Dalla ricerca alla programmazione

La battaglia per l'energia nucleare

Contrattacco dei carbonieri e petrolieri per ritardare lo sviluppo del nuovo settore energetico — Iniziativa pubblica e gruppi privati in Italia

Particolare del contenitore del nuovo reattore francese EL-4

Il *Financial Times* di Londra riferisce due fatti, occorsi nell'ultimo mese, i quali sembrano indicare che la tendenza emersa un anno fa negli Stati Uniti con il ben noto Rapporto Seaborg, a favore della adozione di importanti programmi di produzione dell'energia elettrica da fonte nucleare, stia ancora una volta per invertirsi, sotto la pressione degli interessi legati alla industria energetica convenzionale.

I fatti citati riguardano due distinti programmi di centrali nucleo-elettriche finanziate dall'industria, che sono stati abbandonati; il primo, per una centrale mista (nucleare e convenzionale) da 1000 Megawatt, di cui 700 di origine nucleare, nello stato di New York, doveva essere finanziato dalla *Consolidated Edison*, che ha invece deciso di acquistare nel Canadà energia idroelettrica. Il secondo, per una centrale di 350 Megawatt a Bodega Bay, in California, verrebbe abbandonato dalla compagnia *Pacific Gas and Electric* con la giustificazione che la zona prescelta sarebbe esposta a fenomeni sismici. La AEC (Commissione per l'energia atomica) non è però dello stesso avviso e continua a caldeggiare l'esecuzione del progetto.

Che i due progetti siano cancellati simultaneamente non sembra casuale, e comunque è abbastanza per indicare una inversione della tendenza che si era venuta delineando, e che si esprimeva in questi due programmi più tre altri, tutti intesi a superare con la grande potenza degli impianti la forte incidenza dei costi capitali sul costo di produzione dell'energia. E' noto infatti che il costo dell'energia elettrica prodotta nelle centrali nucleari riflette soprattutto l'alto livello degli investimenti necessari a costruire i reattori; ma il valore di questi investimenti non aumenta come la potenza, cioè è relativamente minore per potenze più elevate, così che, al livello attuale della tecnica, risulta che impianti aventi una potenza da 500 a 1000 Megawatt possono produrre energia a un costo competitivo anche negli Stati Uniti, dove le fonti convenzionali sono particolarmente a buon mercato.

Dagli S. U. alla CEE

L'abbandono di cui dà notizia il giornale londinese deve essere perciò assunto come un indice assai significativo, che si colloca peraltro in un contesto largamente noto: i capitali investiti, negli Stati Uniti, nell'industria petrolifera e nel carbone vedrebbero in breve diminuito il loro valore se il settore dell'energia nucleare si sviluppasse con la rapidità che è consentita dai risultati già acquisiti in sede scientifica e tecnica: di qui la tendenza — manifesta fin dal 1945 — a ritardare un processo che non potrà comunque essere impedito, secondo quanto il presidente della AEC, Seaborg, espose nel Rapporto già ricordato al presidente Kennedy; e agli industriali, sollecitati a non nascondere gli occhi nella sabbia, bensì a prendere iniziative in campo nucleare, dove oramai potevano attendersi «ritorni», cioè profitti, tali da compensare la più rapida obsolescenza degli investimenti convenzionali.

L'abbandono dei due progetti nucleo-elettrici significa evidentemente che gli industriali americani intendono limitarsi ancora a seguire la linea che consiste nel coprirsi con pochi impianti sperimentali o «pilota» (e naturalmente con la relativa ricerca tecnologica) senza però impegnarsi seriamente facendosi promotori degli sviluppi tecnicamente possibili, e augurabili dal punto di vista dell'interesse generale.

Naturalmente non può trattarsi di una scelta definitiva, o che trovi concordi tutti quelli che sono in grado di prendere decisioni. Risulta, all'opposto, che la lotta ordinariamente piuttosto sorda fra diversi gruppi economici si è venuta facendo, sulla questione dei programmi nucleari, notevolmente tesa e aperta: la *National Coal Association*, cioè l'associazione dei produttori di carbone, ha sostenuto — in una lettera indirizzata agli organi a cui spetta la concessione di autorizzazioni per le installazioni nucleari nei vari stati americani — che i costi nucleo-elettrici sono lontani dall'essere competitivi, e che la sola ragione per cui alcuni industriali avrebbero deciso di costruire centrali nucleari è il timore che possa farlo il governo federale in loro assenza.

