

4

SEDUTE DI GIOVEDÌ 11 DICEMBRE 1986

PRESIDENZA DEL PRESIDENTE MICHELE VISCARDI

INDI

DEL VICEPRESIDENTE ALBERTO PROVANTINI

INDI ANCORA

DEL PRESIDENTE MICHELE VISCARDI

PAGINA BIANCA

La seduta comincia alle 14.

MICHELE GRADUATA, *Segretario*, dà lettura del processo verbale della seduta precedente.

(È approvato).

AUDIZIONE DEL PRESIDENTE DELL'ENEA, PROFESSOR UMBERTO COLOMBO E DEI RESPONSABILI DEI PROGRAMMI DI RICERCA, PROFESSOR SERGIO SEGRE, INGEGNER ROBERTO ANDREANI, PROFESSOR BRUNO BRUNELLI, DOTTOR ANGELO CARUSO, PROFESSOR GIORGIO ROSTAGNI, PROFESSOR ANGELO MARINO E DOTTOR ALBERTO BRACCI.

PRESIDENTE. Proseguiamo l'indagine conoscitiva sullo stato attuale della fusione nucleare ai fini degli usi pacifici, sulle sue prospettive e sui problemi di sicurezza, con l'audizione del presidente dell'ENEA, professor Umberto Colombo, e dei responsabili dei programmi di ricerca, professor Sergio Segre, ingegner Roberto Andreani, professor Bruno Brunelli, dottor Angelo Caruso, professor Giorgio Rostagni, professor Angelo Marino e dottor Alberto Bracci. Avverto che il professor Colombo ha predisposto una relazione che sarà pubblicata con le altre presentate nel corso della audizione.

Comunico che da parte del gruppo radicale è stata avanzata richiesta di pubblicità dei lavori attraverso la trasmissione degli stessi con l'impianto audiovisivo. Se non vi sono obiezioni, rimane stabilito che la pubblicità dei lavori sia assicurata tramite l'impianto audiovisivo a circuito chiuso.

(Così rimane stabilito).

Nel ringraziare i nostri ospiti per aver aderito all'invito, cedo la parola al professor Colombo, presidente dell'ENEA.

UMBERTO COLOMBO, *Presidente dell'ENEA*. Desidero anzitutto esprimere, anche a nome dell'ENEA, il più vivo compiacimento alla Commissione industria della Camera per aver deliberato lo svolgimento di questa indagine conoscitiva sul problema della fusione nucleare controllata, anche in vista della prossima Conferenza nazionale sull'energia. È, questo, un tema articolato in diverse linee programmatiche ed estremamente complesso, sotto il profilo sia della fisica sia della tecnologia. Il tema coinvolge anche implicazioni economiche, ambientali e radiobiologiche. Il professor Rubbia, che avete ascoltato il 25 novembre scorso, ha illustrato i principi della fusione con estrema chiarezza, e non è qui necessario ripetere una descrizione di questi che sarebbe a questo punto fuori luogo. D'altra parte, abbiamo ritenuto che fosse piuttosto nostro compito, in questa occasione, illustrarvi il programma italiano sulla fusione nucleare, collocandolo nel quadro del programma di ricerca e sviluppo comunitario e in quello più ampio internazionale, e dichiararci pronti a rispondere alle domande che gli onorevoli commissari vorranno porci. Come negli altri maggiori paesi europei, l'interesse per la fusione nucleare controllata nasce in Italia nel 1956. Due anni dopo, nel 1958, grazie agli sforzi del professor Edoardo Amaldi, viene creato un gruppo di fisica del plasma presso l'università di Roma, e ne viene posto a capo il professor Bruno Brunelli, che è qui presente. Nel 1960 l'attività di ricerca si sposta in un nuovo

laboratorio creato nel centro di Frascati, e viene incorporata nell'associazione sulla fusione tra l'Euratom e il CNEN. A quest'attività si aggiungerà, nel 1973, un altro contratto di associazione fra Euratom e CNR nel quale il compianto professor Cordirola, dell'università di Milano, ha giocato un ruolo guida.

