SENATO DELLA REPUBBLICA

X LEGISLATURA

10ª COMMISSIONE PERMANENTE

(Industria, commercio, turismo)

INDAGINE CONOSCITIVA SULLA COMPETITIVITÀ TECNOLOGICA DELL'INDUSTRIA ITALIANA

8° Resoconto stenografico

SEDUTA DI MERCOLEDÌ 27 NOVEMBRE 1991

(Pomeridiana)

Presidenza del Presidente FRANZA

TIPOGRAFIA DEL SENATO (1150)

INDICE

Audizione del professor Bruno Coppi, del Massachussets institute of technology (MIT)

PRESIDENTE ..... *Pag.* 3, 10, 15
ALIVERTI (*DC*) 13
BAIARDI (*Com.-PDS*) 13
CALLARI GALLI (*Com.-PDS*) 11
MONTINARO (*Com.-PDS*) 15
VESENTINI (*Sin. Ind.*) 10

COPPI ..... *Pag.* 3, 11, 13 e *passim*

Interviene, ai sensi dell'articolo 48 del Regolamento, il prof. Bruno Coppi.

I Lavori hanno inizio alle ore 16.

PRESIDENTE. L'ordine del giorno reca il seguito dell'indagine conoscitiva sulla competitività tecnologica dell'industria italiana. È oggi in programma l'audizione del professor Bruno Coppi, del Massachussets Institute of Technology.

AUDIZIONE DEL PROFESSOR BRUNO COPPI, DEL MASSACHUSSETS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT)

PRESIDENTE. Ringrazio il professor Coppi per aver accolto l'invito della nostra Commissione e gli do senz'altro la parola per una esposizione introduttiva sull'argomento dell'indagine.

COPPI. Ringrazio lei, signor Presidente, e tutti i senatori presenti per l'invito rivoltomi.

Anzitutto esporrò alcune considerazioni generali. La produzione di energia per reazioni di fusione (che coinvolge nuclei leggeri con produzione di nuclei più pesanti) è molto comune in natura: il caso del sole è noto a tutti. In aggiunta, secondo la teoria prevalente con la quale raccontiamo la storia dell'universo, dopo circa 3 minuti dalla sua nascita l'universo stesso entrò nella cosiddetta età della nucleosintesi. Qui si verificarono le reazioni di fusione fra nuclei dell'idrogeno pesante, il cosiddetto deuterio, che portarono alla formazione di nuclei di idrogeno ancora più pesante, cioè di trizio e di elio «leggero».

Le reazioni di fusione che tentiamo di utilizzare per produrre energia sulla terra sono identiche a quelle che pensiamo abbiano avuto luogo nell'età della nucleosintesi. Infatti c'è una fortunata coincidenza per tutti noi: la concentrazione di deuterio che ci è stata lasciata negli oceani è circa 10 volte più grande di quella media che si ritiene esista nell'universo quale residuo della combustione primordiale. In sostanza il deuterio non è interamente bruciato nel corso della formazione dell'universo; per motivi che nessuno di noi conosce, negli oceani della terra ve ne è dieci volte di più di quanto ne esiste in media nell'universo.

La reazione di fusione più facile da utilizzare è quella deuterio-trizio, che produce un nucleo di elio 4 (che si trova normalmente in natura) e un neutrone di elevata energia. Questa è la reazione che viene sfruttata nelle cosiddette bombe all'idrogeno e in particolare nelle

bombe al neutrone. In più la stessa reazione viene utilizzata per aumentare il potere esplosivo di bombe a fissione; quindi purtroppo questa reazione è già sfruttata per scopi non benigni.

Vi è poi un'altra reazione: deuterio-elio 3 (elio «leggero»). Tale reazione produce un nucleo di elio 4 (normale) e un nucleo di idrogeno normale (protone); essa cioè non produce neutroni, producendo solo particelle cariche. Eliminando la produzione di neutroni (che hanno un forte potere penetrante nei materiali e li rendono radioattivi) si ottengono dei reattori che da me furono definiti «candidi» poichè sfruttano una reazione «pulita». Per esempio, non si è mai sentito parlare di bombe al protone, cioè basate sulla reazione deuterio-elio 3.

Si deve tenere conto del fatto che l'uso che si può prevedere per i reattori a fusione non è soltanto quello relativo alla produzione di energia elettrica, poichè essi possono essere utilizzati come sorgenti speciali di radiazione elettromagnetica, di particelle e come sistemi di propulsione spaziale; le prospettive sono cioè più vaste.

Da questi accenni di tipo poetico-filosofico, industriale, militare e scientifico è facile rendersi conto come le ricerche sulla fusione possano essere influenzate da una considerevole varietà di interessi. Per chi si interessa di cosmologia, le ricerche sulla fusione riguardano le prime fasi dell'universo; alcune reazioni interessano l'astrofisica; altre la difesa; altre ancora i soggetti che intendono produrre nuove sorgenti di energia o di particelle. Dico questo affinchè vi rendiate conto del motivo per cui si registrano reazioni estremamente diverse da persone variamente interessate al problema della fusione.

Vorrei ora soffermarmi sulla fattibilità di un reattore a fusione. Il fenomeno della fusione fredda, che ha coinvolto dirigenti nucleari italiani, ministri e giornalisti, va ricordato soltanto per dire che è lecito e naturale fare errori nella ricerca, la prassi è che questi errori siano riconosciuti e apertamente ritrattati. Non parlerò quindi della fusione a freddo.

