di Karlsruhe) hanno iniziato una collaborazione con la G. E., che prevede tra l'altro una loro partecipazione con 5 milioni di dollari alla realizzazione del reattore sperimentale americano Sefor.

Anche nel campo dei reattori veloci, (come si è visto sopra per i reattori termici) non è tuttavia chiara quale sarà la soluzione tecnologica finale migliore che verrà adottata.

Benché una gran parte dei programmi presenti sia polarizzata sull'uso del sodio come refrigerante per tale tipo di reattore, tuttavia c'è chi propugna l'uso del gas ad alta temperatura (*General Atomic*) o l'uso di vapore surriscaldato. Il programma tedesco ad esempio è ambiguo al riguardo e prevede per il momento sia lo sviluppo della tecnologia del sodio (utilizzando l'esperienza che proverrà dalla realizzazione del reattore prototipo termico K.N.K. dell'*Interatom*) che del vapore surriscaldato (utilizzando l'esperienza del reattore prototipo termico dell'*A.E.G.* a surriscaldamento nucleare sopra menzionato).

Piani più ravvicinati nel tempo per realizzazione di centrali di grossa potenza con reattore veloce sono stati presentati dai russi con il reattore BN-350 da 350 MWe, previsto per il 1968 e che dovrebbe servire sia per produzione di potenza che di acqua dolce.

A parte questa eccezione tutti gli altri programmi prevedono che occorran da 10 a 20 anni prima della realizzazione di centrali commerciali con reattori veloci.

Anche gli inglesi, che pure affermano di essere avanti di almeno due anni rispetto agli altri Paesi in particolare per merito dell'esperienza di irraggiamento di combustibile ottenuta nel reattore di Dounreay, prevedono che la prima centrale inglese veloce sarà costruita tra il 1975-80.

I francesi, che hanno in corso da anni un vasto programma di sviluppo di reattori veloci a sodio, stimano occorran oltre 20 anni prima di applicazioni commerciali.

Questi lunghi tempi di realizzazione fanno sì che anche Paesi arrivati ultimi nel campo nucleare ed intenzionati a sviluppare una propria indipendente linea tecnologica di sviluppo di reattori abbiano programmi nel settore dei reattori veloci. Tipico è il caso della Germania sopracitato, ma ad esso va aggiunto il caso dell'Italia con il programma Raptus, del Giappone che sta impostando un suo programma.

Il caso dei reattori veloci è in un certo modo indicativo di tutto il settore nucleare, almeno allo stadio attuale: non si è ancora fatto in tempo a consolidare una tecnologia e ad avere un prodotto vendibile che già bisogna preoccuparsi di non essere superati da soluzioni più avanzate.

Anche qui tuttavia, come detto al paragrafo precedente, gioca forse più che una necessità immediata di sviluppare la tecnologia nucleare, la spinta di forze nuove, Paesi o industrie, che desiderano non essere tagliati fuori dallo sviluppo nucleare.

La complessità dei problemi legati allo sviluppo dell'energia nucleare e le relative difficoltà di fare una buona programmazione o a livello nazionale o a livello di singole industrie per entrare o mantenersi nel campo nucleare, non è solo mostrata dalle alternative sui tipi di reattori sopraelencate, ma anche dai problemi posti dal ciclo di combustibile.

Anche qui i problemi non sono solo di natura tecnica, ma spesso di natura politica.

Come accennato sopra, molti programmi a carattere nazionale sono stati iniziati anni addietro sulla linea uranio naturale, in base a considerazioni politiche. La limitatezza di fonti di approvvigionamento di combustibile arricchito ha tuttavia notevoli implicazioni economiche. Ad esempio durante la Conferenza di Ginevra è stata annunciata l'approvazione della legge americana sulla proprietà privata del combustibile. Secondo tale legge entro il 31-1-1971 cesserà il sistema in corso di affitto del combustibile e sarà effettuato un servizio cosiddetto di « toll enrichment » (riarricchimento di uranio naturale fornito dal cliente) a partire dal 1-1-1969.