I produttori di carbone hanno ottenuto i servizi di David Lilienthal, già presidente della AEC, il quale si è personalmente impegnato in una campagna contraria allo sviluppo delle fonti nucleari di energia. Il periodico *Atomo e Industria* riporta qualche episodio della controffensiva mossa al carbone dal gruppo di cui è portavoce la rivista *Nucleonics*, e che si sviluppa con l'opportuna contestazione degli infiniti lutti e danni (compreso un certo *fallout* radioattivo) di cui è responsabile l'industria del carbone, veramente non difendibile sul terreno della umanità e della sicurezza.

Nondimeno, è noto che i carbonieri americani sono stati preceduti di alcuni anni, nella furia antinucleare, dai loro colleghi europei, segnatamente quelli della CEE, i quali hanno condotto finora in sede «comunitaria» una politica di aperta protezione del settore carbonifero bloccando la definizione di una politica energetica dei «sei»; essi non disarmano, e si valgono ora anche degli argomenti freschi forniti dagli USA. Fra le notizie raccolte nelle ultime settimane non ne troviamo che si colleghino direttamente al cartello del petrolio, il quale del resto ha appreso da tempo a condurre copertamente il suo giuoco. Esso figura comunque in prima linea fra le parti interessate, perchè il ritardo del settore nucleare è una condizione essenziale per mantenere il sistema dei prezzi petroliferi, e la pratica dell'autofinanziamento che essi consentono.

Anzi — come già si osservò in una precedente occasione in queste pagine — se il ritardo del settore nucleare dovesse protrarsi i prezzi petroliferi tenderebbero a salire, e l'energia convenzionale sarebbe tra breve molto più cara di ora. Tale è dunque il contesto internazionale in cui si colloca il processo di revisione che nel nostro paese è in corso per quanto riguarda la ricerca tecnologica in campo nucleare, e i suoi nessi con la ricerca scientifica, da una parte, e con la programmazione economica dall'altra.

Nessuno crederà che le pressioni manifeste negli Stati Uniti e in seno alla CEE non operino anche in Italia, dove gli interessi del carbone — è vero — non sono fortemente rappresentati, ma dove in compenso una delle compagnie più qualificanti del cartello petrolifero, la *Gulf Oil*, si è recentemente insediata con larghezza di mezzi, in posizione direttamente frontale rispetto alla iniziativa pubblica (in campo così petrolifero come nucleare) che si attua nell'ente di stato per gli idrocarburi. E dove i più forti gruppi economici — Fiat, Edison, Montecatini — sono intimamente legati ai maggiori confratelli USA.

Né è forse caso che l'attuale ministro degli esteri sia l'uomo che nello scorso agosto tradusse in italiano, e per uso interno, gli argomenti usati dal già ricordato Lilienthal per ostacolare nel suo paese gli sviluppi del settore nucleare. In tale quadro, non sarebbe «presumibile» — come scriveva *l'Avanti!* qualche giorno fa — che non vi fossero resistenze al proposito asserito (per vero dire in forma finora assai vaga) da qualcuno dei membri del governo, di risolvere i problemi della ricerca scientifica a tutti i livelli nel quadro della programmazione economica.

L'avversario del paese

E' chiaro che una condizione necessaria perchè la linea tendente a ritardare gli sviluppi nucleari possa essere applicata, anche negli Stati Uniti, è che non si faccia per iniziativa pubblica quello che i gruppi privati non intendono fare essi stessi: non lo si faccia negli stessi Stati Uniti e negli altri paesi produttori di carbone e di petrolio, e nemmeno in alcun paese comunque compreso nell'area commerciale in cui gli interessi del carbone e del petrolio hanno peso. Ma non volere i reattori di potenza, o non volerli troppo presto, significa anche non volere la ricerca tecnologica relativa, se non in misura marginale e cautelativa, e comunque sotto stretto controllo da parte degli interessi che si è cercato qui di mettere in luce. Inoltre, limitare in tal modo la ricerca tecnologica significa anche creare condizioni in cui la ricerca fondamentale (quella volta all'acquisto di conoscenze di principio) non può tradursi facilmente in acquisto e beneficio del paese, e pertanto è condannata a deperire.