Negli anni sessanta, l'attività di ricerca a Frascati sulla fusione si concentra in esperimenti caratterizzati da alta densità di energia, con una linea dedicata alle scariche implosive veloci, il cosiddetto « plasma focus ». A questa linea si aggiungono altri programmi di ricerca originali, come la prima applicazione dei laser e degli alti campi magnetici alla fusione controllata. Gli anni settanta sono quelli della grande scelta strategica a livello comunitario e la scelta cade sul programma Tokamak, che proprio allora emerge come la configurazione di confinamento magnetico del plasma più promettente. Il CNEN, con il suo gruppo di Frascati, sceglie la linea Tokamak ad alti magnetici e alta densità, che caratterizza ancora oggi in modo prevalente il programma dell'ente. Il successo a livello internazionale delle ricerche impostate in Italia, in quegli anni, è illustrato dal fatto che per molto tempo Frascati ha detenuto il record mondiale del parametro di confinamento del plasma, prima con l'esperimento « plasma focus », poi con il Tokamak FT tuttora in funzione. Questo successo è dovuto alla scelta strategica dell'ente di concentrare la massima parte delle sue risorse su un solo obiettivo. Le conoscenze sulla fisica della fusione, acquisite attorno al Tokamak FT, permettono al personale ENEA di Frascati di inserirsi attivamente in tutti i progetti europei e internazionali nel campo della fusione a confinamento magnetico. In particolare, l'Italia ha conferito al JET (*Joint european torus*), la grande macchina sperimentale comunitaria in funzione a Culham, presso Oxford, non solo l'apporto determinante di alcuni suoi esperti, ma la realizzazione di indispensabili apparati sperimentali. Va aggiunto che il direttore del programma europeo

NET (*Next european torus*) che sta progettando la macchina della nuova generazione – la quale sarà costruita negli anni novanta – è il professor Romano Toschi, distaccato a Garching dall'ENEA.

È opportuno ricordare che il programma comunitario di ricerca e sviluppo sulla fusione nucleare è basato su un progetto principale gestito direttamente dalla Comunità – ed è questa, appunto, la linea JET-NET – e su una serie di programmi complementari, che i diversi paesi della Comunità definiscono con la commissione, e che sono passati al vaglio di un comitato scientifico consultivo prima di avere accesso al contributo finanziario della Comunità. Credo che questo l'abbia già detto il professor Fassella: lo ricordo per memoria. L'Italia conferisce al programma comunitario, oltre al già citato progetto FT, ora in fase di conclusione delle esperienze, il progetto FTU (la cui costruzione è iniziata nel febbraio 1983), una macchina più potente e dotata di un riscaldamento ausiliario a media frequenza, tale da portare la temperatura del plasma a valori compresi tra 50 e 90 milioni di gradi centigradi. Questa delle macchine Tokamak a medio-alto campo magnetico non è l'unica linea perseguita dall'Italia nell'ambito del programma comunitario: grazie allo sforzo del gruppo del CNR di Padova – che si è avvalso nelle fasi iniziali della collaborazione del gruppo del CNR presso l'Università di Milano – si sta realizzando ora una macchina per sperimentazioni sui plasmi, sempre basata sul confinamento magnetico, ma con una geometria alternativa rispetto al Tokamak: è il progetto RFX (*Reverse field pinch*) che studia plasmi con alta densità di energia termica ed elevate correnti i campi magnetici relativamente bassi.

C'è poi il progetto Ignitor, una macchina volta alla dimostrazione della fattibilità fisica della fusione nucleare controllata, attraverso il raggiungimento dell'ignizione del plasma trizio-deuterio e basata su una configurazione Tokamak più compatta e con campi magnetici molto elevati. Com'è noto, il proponente del