Per realizzare un reattore a fusione occorre portare, per esempio, una miscela di deuterio e trizio (questi sono isotopi dell'idrogeno, il cosiddetto idrogeno pesante) a densità e temperature opportune con un tempo di confinamento dell'energia tale che l'energia depositata in questa miscela dalle particelle cariche (cioè dai nuclei di elio) prodotte dalla reazione sia sufficiente ad autosostenere il tasso di reazione. Mi spiegherò meglio: bisogna prendere una miscela di deuterio e trizio (il deuterio si estrae dall'acqua; il trizio viene prodotto dal litio), bisogna portarla a temperatura altissima e a densità opportuna; bisogna creare un ambiente in cui l'energia non tenda a scappare troppo velocemente. In queste condizioni l'energia che viene depositata dai prodotti della reazione può essere sufficiente a mantenere questa miscela calda (si chiama plasma) e permettere di sostenere la reazione; è questo il fenomeno dell'accensione.

L'accensione non è stata finora realizzata in forma controllata da nessun esperimento. Ribadisco che questa condizione di accensione, contrariamente a recenti esagerazioni di stampa e «esperti», non è stata ancora realizzata ed è l'obiettivo dell'esperimento IGNITOR che proposi in Italia fin dal 1976-1977 e di cui parlerò successivamente. A proposito di recenti echi di stampa devo dire che l'autorevole rivista inglese «The

Economist», in data 16 novembre 1991, a pagina 106, commentando le prove di iniezione di trizio nella macchina JET, ha detto testualmente: «Vi sarà un vero *breaktrough* (scoperta) soltanto quando sarà generato sufficiente calore all'interno di un reattore da permettere alla reazione (di fusione) di autosostenersi. Questa è la soglia nota come ignizione. Un reattore che passa questa soglia cessa di comportarsi come un pezzo di legno che brucia soltanto quando si tiene una fiamma accesa sotto di esso e comincia a produrre energia utile. L'ignizione è lontana ancora di una buona parte di un decennio e non si verificherà mai nel JET». Queste sono le affermazioni di «The Economist». Sarebbe interessante discutere i motivi per i quali un'opinione così franca non sia ancora stata espressa pubblicamente in Italia.

I metodi finora proposti per raggiungere l'accensione sono due: uno basato sul cosiddetto confinamento magnetico, cioè creando forti campi magnetici che contengono miscele di nuclei di deuterio e trizio accompagnati da elettroni liberi (plasmi) a densità relativamente bassa; l'altro basato sull'implosione di sferette contenenti deuterio e trizio indotta, in modo diretto o indiretto, da laser o da acceleratori di particelle.

L'ultimo tipo di confinamento è chiamato inerziale a corrisponde a quello utilizzato originalmente per le bombe termonucleari.

La maggior parte delle ricerche relative al confinamento inerziale finora sono state sovvenzionate da contratti militari in quanto, in caso di un accordo volto ad abolire le esplosioni di prova di bombe, possono continuarsi le ricerche rilevanti nel campo. Questo non esclude che se ne possa ricavare una sorgente utile di energia in futuro e, per tale motivo, bisogna prestare la dovuta attenzione a codesto approccio.

Si può riconoscere un difetto a esso, poichè richiede di disporre di intense sorgenti di energia, molto raffinate, vale a dire i *laser* o gli acceleratori.

Finora soltanto i laser sono stati utilizzati per esperimenti di implosione; al contrario, un esperimento come IGNITOR, basato sulla tecnologia di alti campi magnetici, con configurazioni relativamente compatte, può utilizzare energia elettrica in forma relativamente diretta e relativamente grezza per raggiungere l'accensione.

Per essere più specifico, il tipo di approccio alla fusione proposto dal professor Rubbia è del tipo di confinamento inerziale con utilizzazione di acceleratori di particelle.

Vorrei soffermarmi su alcune considerazioni circa l'impatto ambientale. I reattori a fusione hanno, in linea di princìpio, qualità più desiderabili di quelli a fissione, cioè quelli già in uso su cui si dibatte frequentemente. Essi non lasciano scorie equivalenti ai prodotti di fissione. Come è noto, il problema di come disfarsi del combustibile esaurito dei reattori di potenza a fissione rimane una grossa incognita. Le caratteristiche dei reattori a fusione dipendono dal tipo di reazione che si intende sfruttare e pertanto non si possono fare affermazioni generali su di esse.

Come ho detto prima, la reazione più facile da sfruttare è quella della bomba all'idrogeno, la cosiddetta reazione deuterio-trizio; tuttavia, come ho detto, ci sono alcuni problemi in quanto essa produce neutroni di alta energia; il trizio è radioattivo e va contenuto con molta cautela.

Fino al 1980 anche io pensavo che l'unica reazione con la quale si potesse progettare un esperimento di combustione per fusione fosse la reazione deuterio-trizio. Sulla base delle conoscenze di fisica che abbiamo e delle tecnologie sviluppate per gli esperimenti ALCATOR del MIT, studiate per la macchina IGNITOR, ci siamo accorti che è possibile costruire una macchina per bruciare la miscela del deuterio-elio3, minimizzando la produzione di energia in forma di neutroni.

È possibile, quindi, nella fusione studiare una sequenza di reattori di caratteristiche sempre più desiderabili. Da un punto di vista ambientale, è chiaro che questi presentano doti di attrattività. Allo stesso tempo, gli enti preposti alla ricerca sulla fusione erano così affezionati e legati alla reazione deuterio-trizio che l'autorizzazione a spendere fondi sulla reazione deuterio-elio3 giunse, almeno in Europa, molto in ritardo. Infatti, non so quanto venga speso in Europa, ma credo si tratti di una cifra estremamente bassa, quasi nulla, in ricerche riguardanti tale reazione.