Questa è la situazione di fronte alla quale, e in parte almeno entro la quale (pensiamo certo alla Farnesina più che alla Minerva) si trova il governo italiano: e in tale frangente gli gioverebbe un'attitudine meno velleitaria ed equivoca. Se l'avversario del governo è davvero quello del paese, dello sviluppo economico e civile del paese, non si tenti di nascondere che è un avversario assai forte, contro il quale occorre chiamare alla lotta tutti quelli che sono in grado di lottare.

Francesco Pistolese

Indicazioni di un convegno milanese

Lo stato l'industria e la tecnologia

Il Prof. Polvani, nella sua relazione al convegno milanese sul tema: «L'industria di fronte alla ricerca», ha rilevato giustamente che il convegno stesso poteva essere classificato come appartenente alla seconda generazione, perché ormai non si discute più sull'importanza e quindi sulla necessità della ricerca scientifica, ma solo sul come e con quali mezzi è necessario portare avanti tale tipo di attività. Si tratta di questioni estremamente importanti su cui è opportuno avere delle idee molto chiare.

In relazione all'intervento del dott. Furio Cicogna, presidente della Confindustria, è necessario precisare che non c'è nessuno oggi in Italia che nega la vitale importanza della ricerca applicata. La verità dei fatti è che giustamente si è polemizzato su quella prassi adottata da molte industrie, specie nel settore farmaceutico, di far passare per laboratori di ricerca semplici laboratori di analisi e di controllo della produzione, per usufruire della nota clausola con cui viene calcolato il prezzo di vendita dei medicinali.

Il dott. Cicogna cerca di respingere l'accusa secondo la quale l'industria italiana non ha ancora compreso l'importanza economica della ricerca e nel far ciò cita gli esempi del CISE e del CESI. In verità la scelta di questi esempi è particolarmente infelice, perché più volte chi scrive ha narrato su queste colonne la istruttiva e fortunosa storia del CISE, proprio per dimostrare l'insufficienza, la contraddittorietà e la «furbizia» dell'azione delle grandi industrie italiane nel settore delle applicazioni dell'energia nucleare.

Per ciò che riguarda il CESI il discorso da fare sarebbe troppo lungo. Tuttavia basta ricordare che l'Italia è stato uno degli ultimi paesi ad adottare la tecnica degli analizzatori di rete, così come è stato uno degli ultimi paesi industriali nel settore delle stazioni di prove per gli interruttori e per le apparecchiature ad alta tensione.

Di importanza decisiva è il problema del ruolo dello Stato nella ricerca applicata. La Confindustria accusa lo Stato italiano di disinteresse di fronte ai problemi della ricerca applicata e lo esorta a finanziare ricerche basilari da eseguire nei laboratori delle grandi industrie, e a stipulare con i monopoli privati contratti di ricerca a totale carico dei contribuenti. Nel sostenere queste tesi ci si appoggia all'esperienza dei paesi industriali più progrediti dell'Occidente. Un problema analogo viene sollevato in materia fiscale: si sostiene che lo Stato dovrebbe sottrarre dagli imponibili le somme destinate alla ricerca scientifica.

E' evidente che nel discutere questi problemi non è possibile esaminare i due termini del rapporto da un punto di vista astratto. Quando si parla di dare fondi pubblici ad aziende private bisogna tener sempre presente che siamo in Italia e che per tal motivo una prassi di questo tipo fa sorgere inevitabilmente due pericoli: uno è quello della pura e semplice sottrazione dei fondi che potrebbero essere destinati a scopi che non hanno nulla a che fare con la ricerca; l'altro è che le grandi industrie potrebbero servirsi dei fondi statali per realizzare brevetti che poi verrebbero utilizzati in modo nettamente monopolistico su scala mondiale. A questo proposito non ci si deve mai dimenticare che l'Italia è uno dei pochi paesi dove non esiste l'istituto della licenza obbligatoria per l'utilizzazione dei brevetti.