progetto Ignitor è il professor Bruno Coppi, un valente fisico italiano che da molti anni insegna e svolge ricerca al Massachusetts Institute of Technology e che aveva ideato e attuato precedentemente una macchina ad alto campo magnetico di piccole dimensioni, l'Alcator, che può considerarsi il precursore di Ignitor. Il professor Coppi, che da parecchi anni è consulente dell'ENEA, ci ha presentato una prima proposta di Ignitor nel 1979. Inizialmente, vi sono state da parte dell'ENEA alcune perplessità sul progetto, sia per considerazioni tecniche (le prestazioni elevatissime della macchina richiedono di sfruttare i materiali al limite della resistenza meccanica) e di valutazione che il proponente faceva dei costi (giudicata eccessivamente ottimistica), sia soprattutto perché appariva difficile inserire questo progetto nella filosofia e nell'ambito del programma operativo comunitario, che prevede di raggiungere gradualmente le condizioni di accensione del plasma in macchine più rappresentative dei futuri reattori a fusione.

La successiva azione dell'ENEA è stata pertanto diretta in due direzioni: l'approfondimento progettuale e di costo dell'Ignitor attraverso studi di fattibilità e progettazione preliminare; il tentativo di inserire la Comunità europea, che ha portato il progetto all'esame di una serie di gruppi di esperti scelti dalla Commissione, oltre che dagli uffici della Commissione stessa. Entrambe queste linee hanno portato a risultati positivi: da una parte, si dispone oggi di un progetto preliminare considerato fattibile, e valutato in ambito industriale; dall'altra parte, la Commissione della CEE ha deciso, su proposta del ministro Granelli, di assumere a proprio carico l'onere del 25 per cento del costo della fase di progettazione esecutiva, nominando al tempo stesso un nuovo gruppo di esperti che deve valutare, anche alla luce degli esperimenti tecnologici effettuati su commessa e con partecipazione diretta dell'ENEA, la validità delle soluzioni proposte. Nel frattempo, risultati scientifici ottenuti nelle sperimentazioni sui Tokamak hanno mo-

strato incertezze nella teoria che, a nostro parere, motivano maggiormente, rispetto a qualche anno fa, l'utilità di un esperimento di ignizione che, anche se in condizioni non direttamente rappresentative del futuro reattore, consenta di raccogliere dati parametrici sul fenomeno della ignizione. Anche per questo motivo, Ignitor va corredato di ulteriori diagnostiche e modificato in alcune scelte progettuali, perché sia in grado di eseguire un numero di prove più elevato rispetto alla concezione iniziale. Questo duplice processo, di approfondimento della fattibilità tecnologica e di inserimento del progetto in ambito comunitario, ha preso un tempo complessivo di circa sette anni, com'è illustrato schematicamente in un documento che verrà distribuito. Questo non è però un caso anomalo e non deve destare stupore, perché è costume – per altro corretto – della comunità scientifica approfondire obiettivi e modalità di realizzazione quando sono in gioco grosse entità di risorse finanziarie e umane. Del resto, nell'iter di elaborazione degli studi di fattibilità del progetto Ignitor, i parametri caratteristici e la stessa concezione della macchina hanno subito numerose e sostanziali modifiche.

Si è fin qui parlato dei progetti principali che l'Italia persegue, nell'ambito dei programmi europei, nel confinamento magnetico. Tali progetti non esauriscono, però, lo sforzo complessivo, scientifico e tecnologico, che l'ENEA, in collaborazione prevalentemente con il CNR, ma anche con diverse università italiane, svolge sul fronte della fusione. Anzitutto, le stesse macchine sperimentali internazionali cui si è fatto cenno (NET e, soprattutto, JET) costituiscono un'occasione di qualificazione della nostra industria in settori ad alta tecnologia, con riferimento sia alle immediate forniture di componenti, sia alla preparazione di un sistema industriale nazionale in grado di competere nel momento in cui, fra qualche decennio, la fusione diventerà, auspicabilmente, un'importante fonte energetica, un settore produttivo. In questo ambito rientra il successo ottenuto dall'Ansaldo di Genova,