Vorrei sottoporvi un'altra curiosità, per voi forse interessante. Il trizio contenuto in certe bombe nucleari tende a decadere e, decadendo produce elio3. Così ogni anno viene prodotta una quantità considerevole di elio3, un combustibile molto desiderabile per i reattori a fusione.

Nelle imprese scientifiche e di tecnologia avanzata è imprudente fare previsioni sui tempi. Purtroppo, sulla stampa queste previsioni non mancano. Occorre invece dare spazio a possibilità come quella dello sviluppo dei calcolatori o della esplorazione del sistema solare fino ai suoi confini (vedi l'impresa Voyager II, dove i tempi sono stati molto più brevi di quelli stimati nelle migliori ipotesi). È inutile che ve lo ricordi ma nessuno di noi, 30 o 40 anni fa, avrebbe mai pensato di poter avere in tasca un piccolo calcolatore, così come accade oggi. Se qualcuno 20 anni fa mi avesse chiesto se nell'arco della nostra vita saremmo stati in grado di giungere ai limiti del sistema solare, avrei risposto che era impossibile. In realtà, io stesso ho avuto la fortuna di vivere abbastanza a lungo da partecipare all'impresa Voyager, vedendo con i miei occhi non solo le primissime immagini di Urano ma anche di Nettuno, che è il pianeta ora più distante. Ho ricordato questi casi per sottolineare come sia imprudente fare previsioni in materia di ricerca.

Nel campo della fusione a titolo di esempio vorrei ricordare gli esperimenti ALCATOR sulla fusione che ho iniziato al MIT nel 1969. Questi esperimenti erano stati motivati non tanto dall'idea di fare la fusione, quanto dalla simulazione di alcune stelle a raggi X che un nostro connazionale, il professor Bruno Rossi, aveva scoperto con i suoi collaboratori negli anni precedenti.

Gli esperimenti ALCATOR hanno permesso in pochi anni di raggiungere un traguardo a lungo cercato (il cosiddetto criterio di Lawson) per il parametro di confinamento, di arrivare a individuare la fattibilità del primo esperimento di accensione, IGNITOR, e di provare la fattibilità dei reattori sperimentali ad alto campo magnetico e di dimensioni compatte.

Sono state raggiunte anche le condizioni nelle quali vengono prodotti plasmi con il grado di purezza necessaria per un reattore a fusione. Si sono ottenute inoltre le densità di particelle di gran lunga più elevate fra tutte quelle prodotte da tutti gli esperimenti a confinamento

magnetico. Questo è stato fatto nell'arco di pochi anni e a costi relativamente contenuti.

Se non viene permesso, come la vicenda IGNITOR in Italia dimostra, di poter eseguire gli esperimenti elementari necessari, i tempi relativi diventano molto lunghi. La strategia che più spesso viene pubblicizzata è quella di concentrare le ricerche sulla fusione su pochissimi esperimenti ad alto costo, della durata di 20 anni ciascuno, come è nel caso di SET e del proposto ITCR, da eseguire in serie. È chiaro che esperimenti che durano in media 20 anni, il cui costo è dell'ordine di diverse migliaia di miliardi, convergeranno molto lontanamente.

La strategia che condivido con molti colleghi che hanno attivamente partecipato alle ricerche sulla fusione fin dalle sue origini (vedi, per esempio, le riflessioni del dottor Okhawa della General Atomic, pubblicate nel 1990) è invece di costruire in parallelo esperimenti relativamente veloci a costo moderato e ben focalizzati su aspetti relativamente ben definiti, sia di fisica che di tecnologie rilevanti.

I tempi della fusione, in sostanza, possono essere di molto accelerati rispetto a quello che si ritiene oggi. Non posso dire quando potremo avere un reattore commerciale economico. Tuttavia, se dobbiamo aspettare, come nel progetto IGNITOR, 17 anni per fare gli esperimenti di accensione è chiaro che l'obiettivo di avere un reattore che produce potenza per fusione viene allontanato a tempo indefinito. Posso tuttavia dichiarare che gli esperimenti di accensione sono fattibili nell'arco di pochi anni.

I ritardi sono dovuti ad un intreccio di interessi; le ricerche di tipo nucleare sono state sviluppate storicamente con lo stile del progetto Manhattan, mirato a grandi imprese che chiedono grosse concentrazioni di sforzi.

Quindi sono state costituite delle istituzioni, sia all'estero che in Italia, che si sono abituate a gestire la ricerca con questo stile. Sarebbe come se nel caso dei calcolatori vi fossero soltanto le industrie abituate a costruire velocemente dei sistemi molto grandi, e non esistesse la possibilità di costruire sistemi piccoli. Oltre a questo, ci sono state delle previsioni da parte dei gruppi che danno consigli ai Governi riguardanti l'utilizzazione di sorgenti di energia. Alcuni di questi gruppi avevano previsto che non ci sarebbe stato bisogno di nuove sorgenti di energia fino all'anno 2030-2050 e che i combustibili fossili sarebbero stati sufficienti a soddisfare i bisogni dell'umanità. Senonchè un errore è stato fatto sottovalutando il danno ecologico che questi combustibili possono fare; questo tipo di prospettiva non ha certamente giovato allo sviluppo della fusione, insieme ad altri fattori.