Un discorso analogo si può fare per ciò che riguarda la esenzione fiscale. A questo proposito la prima considerazione da fare è che il livello di tassazione è in Italia molto inferiore di quello che vige in quei paesi dove si applica la regola della sottrazione dei fondi destinati alla ricerca. Pertanto si potrebbe anche sostenere che qui da noi la facilitazione fiscale non è necessaria perché essa già esiste, seppure in altra forma. Ad ogni modo non c'è dubbio che se si adottasse una politica di questo tipo ci si dovrebbe preoccupare della nascita di un nuovo mezzo di evasione fiscale. I fondi per la ricerca potrebbero costituire un comodo paravento per decurtare drasticamente i valori degli imponibili...

La prassi da seguire è quella di favorire la formazione di consorzi fra industrie operanti nello stesso settore e in settori affini, e di dare il contributo dello Stato solo a quelle iniziative che non si traducono in rantaggi monopolistici di questa o di quella grande azienda, ma in un contributo positivo a tutte le aziende che operano nei diversi campi, così da accrescere la loro capacità concorrenziale sul piano internazionale. La politica attuale del CNR è quella di formare piccoli centri di ricerca il cui finanziamento è suddiviso a metà tra lo Stato e le industrie private. Finora sono stati creati sei di tali centri per i quali sono stati spesi 450 milioni e ci si prepara a spendere altri 500 milioni nel corrente anno.

Si tratta di somme che sono relativamente basse e non c'è da illudersi circa i risultati che con esse si possono realizzare. Il problema della ricerca applicata è quindi in Italia un problema aperto, la cui soluzione non è né prossima né facile. Quel che è certo è che la nostra industria deve cambiare radicalmente politica in questo settore sia col destinare alla ricerca fondi adeguati, sia corrispondendo al personale impiegato in tale attività un trattamento economico non inferiore a quello applicato per i dirigenti addetti alla produzione e all'attività amministrativa.

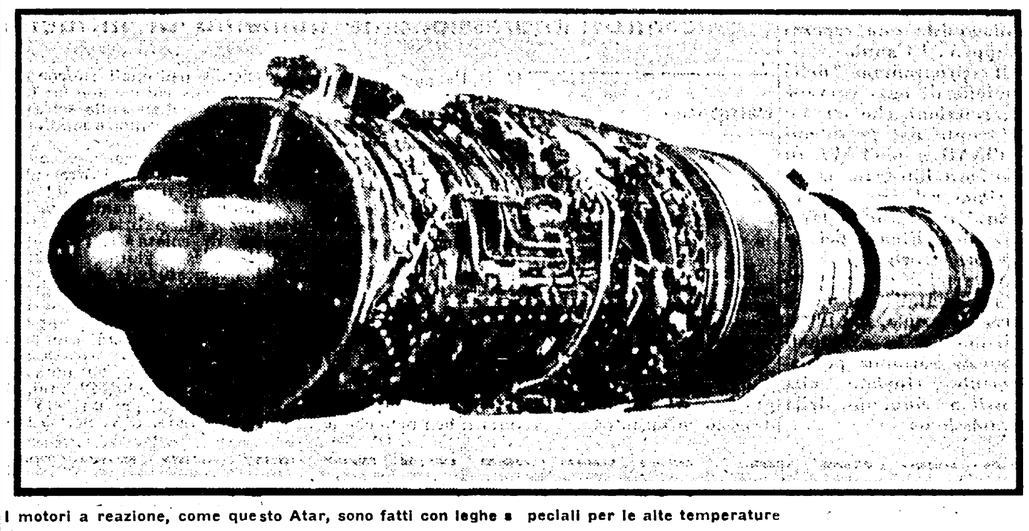
F. Di Pasquantonio

scienza e tecnica

La metallurgia dei turbogetti e dei missili

Materiali moderni per le alte temperature

Superleghe, refrattari, «cermets» aprono la strada a nuove possibilità sia in aeronautica sia nella navigazione spaziale



I motori a reazione, come questo Atar, sono fatti con leghe speciali per le alte temperature

Abbiamo parlato, in un precedente articolo, della nuova metallurgia dei materiali resistenti alle basse e bassissime temperature, quali sono richiesti nelle applicazioni della moderna missilistica, dovendosi produrre e conservare materiali allo stato liquido, a 150 gradi sotto zero e oltre.