anche in collaborazione con la FIAT, e dalla Metalli Industriali di Firenze, nelle forniture europee di magneti anche superconduttori ad alto campo e di cavi per la superconduttività. In un opuscolo che consegneremo, il quale illustra il contributo italiano al JET, sono indicati alcuni altri esempi di significative forniture industriali. Incidentalmente, osserviamo che il JET è equipaggiato da *robot* per manipolazione a distanza forniti su brevetto e progetto dell'ENEA, da imprese italiane. Tutto questo ha richiesto al nostro ente un notevole impegno, che sta dando validissimi e apprezzati frutti, anche al di fuori del ristretto ambito della fusione, in quanto determinano applicazioni di tecnologie avanzate in altri settori produttivi, sia di punta sia maturi. Fra le più significative tecnologie che abbiamo sviluppato possiamo citare: i *laser*; i magneti ed altri componenti superconduttori; la robotica; i materiali avanzati e in particolare i ceramici; i sistemi di elettronica di potenza e radio-frequenza. È in queste tecnologie ad ampio spettro di utilizzazione che l'ENEA ha finora prioritariamente destinato l'impegno sugli aspetti tecnologici della fusione, anche perché ha ritenuto prematuro un impegno di ampie dimensioni su tecnologie esclusive del futuro reattore a fusione ancor prima che siano definite le opzioni impiantistiche di fondo.

Sulla strada alternativa al confinamento magnetico, quella del confinamento inerziale, si è già accennato all'attività pionieristica del CNEN fin dagli anni sessanta, da cui sono derivate alcune fra le prime pubblicazioni a livello mondiale sulla fusione *laser*. Indipendentemente dalle previsioni su quale delle due linee abbia migliori prospettive di successo, problema sul quale gli esperti non hanno un'opinione univoca, la scelta italiana di concentrare l'attività sul confinamento magnetico è stata dettata soprattutto dalla possibilità di inserire questa attività in un programma comunitario, per il quale si sono poi aperte intese e collaborazioni anche extraeuropee. Mancando un'analogha possibilità per il confi-

namento inerziale, il nostro ente si è limitato a definire ed attuare una strategia volta a creare e mantenere competenze scientifiche e tecnologiche con un programma sperimentale contenuto, ma significativo, e di alto livello scientifico. L'ENEA ha ottenuto anche in questo campo risultati di notevole interesse, pur con le limitate risorse messe a disposizione. Il *laser* a neodimio sviluppato a Frascati ha già ottenuto importanti risultati nello studio dell'interazione *laser*-materia, e sarà presto in grado di essere usato per esperienze di compressione e accelerazione di bersagli piani, rilevanti ai fini fusionistici. I *lasers* a eccimeri e ad elettroni liberi, pure sviluppati dall'ENEA, costituiscono oggi strumenti fra i più avanzati messi a punto in Europa, e sono oggetto di attenzione anche ai fini di alte applicazioni tecnologiche (per esempio, in ambito Eureka).

Forse è giunto il momento di verificare se non sussistano le condizioni per una larga cooperazione internazionale nella fusione a confinamento inerziale. Il Giappone ha già un consistente programma interamente civile in questo campo, e anche la Germania lo segue su questa strada. Vi sono ragioni di ritenere che i principali motivi che imponevano un tempo ai paesi nuclearmente armati una riservatezza su questi argomenti abbiano perso gran parte della loro validità. Per altro, nel clima distensivo verso cui auspicabilmente si dovrebbe andare, una iniziativa politica per una estesa collaborazione internazionale in questo campo potrebbe avere successo. Si tratta di un programma di grande complessità. Devono infatti essere realizzati: una sorgente di energia potente ed efficiente, sotto forma di radiazioni *laser* o, in alternativa, di fasci di ioni accelerati; una tecnologia per il trasferimento dell'energia dalla sorgente alla miscela pellettizzata di combustibile; infine, un reattore con funzioni di contenimento del combustibile e dei prodotti radioattivi della reazione, e di trasferimento dell'energia di fusione a un sistema di scambio termico per l'ottenimento di vapore, necessario a

sua volta per la produzione di elettricità. Il primo passo per l'auspicabile collaborazione internazionale dovrebbe essere un impegno volto ad integrare a livello europeo le iniziative a diverso titolo già in corso sul confinamento inerziale e sulle tecnologie connesse. Nel quadro di un nuovo programma europeo aperto anche a più ampie collaborazioni internazionali, il nostro livello di sforzo sulla fusione a confinamento inerziale potrebbe convenientemente essere incrementato. Riteniamo di aver acquisito, con l'attività fin qui svolta, anche al di fuori del settore strettamente fusionistico, le premesse sufficienti per rendere fattibile un tale sviluppo. In tale prospettiva dovrebbe essere attentamente valutata la proposta avanzata in questa sede dal professor Rubbia, volta a definire ed a lanciare una grande iniziativa internazionale per la fusione a confinamento inerziale. L'ENEA è pronto a collaborare con il professor Rubbia fin dal necessario studio iniziale di fattibilità, che ancora non è stato avviato.