L'esperimento IGNITOR si inquadra in una strategia scientifica che, secondo il rapporto di un comitato convocato al Ministero dell'energia degli Stati Uniti nel 1990, è primario. Nel rapporto di questo comitato si dice che gli esperimenti di accensori compatti ad alto campo magnetico, di cui IGNITOR è capostipite, sono destinati a fornire la fisica dei reattori per produrre potenza. In più si prevede che i reattori di potenza che si possono intravvedere a questo punto adotteranno la tecnologia degli alti campi magnetici, sulla quale la linea degli esperimenti del MIT, di Frascati e IGNITOR sono basati. Anche la

tecnologia, oltre che la fisica, sarà al proposito estremamente rilevante. Alla stessa conclusione è arrivato un rapporto prodotto nel 1990 in Giappone sui futuri reattori di potenza e un articolo del maggiore gruppo che opera in Russia sulla fusione; quindi c'è una forte convergenza in proposito.

Tutti gli esperimenti avanzati sulla fusione di tipo a confinamento magnetico hanno adottato il cosiddetto trasformatore in aria, da me proposto per la prima volta nel concepire un esperimento solo di tipo accademico e universitario. Per tutti questi motivi il Ministero per l'energia degli Stati Uniti ha dimostrato un concreto interesse a partecipare al programma IGNITOR. In particolare esso ha autorizzato lo stanziamento di fondi per lavori di analisi sulla fisica che IGNITOR potrà esplorare ed ha inviato il direttore del programma di fusione, la dottoressa Davies, insieme ad un altro funzionario, il dottor Dekker a Roma per incontrarsi con il Ministro dell'industria Bodrato; l'incontro è avvenuto ed è stato discusso un possibile piano di collaborazione. In più il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti ha invitato il professor Rosenbluty, che è uno scienziato di ben noto valore, a dirigere un comitato scientifico per coordinare i lavori di analisi con l'esperimento IGNITOR. Perchè questa collaborazione possa procedere, occorre che venga previsto un piano di spese che sia credibile in relazione ai costi che si possono prevedere per l'esperimento e che ne permetta la realizzazione in tempi brevi.

Occorre che venga messa in atto una piccola struttura amministrativa che consente di utilizzare in modo tempestivo gli stanziamenti destinati a IGNITOR ed evitare che questi vengano dispersi. Occorre che venga definita al più presto la scelta del sito. Ricordo che uno dei motivi di aver proposto IGNITOR in Italia è che vi sono nell'Italia del Nord due siti ideali per questo: Ispra in Lombardia e Saluggia nel Piemonte. Ispra è amministrato dall'EURATOM e Saluggia è amministrato in parte dalla FIAT, in parte dall'ENEA.

Questi siti hanno delle strutture di tipo nucleare già esistenti ed in più sono vicini a dei nodi di potenza elettrica a cui è possibile allacciare l'esperimento. La scelta di questi due siti non va fatta soltanto in base alle strutture esistenti, ma anche tenendo conto dei tempi richiesti dalle trattative per ottenere il reale accesso ad uno di essi. In particolare, è da tenere in conto il fatto se sia necessario compiere lunghi giri all'interno della Comunità europea per avere la disponibilità di Ispra.

L'altro punto è che è necessario che il programma IGNITOR venga inserito in tempi brevi nel piano quinquiennale europeo per le ricerche sulla fusione, nella forma di supporto ordinario, che consente un contributo pari a circa il 25 per cento e che lascia la massima flessibilità al programma nei tempi più brevi possibili.

Voglio ricordare che è entrata recentemente in funzione al Massachussetts Institute of Tecnology l'ultima macchina della generazione ALGATOR; essa ha adottato una configurazione simile a quella proposta in precedenza per IGNITOR e con diverse soluzioni tecnologiche simili. Tale macchina è certamente una buona base per confermare la fattibilità di IGNITOR e stimarne i costi.

Vorrei ora parlare di imprese internazionali, ITER e JET, di cui sicuramente avrete sentito parlare. Esiste attualmente una iniziativa per

mettere in atto tre centri di progetto per una grande macchina che dovrebbe avere il supporto finanziario dell'Europa, del Giappone, della Russia e degli Stati Uniti. Il costo totale stimato per tale progetto, che dovrebbe durare sei anni, è di circa 1.200 milioni di dollari cioè circa 1.500 miliardi di lire. Il costo proposto per l'esperimento, che dovrebbe terminare non prima dell'anno 2005, è di circa 6.000 miliardi. Esiste una combinazione di parametri in questo esperimento che è stata soggetta ad una grande evoluzione, stimolata, a mio parere, anche dalla necessità di adeguarsi alle caratteristiche del progetto IGNITOR. Tale combinazione di parametri è, a mio parere, non compatibile con il costo proposto, nel senso che questo è insufficiente. In più non ritengo realistica la missione attribuita all'impresa ITER di raggiungere la vera accensione per fusione in una macchina di grandi dimensioni, del tipo di quella finora proposta, come raccomandato da un comitato (Board) istituito dall'EURATOM, di cui il professor U. Colombo dell'ENEA era il presidente.

Il rapporto con le conclusioni del Comitato (Board) è stato pubblicato l'anno scorso.