Daremo uno sguardo ora, sempre nel campo della metallurgia avanzata, ai materiali resistenti alle alte ed altissime temperature che sono richiesti, in particolare, all'interno dei propulsori per aerei a turboelica e a getto e per missili.

In queste applicazioni, tali materiali non solo sono assolutamente necessari, ma condizionano il progresso e la riuscita delle nuove imprese. Non è chiaro perché, ai tempi dei primi successi della grande missilistica sovietica, molti giornali parlarono di «superpropellenti», suggerendo che «il segreto» di tali successi andasse ricercato in uno o più tipi di propellenti particolarmente «potenti». La realtà, invece, era allora, come è oggi, del tutto diversa: la chiave del successo va ricercata piuttosto tra le superleghe, i materiali refrattari speciali, le parti metalliche protette con strati di materiali ceramici, e cioè nel campo della metallurgia avanzata.

Già in un normale propulsore per aerei, del tipo a turbogetto o a turboelica, si hanno condizioni assai spinte, che richiedono materiali con caratteristiche elevatissime di resistenza al calore, agli sforzi meccanici, all'effetto del rapido passaggio da una temperatura bassa ad una elevata («choc termico»). Nelle camere di combustione di tali propulsori si hanno temperature che vanno, oggi, dagli 850 ai 1.000 gradi centigradi, ed è tutt'altro che raro che, causa un andamento irregolare della combustione, singole zone delle pareti delle camere assumano temperature ancor più elevate, fino a 1.200 gradi. Nelle altre parti dei propulsori, si hanno temperature un po' inferiori, ma sempre molto alte, superiori in genere ai 500 gradi centigradi, e cioè al limite al quale si può arrivare con gli acciai speciali.

Il motivo di tali elevatissime temperature è d'ordine teorico e si può facilmente esprimere mediante formule fisiche, che non è qui il caso di riportare: riuscendo ad aumentare la temperatura (e la pressione) dei gas all'interno delle camere di combustione, si ottiene un rendimento più alto ed una spinta maggiore da parte di uno stesso apparato propulsore. Secondo studi recenti, in una turboelica di tipo aeronautico, un aumento di 100 gradi all'interno delle camere porta un cospicuo aumento di spinta, che può andare dal 12 al 25%.

Questi fattori giocano anche nei propulsori per missili, e in misura ancora più sensibile: tanto questi che i turbogetti e le turboeliche (come del resto i motori a pistone e le turbine a vapore) sono tutti motori termici, soggetti ad uno stesso gruppo di leggi fisiche, anche se la loro costituzione è molto differente.

All'interno degli apparati propulsori per missili ed aerei, dunque, regnano condizioni molto severe e le prestazioni dei propulsori stessi possono salire rapidamente qualora sia possibile mantenere temperature e pressioni sempre più elevate. I relativi materiali debbono resistere a tutta una serie di sollecitazioni: sforzi meccanici dovuti alla pressione dei gas ed al funzionamento degli organi mobili (giranti dei compressori e delle turbine, pompe ecc.); elevatissime temperature; vibrazioni; rapidi salti di temperatura; attacco chimico da parte dei gas ossidanti, erosione da parte delle inevitabili particelle solide frammiste ai gas.

I risultati ottenuti negli ultimi vent'anni dalla metallurgia, su questo terreno, sono veramente notevoli, ed altresì incoraggianti, in quanto è prevedibile la disponibilità, nei prossimi anni, di materiali di caratteristiche ancora superiori.