L'entrata in funzione delle prime centrali nucleari non può non porre a breve scadenza i problemi integrali del ciclo di combustibile (approvvigionamento, trasporto, riprocessamento, utilizzazione dei materiali fissili prodotti).

Tali problemi sono infatti stati trattati in modo abbastanza concreto a Ginevra, sia dal punto di vista delle soluzioni tecnologiche, che degli aspetti tecnico-economici. Ad esempio è stato dibattuto il problema se sia più conveniente usare pochi grandi impianti di riprocessamento con bassi costi di riprocessamento, ma con i conseguenti alti costi di trasporto del combustibile irraggiato (data la più grande distanza media delle centrali dagli impianti di riprocessamento) o il viceversa. Attualmente il costo del trasporto del combustibile irraggiato influisce per 1-5 % del costo totale del ciclo di combustibile (2 \$/kg per piccole distanze, 10 \$/kg per distanze superiori a 1.000 km). Secondo una previsione europea per i prossimi 15 anni basterà in Europa forse un solo grande impianto. Successivamente altri impianti più piccoli potranno sorgere con più ridotte spese di trasporto.

Il problema del riprocessamento, in particolare quando sarà economico avere impianti locali, non potrà essere disgiunto dalla riutilizzazione e quindi rifabbricazione di elementi di combustibile contenenti Pu o <sup>239</sup>U.

L'esperienza di utilizzazione del Pu in reattori termici comincia ad affluire ed è incoraggiante. Ad esempio nel BR-3 è stato irraggiato combustibile ad UO<sub>2</sub>-PuO<sub>2</sub> fino a 5.000 MWd/t. Attualmente si prevede che combustibili ad ossidi misti U-Pu potranno essere irraggiati fino a 40.000-100.000 MWd/t.

La programmazione di iniziative industriali nel campo del combustibile deve tener conto di questi vari aspetti e delle mutevoli forme della tecnologia. Infatti non tutto è chiaramente definito anche nella tecnologia del ciclo di combustibile. Fortunatamente il successo dell'uso di UO<sub>2</sub> ha sgombrato il campo alle alternative almeno per i reattori ad acqua. Rimane pur sempre l'alternativa: uso di acciaio inossidabile o zirconio come materiale di rivestimento, per la quale a Ginevra non è stata detta alcuna parola definitiva.

Nel campo dei combustibili metallici eccellenti progressi sono stati fatti sulle leghe per ridurre il rigonfiamento del combustibile durante l'irraggiamento. Due soluzioni diverse sono qui presenti: quella inglese che adotta l'aggiunta di poche parti per milione di Al e Fe nell'uranio e l'altra, seguita da americani, russi, francesi con lo sviluppo di leghe di uranio con relativamente alte percentuali di Mo.

Per i reattori a gas di tipo avanzato rispetto a Calder Hall è probabile che nel futuro i combustibili ceramici abbiano il sopravvento in particolare per temperature sempre più alte; tuttavia per il momento i combustibili metallici sembra possano competere ancora per molto tempo, grazie anche allo sviluppo di nuove leghe resistenti ad alte temperature.

La Conferenza di Ginevra ha confermato che, per il momento almeno, non esiste un combustibile standard e che anche per un dato tipo di reattore vi sono disparità di vedute sulla soluzione ottima. Tipico è il caso dell'uso di magnox come incamicatura per combustibile metallico per reattori a gas. L'impiego del magnox sembra essere ora scartato dalla U.K.A.E.A., ma viene invece mantenuto dai francesi (sviluppo di un elemento anulare) e dal gruppo industriale inglese

T.N.P.G., che ha messo a punto un nuovo disegno (« flat bar ») con il quale sembra si possa innalzare la potenza specifica anche del 100% rispetto agli elementi inglesi a magnox usati ad esempio nell'impianto di Latina.

Nel campo del riprocessamento sembra ci sia ancora molto spazio per migliorarne la tecnologia. Attualmente il riprocessamento è responsabile per circa il 20% del costo del ciclo di combustibile. Il sistema più studiato è quello per via liquida (uso di tributilfosfato). Buone prospettive sembrano essere legate a sistemi per via secca, in particolare per piccoli impianti. In tale settore cominciano ad essere forniti risultati sperimentali da impianti piloti (pirometallurgia in U.S.A., fluorinizzazione e volatilizzazione in Belgio).