Il programma sperimentale legato alla macchina europea JET si prevede che debba terminare nel 1996; in questo intervallo (fra ora e il 1996) le prestazioni della macchina dovrebbero essere migliorate. I risultati di JET ottenuti sistematicamente con plasmi composti di solo deuterio (cioè senza trizio) hanno influenzato positivamente l'evoluzione del programma IGNITOR ma non ne hanno sminuito l'urgenza. Sarebbe importante che ulteriori ritardi nella costruzione di IGNITOR non lasciassero un pericoloso intervallo vuoto di esperimenti su plasmi in grado di bruciare per processi di fusione. Sarebbe cioè importante che nel momento in cui la macchina JET cesserà di funzionare il progetto IGNITOR fosse pronto a partire.

In riferimento ad articoli recentemente apparsi sulla stampa italiana debbo dire che reazioni di fusione prodotte con plasmi di solo deuterio sono state copiosamente realizzate negli ultimi anni, in particolare negli esperimenti avanzati che abbiamo condotto con le macchine ALCATOR. Questo fatto purtroppo non è molto noto all'opinione pubblica. Vorrei poi brevemente fermarmi sui programmi sperimentali in corso in Italia. I due maggiori programmi di plasmi di fusione con confinamento magnetico sono il *Frascati Torus Upgrade* (FTU) e il *Reversed Field Experiment* (RFX) a Padova. Entrambi questi programmi furono iniziati dopo che IGNITOR era stato proposto.

Il programma FTU è una modesta estensione del programma FT *(Frascati Torus)* che, assieme al dottor Mazzucato, formulai presso il laboratorio di Frascati fra il 1968 e il 1971 su specifico incarico del CNEN (l'attuale ENEA). Tale progetto seguiva la stessa linea del programma ALCATOR che avevo sviluppato al MIT quando gli esperimenti russi TOKAMAK (che ALCATOR prometteva di superare sia per la tecnologia adottata, sia per i regimi fisici raggiunti) non erano ancora stati creduti in Occidente.

IGNITOR perciò rappresentava il logico sviluppo di questo programma, portandolo ad esplorare la fisica dei plasmi in condizione di bruciare. Sfortunatamente (in proposito si può vedere l'indagine conoscitiva svolta dalla Commissione industria della Camera nel 1987)

l'ENEA non ha ancora riconosciuto nè il ruolo che ebbi nell'iniziare e formulare il programma FT (della cui macchina fissai i parametri) nè il legame che esiste fra questo ed il programma IGNITOR. Non è stato cioè reso noto che IGNITOR non è un programma che nasce di colpo in Italia, ma che in realtà aveva un predecessore logico a Frascati, nel programma FT.

Il programma RFX è lo sviluppo di un programma di ricerca indipendente portato avanti con successo presso l'università di Padova con esperimenti intelligenti e di dimensioni modeste. Questi esperimenti esplorano la possibilità di creare configurazioni di campo magnetico dovute a correnti di plasma che sono diverse da quelle comunemente adottate e che rivestono un grande interesse anche per l'astrofisica. Mentre ho sempre sostenuto la validità della linea sperimentale di Padova e di quella parallela di Los Alamos (ora chiusa), non ho mai trovato giustificabile la grande scala con la quale essa è stata sviluppata. Infatti le prospettive che le configurazioni studiate da RFX producano plasmi almeno altrettanto ben confinati quando i passati esperimenti ALCATOR sono estremamente improbabili. RFX è il più grande esperimento del genere realizzato nel mondo.

Il motivo per cui i programmi di Frascati e Padova sono stati sviluppati con i notevoli impegni finanziari che hanno richiesto e tuttora richiedono, dopo che il programma IGNITOR era stato proposto e già esaminato da un *panel* internazionale diretto da uno dei fondatori del CERN, Sir John Adams, rappresenta una domanda a cui si possono dare interessanti risposte.

Dopo questa breve esposizione iniziale, sono disponibile a rispondere a qualsiasi domanda i senatori intenderanno rivolgermi.

PRESIDENTE. Ringrazio il professor Coppi per la sua esposizione.

I senatori che intendono porre quesiti al professor Coppi hanno facoltà di parlare.

VESENTINI. Anzitutto intendo ringraziare il professor Coppi per aver introdotto questa fase dell'indagine conoscitiva sulla fusione e vorrei poi rivolgergli alcune domande. In primo luogo intendo richiamare un argomento che interessa i convertiti ed i neoconvertiti alle ricerche energetiche non nucleari, invitando il professor Coppi a fornirci ulteriori chiarimenti sui reattori puliti cioè sulla reazione posta in essere con l'elio3.

La seconda questione riguarda i finanziamenti europei: quanto costa all'Italia il JET? La Comunità europea invia a tutti noi una rivista intitolata «Europa». Nell'ultimo fascicolo si legge un piccolo paragrafo: «Ricerca: a febbraio il quarto programma»; si legge inoltre che il vice presidente della Commissione, Pandolfi, ha dichiarato che è stata raggiunta una intesa politica, che sarà formalizzata dopo il parere del Parlamento europeo, su un finanziamento di 411.84 milioni di ECU sulla fusione termonucleare controllata. È possibile avere ulteriori informazioni? Vorrei sapere se questo finanziamento è già destinato alla futura macchina europea, cioè al NET, successore del JET, o se una quota di esso è destinata al programma IGNITOR.

Vorrei poi conoscere il costo, chiavi in mano (consentitemi di usare questa espressione), del reattore IGNITOR.