Si può fare, oggi come oggi, un primo raggruppamento dei materiali, in diverse «famiglie». In primo luogo, le leghe d'alluminio vanno escluse, in quanto oltre i 175 gradi perdono le loro caratteristiche di resistenza meccanica, per fondere poco oltre i 600 gradi. Tali leghe scompariranno anche dalla costruzione delle fusoliere e dei rivestimenti alari degli aerei supersonici, in quanto, per effetto dell'attrito contro l'aria, tali organi raggiungeranno temperature molto alte (circa 300 gradi per Mach 3, circa 600 gradi per Mach 5).

Con gli acciai speciali, si possono raggiungere temperature d'esercizio fino a circa 600 gradi: sono disponibili diversi materiali, che presentano diverse caratteristiche di lavorabilità per stampaggio, fucinatura, saldatura, lavorazione alla macchina utensile. Si tratta di leghe ferro-cromo-nichel, ferro-cromo-nichel-cobalto, di acciai al titanio, di leghe a base di nichel contenenti in percentuali diverse alluminio, titanio, molibdeno, niobio, tungsteno.

Con le cosiddette «superleghe», a base di cobalto, si possono tenere temperature di esercizio fino a 1.000 gradi, come abbiamo accennato più sopra. Si tratta di leghe assolutamente nuove, le prime delle quali sono state approntate una ventina d'anni fa. In esse si ritrova cobalto in percentuali che vanno dal 35 al 65 circa, cromo dal 19 al 29%, nichel in misura molto variabile da una lega all'altra (dal 5 al 30%, mentre manca del tutto in alcuni casi), tungsteno dal 3 al 15% (assente in alcune leghe), e percentuali minori, sempre diverse da una lega all'altra, di carbonio, manganese, silicio, molibdeno, niobio, titanio, ferro, tantalio, zirconio.

Compaiono così, nel campo della metallurgia, e impiegati in quantitativi industriali, metalli il cui nome era prima noto solamente a chi studiava chimica, e dei quali si ritrovavano piccoli quantitativi più che altro nei laboratori ed in qualche modesta applicazione industriale del tutto particolare.

Le superleghe presentano tutte un'elevata resistenza alle temperature, agli choc termici, alle vibrazioni ed alla fatica (sono state stabilite speciali prove-tipo con sollecitazioni statiche ed alternate che durano migliaia di ore, a temperature molto alte). La metallurgia d'oggi dispone di una trentina di leghe di questo tipo, che si differenziano soprattutto per le doti di lavorabilità: alcune sono adatte a trattamenti termici, altre no, alcune sono facilmente lavorabili alla macchina utensile, altre si laminano facilmente, altre ancora sono adatte alla fusione o allo stampaggio a caldo. Lo studio delle superleghe potrà dare nei prossimi anni materiali ancora migliori, più facilmente lavorabili, meno costosi, ma è molto difficile che con tali tipi di leghe si possano superare temperature di esercizio di 1000-1200 gradi centigradi.

Questo traguardo, però, non costituisce una barriera: tutta una gamma di materiali d'altro tipo e di differenti caratteristiche è oggi allo studio per poter realizzare, all'interno dei propulsori per missili ed aerei, temperature dell'ordine dei 2000 gradi centigradi, con il che si avrebbe un progresso assolutamente sostanziale tanto in aeronautica che in cosmonautica, potendo aumentare i rendimenti, le spinte, l'autonomia, in una parola tutta la gamma delle prestazioni del mezzo, sia esso un aereo subsonico, un aereo supersonico o un missile o una cosmonave.

Anche qui incontriamo diciture nuove ed una terminologia inconsueta. Si parla di «materiali refrattari», ma non si intende con questo i classici materiali refrattari d'uso comune (mattoni o rivestimenti ceramici convenzionali); si parla di «metalli refrattari» intendendo con questo termine i metalli il cui punto di fusione è superiore ai 1.500-2.000 gradi (platino, tungsteno e altri); si parla poi di «metalli duri» intendendo i composti di un gruppo di metalli con carbonio, azoto, ossigeno boro e silicio.

Si hanno così, in grande numero, carburi, azoturi, ossidi, boruri e silciuri durissimi, di elevate caratteristiche meccaniche e con punti di fusione che salgono, in certi casi, oltre i 3000 gradi centigradi. Questi «metalli duri» (in realtà, composti chimici di metalli con altri elementi) vengono spesso combinati tra loro e con metalli o leghe metalliche diverse, dando origine ad una ulteriore famiglia di materiali, chiamata cermets.