L'ENEA ha mantenuto attraverso gli anni una linea coerente e determinata di sviluppo della fusione nucleare, nel contesto del programma comunitario. Anche quando, all'inizio degli anni ottanta, ci è stato chiesto da Parlamento e Governo un impegno prevalente per l'attuazione del programma elettronucleare nazionale, oltre ad una diversificazione verso le energie rinnovabili e il risparmio energetico, l'ENEA non ha rallentato ma piuttosto ha intensificato lo sforzo sulla fusione (credo che nel documento che consegnò alla Commissione sia evidente lo sviluppo delle spese e delle risorse destinate alla fusione nel corso del tempo, a partire dal 1974, fino al piano quinquennale 1985-1989). Noi riteniamo che sia necessario mantenere ed eventualmente progressivamente accrescere il nostro impegno nella fusione, anche se è sempre opportuno tener presente che la fusione ha bisogno di tempi molto lunghi. È ancora da dimostrare la fattibilità scientifica dell'ottenimento di un bilancio energetico positivo dalla fusione, obiettivo che auspicabilmente sarà raggiunto nella prima metà

degli anni novanta. Lo sviluppo delle complesse tecnologie necessarie per i reattori a fusione, la loro integrazione per ottenere dall'intero sistema (plasma e sistemi ausiliari) più energia elettrica di quella spesa per alimentarlo pervenendo in tal modo alla industrializzazione della fusione, richiederà tempi che si protrarranno oltre il 2010. Soltanto allora sarà possibile progettare un prototipo di reattore a fusione, e valutarne realisticamente gli aspetti economici di affidabilità e quelli ambientali. Un confronto dei progetti concettuali di reattori a fusione con sistemi già sviluppati (e in particolare con i reattori nucleari e neutroni veloci), basato sull'analisi dei componenti similari, del peso dei materiali, eccetera, non fa comunque ritenere che la fusione nucleare sarà una fonte energetica a basso costo.

In complesso, il programma fusione segue oggi quello sui reattori veloci con circa quarant'anni di ritardo. È questo un intervallo di tempo che a nostro parere è difficilmente riducibile, se si pensa che il solo mantenere questo ritardo senza aggravarlo significa disporre, nel 2025, di una capacità produttiva di energia elettrica di fusione di alcuni miliardi di kilovattore/anno; tale è, infatti, la capacità di elettricità oggi disponibile dal solo reattore *Superphoenix* che, come forse già sapete, ha raggiunto ieri l'altro la potenza di oltre tremila megawatt termici ed è quindi in grado di dare cinque miliardi e mezzo di kilovattore in un anno. Pensare che nel 2025 vi sia, attraverso uno o più reattori, la stessa capacità elettrica da fusione è abbastanza azzardato. Tuttavia, la disponibilità praticamente inesauribile di combustibile e la nuova gravità dell'impatto ambientale previsto rispetto alla fissione fanno della fusione nucleare un obiettivo da perseguire con fermezza, nonostante i costi elevati ed i tempi lunghi.