Tempo fa sulla stampa sono apparse alcune notizie che mi hanno indotto a presentare una interrogazione al Ministro dell'industria sui finanziamenti che l'Italia avrebbe assicurato (in un modo che è sfuggito all'attenzione della Comunità) all'esperimento BPX (*Burning Plasma Experiment*) in corso a Princeton. Il testo della mia interrogazione non è stato smentito neppure nella risposta del Ministro e l'assicurazione riguardava la somma di 500 milioni di dollari. Ovviamente l'immaginazione è colpita dall'entità della somma: si tratta di circa 600 miliardi di lire a fronte del finanziamento di 20 miliardi che la legge n. 345 del 1990 assicura per la realizzazione del progetto IGNITOR. Chiedo perciò quali ulteriori vicissitudini abbia vissuto l'esperimento BPX. La notizia su cui si è fondata la mia interrogazione non nasce da una indiscrezione, ma da un articolo pubblicato da una rivista scientifica internazionale; vorrei sapere se vi sono state altre evoluzioni ugualmente ufficiali dell'esperimento BPX.

CALLARI GALLI. Vorrei innanzitutto ringraziare il professor Coppi per la chiarezza della sua esposizione la quale ha suscitato in me moltissime curiosità, che cercherò di condensare in alcuni punti.

Lei spesso si è riferito ad alcuni concetti come «nucleare» e «fusione» che, forse in modo sbagliato, evocano timori profondi che, anche se errati o imprecisi, hanno non poco peso nelle scelte politiche; timori profondi per l'impatto ambientale e la sicurezza delle popolazioni.

A tal proposito, vorrei conoscere i prevedibili effetti della fusione sull'ambiente; in particolare mi riferisco alla fusione a confinamento magnetico, eventualmente paragonandola agli altri tipi di fusione.

Vorrei chiederle un chiarimento circa il coinvolgimento delle strutture scientifiche italiane (università, CNR, enti di ricerca), in termini di risorse finanziarie e di attrezzature, nel settore.

La mia terza domanda è quasi fantascientifica. Lei ha parlato di investimenti, di dati, di risorse; ma è possibile formulare una previsione più esatta circa i tempi di realizzazione della produzione di energia elettrica da fusione nucleare? Dobbiamo infatti pensare sia alle eventuali spese che alla applicabilità in un mondo che, proiettato nel futuro, così come mi sembrava di cogliere dall'accavallarsi di date, sarà molto diverso da quello odierno.

COPPI. La prima domanda postami dai senatori riguarda il reattore basato sulla reazione deuterio-elio3. Questi due elementi non sono radioattivi e pertanto questo è il primo aspetto desiderabile. Fino a qualche anno fa, come ho già ricordato, mancavano le basi scientifiche per dire che questo reattore fosse pensabile; ma tale prospettiva è adesso cambiata.

Su tale programma si sono accesi molti interessi, ad esempio i maggior gruppi di ricerca in Russia sono entusiasti di esso (un gruppo, in particolare è guidato da un ben noto pioniere della fusione) e cercano di mandare avanti questa linea. Il problema, tuttavia, è di realizzare un primo esperimento che permetta di studiare la fisica alla base di questo

programma. Mi dispiace di non avere con me il documento dove, a livello amministrativo e storico, nel 1988, per la prima volta, il direttore del programma di ricerche EURATOM ha parlato di questo possibile tipo di reattori. Ho detto questo per chiarire come siamo lontani dall'investire seriamente in tale settore di ricerca.

Di questo progetto se ne occupano soprattutto le università. Io stesso ricevo un sovvenzionamento dal governo statunitense a tale scopo e i miei studenti ricevono borse di studio; ma manca un sovvenzionamento consistente per procedere a studi molto dettagliati.

Il reattore di potenza che è basato su questa reazione è profondamente diverso da un reattore che sfrutta la reazione deuterio trizio. In quest'ultimo caso i neutroni passano attraverso materiali su distanze relativamente grandi. Nell'altro caso si tende a depositare gran parte dell'energia nella vicinanza della superficie del plasma. Questo tipo di reattore si presta a produzione di particelle cariche e radiazione.

Con questo reattore si studiano in modo molto rudimentale anche processi avvenuti (così pensiamo) nell'universo nei primi tre minuti di vita.

Forse alcuni di voi potranno sorridere al pensiero che si facciano esperimenti su cose così lontane. In realtà, la storia della scienza dimostra che lavorando su problemi molto lontani si possono produrre risultati di valore pratico.

Il senatore Vesentini mi ha fatto una domanda circa l'entità della partecipazione finanziaria italiana al progetto JET. È difficile valutare l'impegno finanziario dell'Italia nel progetto JET in quanto esiste un contributo finanziario indiretto dei singoli paesi (collaborazioni, eccetera) e un contributo diretto attraverso la Comunità europea; ho una idea dell'ordine di grandezza ma non posso essere preciso. Infatti fra i contributi indiretti va inclusa l'esenzione dal pagamento di tasse a beneficio del personale JET, eccetera.

Riguardo il costo del programma IGNITOR esistono stime diverse in quanto ogni esperimento può essere condotto secondo modelli diversi. Posso riferire dati precisi sul progetto ALCATOR C-MOD, in quanto la realizzazione della macchina è stata recentemente completata dal MIT. Le dimensioni di tale macchina sono circa la metà di quelle di IGNITOR. Il costo del nocciolo di questo esperimento è stato di circa 10 milioni di dollari e alla fine si aggirerà su una cifra oscillante tra i 25 e i 30 milioni di dollari. L'esperimento IGNITOR, in più, deve funzionare in un sito nucleare e richiederà una potenza elettrica maggiore. Anche i costi ne risentiranno.