La metallurgia di questi materiali non è così avanzata come quella delle superleghe al cobalto, trattandosi di materiali di non facile preparazione, che possono per di più dar luogo ad un elevatissimo numero di combinazioni e di preparazioni le quali presentano caratteristiche meccaniche, di resistenza al calore e ai salti di temperatura molto diverse. Va poi sperimentata, per questi materiali, la resistenza chimica a diversi reagenti, in particolare a composti ossigenati, i quali, a temperature dell'ordine dei 2000 gradi, diventano particolarmente aggressivi.

Su questo nuovo terreno sono ormai discesi, accanto ad elementi ben conosciuti, numerosi altri elementi sui quali, anche in un testo di chimica, si trovano poche righe di notizie. Composti allo studio, ad esempio, sono attualmente gli ossidi di hafnio, lantanio, tantalio, zirconio; i carburi di niobio, torio, titanio, hafnio; gli azoturi di selenio, uranio, berillio, tantalio; i boruri di zirconio, hafnio, tungsteno, niobio; i solfuri di cerio, bario, samario, torio; i siliciuri di titanio zirconio, hafnio, vanadio e tungsteno. Una gamma, nel complesso di almeno un centinaio di composti, che possono essere per di più mescolati, combinati con metalli diversi, lavorati per fusione, sinterizzazione, stampaggio ad altissima temperatura.

Un campo, oggi, apertissimo, dal quale potremo attenderci nel prossimo futuro realizzazioni di grande rilievo, che costituiranno uno degli elementi sostanziali del progresso in cosmonautica, aeronautica e motoristica generale.

Possiamo anche dire che chi disporrà di una migliore metallurgia avanzata, nei prossimi decenni, potrà tenere decisamente la testa nelle realizzazioni più avanzate e più audaci.

Giorgio Bracchi

Dizionario nucleare

Il reattore Rospo della Casaccia contiene uranio molto arricchito

ARRICCHIMENTO — E' il processo che consente di ottenere un isotopo «fissile» puro, cioè non mescolato con altri isotopi dello stesso elemento. Quando fu affrontato, negli Stati Uniti, il problema di fabbricare una bomba nucleare, fra la fine del 1942 e il principio del '43, si comprese che essa poteva funzionare solo se fosse stata fatta di un isotopo fissile puro: U-235 ovvero Pu-239.

Le due vie furono seguite (e infatti la bomba che distrusse Hiroshima era di U-235, quella di Nagasaki di Pu-239), con metodi evidentemente diversi. Mentre infatti, una volta ottenuto plutonio in un reattore nucleare dalla fertilizzazione (vedi la voce *autofertilizzazione* fra le precedenti di questo dizionario) dell'U-238, esso poteva essere separato da quest'ultimo con metodi chimici, essendo un elemento chimico diverso, la separazione di U-235 da U-238 (due isotopi dello stesso elemento) poteva farsi solo con metodi fisici, fondati sulla lievissima differenza di peso.

Il metodo fu messo a punto con notevole rapidità, e fu (ed è) quello della «diffusione gassosa»: un composto chimico dell'uranio, un esafluoruro, gassoso alla temperatura di esercizio, è lasciato diffondere attraverso una lunghissima serie di celle porose, e ogni volta avviene che le molecole di esafluoruro di uranio contenenti nuclei di U-235 tendano a concentrarsi nelle prime frazioni. Dopo moltissimi passaggi si ottiene dunque U-235 puro.

Questo metodo di «arricchimento» è tuttora in uso, sebbene forse meno per fabbricare bombe (per le quali pare sia preferito il plutonio) che per ottenere, con opportune aggiunte all'uranio naturale elementi di combustibile per reattori più o meno «arricchiti» in U-235 secondo le indicazioni del relativo progetto. Altri metodi di arricchimento — in particolare quello fondato sulla centrifugazione e tentato dai tedeschi già nel corso della guerra mondiale — si sono dimostrati meno efficaci.