Non si fa un servizio alla fusione facendo credere che questa nuova fonte energetica sia un obiettivo vicino, né che esistano facili scorciatoie. Creare speranze non realistiche produrrebbe fatalmente delusioni che prima o poi si riflettereb-

bero negativamente sul futuro di questa fonte. La crescita del programma italiano può avere un forte impulso, ma deve essere in qualche modo commisurata a quella del programma mondiale, una crescita che avverrà naturalmente e fisiologicamente man mano che la priorità passerà dall'obiettivo di comprendere i fenomeni fisici a quello di realizzare prototipi ed impianti dimostrativi per produrre energia da fusione in condizioni significative da un punto di vista industriale. La fusione rappresenta oggi in Italia un momento di grande interesse, che può preludere ad un rilancio. L'ENEA è pronto a svolgere il suo ruolo anche in questa fase. È questo un discorso di costruzione del futuro energetico di lungo termine, che non deve però in alcun modo sostituirsi alle azioni, per le quali il contributo dell'ENEA può essere determinante, che sono tuttora drammaticamente necessarie, volte a far uscire l'Italia, in tempi ragionevoli, da un sistema di vulnerabilità che oggi la differenzia pericolosamente dagli altri paesi industriali. Ritengo di dover concludere qui la mia relazione introduttiva, signor presidente. Va da sé che io ed i miei collaboratori siamo disponibili a rispondere alle domande che riterrete opportuno porci.

PRESIDENTE. Desidero ringraziarla, professor Colombo, perché ella ha offerto uno spaccato di valutazioni di non poco conto ai fini del nostro lavoro. Ritengo che, data la presenza di autorevoli rappresentanti del mondo scientifico e dei programmi comunque rientranti all'interno dell'attività dell'ENEA, i componenti la Commissione possono ora porre domande in modo tale che nelle risposte sia possibile, anche sulla base delle considerazioni del professor Colombo, consentire interventi specifici da parte di quei rappresentanti.

GIAN LUCA CERRINA FERONI. Desidero anzitutto ringraziare il professor Colombo per l'esauriente illustrazione corredata da documenti che quanto prima leggeremo. Considerata l'incertezza che re-

gna ancora su questa tecnologia, lei è stato molto puntuale sulla scala dei tempi. Al riguardo, la domanda che le rivolgo è la seguente: è possibile e come, a suo avviso, un'accelerazione di questi tempi? In particolare, in quale fase? Cioè, in quella in cui siamo tuttora presenti, ovverosia della verifica della fattibilità scientifica, o in quella successiva dello sviluppo tecnologico (e a me pare di ricordare che il professor Fasella ha in parte sostenuto questa possibilità)? Inoltre: quali sono i punti critici, le risorse umane e finanziarie disponibili? Qual è il vostro giudizio sulla cooperazione internazionale?

Passando ad altra questione, ricordo che lei ha sostenuto, professor Colombo, che è necessario verificare oggi la possibilità di una cooperazione internazionale per il confinamento inerziale. Ebbene, il fatto che i paesi europei abbiano sviluppato l'altra opzione, quella del confinamento magnetico, può significare che essi sono ancillari nel campo del confinamento inerziale? Aver sviluppato il confinamento magnetico presumo significhi aver creato in materia un insieme di conoscenze, esperienze, risorse umane e professionali: quindi, se oggi scegliessimo la via del confinamento inerziale, in che posizione si verrebbero a trovare i paesi europei rispetto ai paesi terzi? In particolare quale correlazione potrebbe esistere tra questo progetto ed altri progetti elaborati con finalità diverse, come per esempio la SDI? In proposito, sarebbe utile sapere se la scala dei tempi cui lei si è riferito vale per entrambi i confinamenti (magnetico ed inerziale), poiché il professor Rubbia ha sostenuto che per il confinamento inerziale sono molto più « attraenti », sotto il profilo tecnico, le realizzazioni di un reattore a fini commerciali. Infine, desidererei conoscere quali sono le relazioni tecnologiche, e quelle relative alla capacità di gestione di sistemi complessi, tra la fusione e la fissione. Più concretamente: un arresto dei programmi sulla fissione quale impatto provocherebbe sui tempi e sulle conclusioni del programma di fusione nucleare?