In un documento del CIPE appare una stima dell'Enea sul progetto IGNITOR che indica una spesa di circa 500 miliardi di lire; tale stima sottintende la previsione di un coinvolgimento delle industrie in questo esperimento. Il costo dell'esperimento – vorrei sottolinearlo – è determinato soprattutto dalle modalità di ricerca e dalla realizzazione tecnologica. La ricerca di tipo industriale sicuramente porterà alcuni benefici, per alcune specifiche competenze e per alcuni contributi maggiori rispetto a quelli che potrebbero pervenire dalle università e dagli istituti di ricerca nazionali. Inoltre, tali conoscenze verranno utilizzate in futuro dalle industrie per altri esperimenti. Tuttavia, il

coinvolgimento delle industrie porta a costi molto più alti rispetto al coinvolgimento del solo ambiente accademico.

Vorrei sottolineare come vi potranno essere vantaggi a lunga scadenza solo se la ricerca sarà sostenuta da una struttura amministrativa agile ed efficiente, che non disperderà i fondi stanziati. Tuttavia, finora questo non è avvenuto. La quarta domanda riguarda l'esperimento BPX proposto negli Stati Uniti, da me inizialmente nel 1984, e conosciuto anche come programma CIT (Compact Ignition Tokamak).

Il senatore Vesentini ha descritto con estrema accuratezza quello che è capitato a partire dal novembre 1990.

Ci sono stati dei contatti tra alcuni funzionari del Ministero dell'energia degli Stati Uniti e l'ENEA per accordi di cui, pur essendo stato coinvolto con IGNITOR fin dall'inizio, ero stato tenuto rigorosamente all'oscuro. Il velo di queste trattative è stato alzato dall'articolo uscito sulla rivista «*Science*».

Secondo queste trattative, di cui poi si sono avuti i dettagli, l'esperimento IGNITOR sarebbe stato cancellato e tutto sarebbe confluito in un unico esperimento orientato su quello chiamato BPX, che era stato iniziato all'università di Princeton. La rivista «*Science*» parlava del contributo a cui si riferiva il senatore Vesentini; la stranezza non è soltanto sulla cifra, ma sta anche nel fatto che il Parlamento italiano il 22 novembre dell'anno scorso aveva approvato una legge con cui si assegnavano 20 miliardi per la costruzione di IGNITOR. L'esperimento BPX fu analizzato e, nonostante avesse un sostegno politico dei senatori e dei deputati del New Jersey, venne definitivamente cancellato nel settembre scorso. In seguito a quello, il Ministero dell'energia degli Stati Uniti ha aperto le trattative con noi per poter lavorare sullo stesso tema con il progetto IGNITOR. Naturalmente questo richiede da parte nostra di sviluppare IGNITOR in tempi brevi, naturalmente con l'apertura di una collaborazione internazionale europea.

ALIVERTI. Le sarei grato se lei ci desse degli ordini di grandezza, per capire bene di che cosa stiamo parlando.

COPPI. Secondo me, un esperimento tipo IGNITOR, fatto con spirito abbastanza universitario, viene a costare meno di 500 miliardi di lire. Ci si può chiedere però se conviene veramente farlo nel modo in cui è stato realizzato, ad esempio, l'esperimento ALCATOR, oppure se non conviene spendere di più permettendo alle industrie di parteciparvi più estesamente e quindi trasferire a queste conoscenze di cui si potranno servire in futuro.

Lo stanziamento del Governo statunitense è subordinato al fattto che il Governo italiano proceda con IGNITOR. Il contributo di cui si discute dovrebbe essere commisurato ogni anno all'impegno finanziario italiano.

BAIARDI, Lei ha indicato le località di Ispra e di Saluggia come siti in cui potrebbe essere localizzato il progetto, ma vi è un passaggio

obbligato attraverso l'EURATOM. Le chiederei di essere più specifico sulle potenzialità di Saluggia. Siccome mi pare che il progetto dovrebbe esser realizzato a livello universitario, a questo punto dovrbbe essere l'università, in collaborazione con l'industria privata e l'ENEA, ad utilizzare gli impianti di Saluggia per la realizzazione del progetto.

COPPI. Un vantaggio di Saluggia rispetto ad Ispra è che per averne la disponibilità non è necessario passare attraverso Bruxelles. Ispra ha delle caratteristiche molto interessanti e finora era sempre stato considerato il candidato numero uno. Però il tempo sta passando e il fattore tempo per potere utilizzare Ispra è importante. I vantaggi di Saluggia consistono nel fatto che il sito è vicino a Torino e all'università, e soprattutto non richiede un passaggio da Bruxelles. Dal punto di vista della rete elettrica Ispra è più vantaggiosa per ora in quanto il punto di allacciamento alla linea elettrica di potenza è a soli 700 metri, mentre per Saluggia è nell'ordine di 6 chilometri. In futuro questa sarà di molto ridotta. Ma credo che la scelta dei due siti debba essere basata su considerazioni di tempo, cioè quanto tempo occorre per avere veramente la disponibilità di Ispra dalla Comunità europea.

Questo esperimento richiede delle potenze elevate, tanto che la rete non è completamente sufficiente, nonostante l'ENEL abbia dato l'assicurazione di poter prelevare per Ispra fino a 1000 megawatt, sembra che in realtà questa sia una stima un po' ottimistica; si tratterebbe infatti di prelevare dalla rete non molto più di 500 megawatt.