La visione del ciclo integrale del combustibile ha avuto a Ginevra i suoi oppositori nei canadesi, per le stesse ragioni per le quali essi sono contrari allo sviluppo dei reattori veloci. Secondo i canadesi, infatti, non è necessario riprocessare il combustibile estratto da reattori ad uranio naturale con buona economia neutronica come quello a  $D_2O$ , e non v'è da preoccuparsi per le scorte di uranio naturale.

Per non semplificare troppo il quadro del ciclo di combustibile va infine ricordato che il ciclo  $Th-^{233}U$  continua ad avere i suoi avvocati. In particolare sono state fatte valutazioni per cui un sistema generante energia elettrica basandosi sull'uso del ciclo U-Th in reattori autofertilizzanti termici (a  $D_2O$ ) richiederebbe circa gli stessi quantitativi di combustibile di un sistema a ciclo U-Pu in cui reattori veloci a Pu venissero accoppiati con reattori termici ad uranio.

#### PROGRESSI MANUFATTURIERI DELLA TECNOLOGIA NUCLEARE

L'energia nucleare non è solo in mano a scienziati e pianificatori in cerca di soluzioni tecniche sempre migliori, ma è anche industria manifatturiera. Progressi notevoli sono stati compiuti ed illustrati a Ginevra nel campo dei componenti, in particolare per i reattori di « tipo provato ». Il progresso più spettacolare è nelle dimensioni dei componenti stessi. Ad esempio per i recipienti in pressione si parla ora come fattibili di diametri di 308" e 10,5" di spessore per reattori B.W.R. da 1.500 MWe e di diametri di 220", stesso spessore, per reattori P.W.R. sempre da 1.500 MWe.

Sempre nel campo dei contenitori in pressione lo sviluppo dei contenitori di nocciolo per reattori a gas in cemento pre-compresso rappresenta certamente un passo decisivo per lo sviluppo e le fortune future dei reattori a gas.

La standardizzazione dei componenti e dei processi di fabbricazione è certamente un elemento importante, che va unito alla semplificazione sempre più spinta nel progetto degli impianti, per la competitività dell'energia nucleare.

È probabile che l'inerzia dell'industria manifatturiera a cambiare le soluzioni tecniche con la velocità prevista dai gruppi di ricerca e sviluppo, si faccia prima o poi sentire come un freno alle troppe alternative di reattori e di sistemi ora propuginate.

Tuttavia alla data della 3ª Conferenza di Ginevra, ciò non sembra essere ancora avvenuto e non è stato dato eccessivo risalto a tali aspetti dello sviluppo della tecnologia nucleare.

#### APPLICAZIONI DIVERSE DELL'ENERGIA NUCLEARE

Come accennato nell'introduzione una notevole enfasi è stata posta sulle prospettive dell'energia nucleare per la desalinizzazione di acqua. Tra l'altro la desalinizzazione sarà il banco di prova di una prima concreta collaborazione tra russi ed americani per la realizzazione di un impianto probabilmente sul Mar Caspio.

Le prospettive di costo della desalinizzazione sembrano tuttavia tali da escludere per il momento impianti di piccola potenza. Ad esempio, un impianto duale da 200 MWt che produca energia elettrica a 3,6 mill/kWh, darebbe un costo per l'acqua di 0,71 €/gallone (produzione di 30 milioni di galloni per anno). Una centrale da 4.360 MWe può invece produrre energia a 1,8 mill/kWh ed acqua a 0,23 €/gallone (produzione di 1,9 miliardi di galloni per anno).

La propulsione navale nucleare non era all'ordine del giorno della Conferenza. Tuttavia i russi hanno dichiarato di aver deciso la costruzione di due altri rompighiaccio, il primo dei

quali avrà due soli reattori e sarà pronto per il 1971. Non hanno invece per il momento piani per la propulsione commerciale anche se la giudicano promettente.

Il problema della conversione diretta del calore nucleare in energia elettrica è stato invece ampiamente trattato.