Quindi ambedue i siti avrebbero bisogno di un supplemento, che sono le macchine rotanti.

La senatrice Callari Galli ha giustamente detto che la parola nucleare può suscitare alcune perplessità e che esistono al riguardo problemi di sicurezza. Ciò è vero. Prima di tutto va reso chiaro che la fusione è una sorgente di energia nucleare e quindi è delicata quanto tutta l'energia nucleare. Le sue perplessità avrebbero potuto essere ancora più grandi se avesse considerato un argomento di cui si discusse tre anni fa; il trizio è un materiale strategico che serve a migliorare, ad aumentare il rendimento delle bombe a fissione. Con i reattori a fusione esiste una serie di problemi riguardante il fatto di dover maneggiare il trizio che è un gas radioattivo, la cui tecnologia è ben nota ed il fatto che i neutroni da esso prodotti possono attivare i materiali (è anche vero che questi ultimi possono essere scelti in modo che l'attivazione sia minima).

Per questo motivo a livello scientifico pensiamo anche a qualcosa di più avanzato del reattore che impiega trizio. Naturalmente esiste un impatto sull'ambiente che interessa tutte le strutture circostanti il reattore. Su questo aspetto non vorrei soffermarmi, non perchè non esistano studi, ma perchè la costruzione del reattore di potenza, finchè non è stato conseguito l'esperimento di accensione, non si può definire con precisione. Senza equivocare, direi che il reattore a fusione è certamente migliore del reattore a fissione e rappresenta un passo in avanti. La natura ci ha dato questi tipi di reazioni e sarebbe un peccato non esplorare fino a che punto possano essere utilizzati.

Le ricerche su IGNITOR in Italia coinvolgono una serie di strutture, quali il CNR, l'università di Pisa, il Politecnico di Torino, l'università di Milano e non solo l'ENEA. Direi anzi che una buona parte di lavoro, specialmente di tipo teorico, viene sviluppato nelle università.

Negli Stati Uniti la ricerca sulla fusione è amministrata dallo stesso ufficio che amministra la fisica delle particelle elementari e la fisica nucleare. In Italia non è così ed è un peccato. A livello accademico la fusione riguarda anche l'astrologia, che è materia di interesse puramente scientifico e secondo me è un danno che l'Istituto nazionale di fisica nucleare non vi sia coinvolto.

Quando sarà possibile la fusione? Sono sicuro che molti di voi avranno pensato che io stia cercando di aggirare questo punto, di non indicare l'anno, tuttavia un minimo di onestà scientifica non mi permette di fare previsioni. Come abbiamo sbagliato nelle previsioni ottimistiche possiamo sbagliare in quelle pessimistiche. Quello che posso dire è che la strategia che riceve la maggiore pubblicità è una strategia lenta, che io non approvo. La strategia che preferisco è quella che va alle origini scientifiche del problema, che conduce esperimenti in parallelo e in tempi brevi. Potrebbe darsi, quale risultato di questi esperimenti, che alla fine la fusione diventi, anche se non ci credo, un sistema per produrre energia non desiderabile, che serva ad altri scopi.

MONTINARO. Rispetto alla strategia in parallelo mi sembra importante in questo momento mettere un po' di ordine tra esperimenti italiani, europei e su scala mondiale. Alcuni di questi potrebbero essere condotti in parallelo o sono tutti legati l'uno all'altro, i risultati dell'uno sono cioè indispensabili per l'altro? In secondo luogo, è possibile un coordinamento a livello di costi?

Infine, lei ha continuamente parlato, con molta onestà intellettuale, dei pericoli esistenti. Rispetto alla reazione deuterio-elio3 lei ha affermato che l'ingegneristica deve essere tutta sviluppata; è possibile nel progetto IGNITOR adoperarla o no? Perchè mai questo tipo di reazione? Solo per ritardo scientifico, perchè solo negli ultimi anni l'abbiamo avuta o perchè vi è stato qualcosa che l'ha rallentata e non l'ha fatta utilizzare?

COPPI. La ricerca sui reattori a deuterio-elio3 ha risentito di un ritardo a livello scientifico fino al 1980. Poi abbiamo scoperto qualcosa di nuovo, per cui teoricamente è divenuta possibile. Va poi considerato che l'elio3 non è abbondante in natura. Per adesso vi è relativamente grande quantità di elio3 per sviluppare questi esperimenti anche in una piccola centrale, proprio perchè il decadimento del trizio prodotto per usi militari produce ogni anno notevoli quantità di elio3. Direi comunque che l'inerzia a livello scientifico ed anche amministrativo ha rappresentanto un fattore di ritardo.

Fin dal 1977 avevo proposto il progetto IGNITOR i cui obiettivi, nonostante i citati ritardi, restano sempre di grande rilevanza scientifica e di ciò va dato merito anche ad altri ricercatori, sia italiani che stranieri. In ogni caso, non vedo attualmente altri possibili esperimenti di accensione veramente ralizzabili al di là del progetto IGNITOR.

PRESIDENTE. A nome di tutta la Commissione ringrazio il nostro ospite e dichiaro conclusa l'audizione.

Il seguito dell'indagine conoscitiva è rinviato ad altra seduta.

I lavori terminano alle ore 17,30.

SERVIZIO DELLE COMMISSIONI PARLAMENTARI

Il Consigliere parlamentare preposto all'Ufficio centrale e dei resoconti stenografici

DOTT. GIOVANNI DI CIOMMO LAURORA