Sono state illustrate le realizzazioni nel campo della conversione termoelettrica sia usando radioisotopi che reattori come sorgente di calore. Tuttavia l'interesse per tale metodo è assai limitato date le speciali applicazioni (missioni spaziali, stazioni meteorologiche isolate) per le quali essa è adatta, date le basse potenze ottenibili, convenientemente.

Nel campo della conversione per effetto termoionico e per via « magnetoidrodinamica » si è ancora agli inizi e le prospettive di successo sono assai incerte.

Prime realizzazioni su scala industriale si sono invece avute nel campo della conservazione dei cibi per irraggiamento, metodo che è stato, dopo molte indagini, dichiarato completamente innocuo da una speciale commissione U.S.A.

Sull'applicazione pacifica delle esplosioni per escavazioni sono stati ottenuti buoni risultati dal progetto Plowshare americano, si da rendere possibile la previsione di applicazioni pratiche a breve scadenza. L'Egitto si è dichiarato pronto per una prima applicazione, se aiutato da Paesi in possesso di bombe atomiche, per scavare un canale di 75 km che unisca il Mediterraneo con la depressione del Qantara.

Anche per le applicazioni diverse dell'energia nucleare va ricordata, come più sopra per le centrali, l'esistenza di un potenziale tecnologia già sviluppato o in corso di sviluppo nel campo della propulsione navale e spaziale, attualmente non disponibile per ragioni di segretezza, che se nel futuro potesse essere liberalizzato potrebbe modificare sostanzialmente gli sviluppi della tecnologia nucleare per scopi pacifici.

#### PROSPETTIVE DELLA FUSIONE TERMONUCLEARE

La Conferenza di Ginevra ha confermato da una parte le difficoltà di giungere rapidamente alla fusione termonucleare e dall'altra la vastità delle ricerche in corso.

Si valuta che nel mondo si spendano circa 100 milioni di dollari l'anno per ricerche sulla fusione. Sarebbe più proprio, tuttavia, parlare per il momento di ricerche sulla fisica dei plasmi, perché in nessuna delle attrezzature esistenti si è riusciti fino ad ora ad ottenere temperature sufficientemente elevate da avere reazioni di fusione.

I progressi di conoscenze sulla fisica dei plasmi sono stati tuttavia notevolissimi. Si è riusciti a dominare il problema della stabilità macroscopica dei plasmi e si è ora iniziato lo studio delle microinstabilità. Una terza fase, prima di poter conoscere completamente questo stato della materia, sarà probabilmente connessa con i problemi di diffusione attraverso il campo magnetico di contenimento del plasma.

La fusione termonucleare controllata, se sarà fattibile, rappresenterà la vera soluzione dei problemi energetici dell'umanità. Da qui l'interesse a mantenere studi estesi su tale argomento. Tuttavia nessuno a Ginevra ha fatto previsioni per una rapida soluzione (entro il secolo) del problema.

#### CONCLUSIONI

L'esposizione di cui sopra si è limitata agli aspetti generali della Conferenza di Ginevra, la quale tuttavia è stata assai interessante anche per la quantità di informazioni di dettaglio presentate sui molteplici problemi scientifici, tecnologici ed economici posti dallo sviluppo dell'energia nucleare.

Da quanto sopra, risulta tuttavia che, anche rimanendo ad un livello di carattere generale, l'energia nucleare rimane un soggetto assai complicato e dall'aspetto mutevole. Un'eccessiva semplificazione o drammatizzazione dei problemi posti dall'energia nucleare può risultare assai dannosa in particolare per chi voglia pianificare per lo sviluppo di un'azione industriale nel campo dell'energia nucleare.

D'altra parte è stato confermato a Ginevra che le prospettive industriali dell'energia nucleare dovrebbero essere eccellenti già a breve termine, il che, tra l'altro, spiega l'esistenza ed il rafforzarsi di molteplici iniziative a livello nazionale e di singole industrie malgrado la difficoltà di fare giuste previsioni sullo sviluppo tecnologico dell'energia nucleare e la conseguente incertezza per un'accorta programmazione a lungo termine.