GIOVANNI BIANCHINI. Nel corso dell'audizione svoltasi ieri, il professor Fasella, dichiarando che il ruolo dell'Italia è certamente rilevante, dal punto di vista delle conoscenze fisiche, nella fase di fattibilità del progetto, ha denunciato le difficoltà incontrate dalla tecnologia italiana. In proposito desidererei qualche integrazione. Inoltre, è stato chiesto se si riteneva giusto dare risorse al confinamento inerziale. Il professor Fasella, sottolineando che occorreva reperire risorse aggiuntive rispetto a quelle che a livello comunitario vengono destinate all'altro filone, non nascondeva le oggettive difficoltà di reperimento. Mi chiedo: a questo punto è immaginabile qualcosa a livello italiano, con l'ausilio magari della cooperazione internazionale, che potrebbe « saltare » la Comunità senza, però, emarginarci completamente? Gradirei una sua valutazione su tale punto. Con riferimento ai tempi da lei indicati ed al richiamo al *Superphoenix*, le domando: dovremmo accelerare i tempi per la tecnologia del confinamento magnetico e dovremmo destinare risorse al confinamento inerziale in quanto, dal punto di vista della fattibilità tecnica e commerciale, questo potrebbe precedere l'altro tipo di confinamento: però, nel frattempo, cosa facciamo sul fronte della tecnologia da fissione?

ELIO GIOVANNINI. Desidero rivolgermi prima ai responsabili dei programmi di ricerca e poi direttamente al professor Colombo. Ai primi chiedo se sulla base dell'esperienza operativa il rapporto di tempi – definito dal presidente dell'ENEA in quarant'anni – tra reattori veloci e fusione rappresenta un rapporto puramente temporale oppure concerne la dipendenza tecnologica? In sostanza, parliamo di distanza tra due progetti diversi oppure esiste un'autonomia relativa, parziale o totale, della ricerca sulla fusione rispetto ai reattori veloci?

Mi rivolgo ora al professor Colombo: lei ha sostenuto che in Germania, oltre che in Giappone, è stata avviata una ricerca sul confinamento inerziale. Nel

chiedere chiarimenti in proposito, vorrei sapere in Italia chi effettua ricerche sui *laser* e a che punto siamo arrivati.

Infine, secondo taluni – tra cui anche il professor Rubbia – esiste un'imponente massa « critica » di denaro e di ricerca sulla SDI, la quale, però, richiede il superamento del ritardo nell'uso dei *laser*. Desidererei conoscere la sua opinione circa la possibilità di usufruire delle scadenze legate al progetto militare per l'accelerazione dei tempi della ricerca sul confinamento inerziale.

PRESIDENZA DEL VICEPRESIDENTE
ALBERTO PROVANTINI

LELIO GRASSUCCI. Dagli incontri avuti nei giorni scorsi è emerso che la linea del confinamento magnetico è abbastanza strutturata, in termini di macchine ed apparecchiature, rispetto a quella relativa al confinamento inerziale. Mi domando se non si avverta l'esigenza di dotarsi adeguatamente in previsione del possibile « varo » di un'iniziativa europea o in cooperazione con altri paesi. Quindi, la domanda specifica è se noi dobbiamo dotarci di attrezzature e di strumenti più adeguati e moderni oppure se dobbiamo costruirne di nuovi, in previsione di una iniziativa rilevante a livello europeo. In questo ambito, mi chiedo se sia possibile, oltre ad insistere a livello europeo (vorrei che fosse specificato meglio se nell'ambito del progetto Eureka oppure se in altro modo), intraprendere una collaborazione con paesi extraeuropei, in particolare con il Giappone, che mi sembra fortemente interessato a questa linea di ricerca, visto che impiega molte risorse in tale direzione.

Vorrei sapere, inoltre, se possa farsi oggi una quantificazione delle risorse aggiuntive necessarie all'ENEA per un maggior impegno nel campo della fusione magnetica e della fusione inerziale. A giudizio del presidente Colombo, non sarebbe opportuno ampliare il numero dei ricercatori? Parlando con il professor Toschi, ci siamo resi conto dell'esistenza di

un *gap* tra il nostro e gli altri paesi non tanto a livello scientifico, quanto a livello tecnologico: il nostro contributo al JET è stato pari circa al 12 per cento; se dovessimo costruire il NET, la percentuale sarebbe senz'altro inferiore. Vi è un problema di interfaccia con la ricerca svolta dal mondo industriale, che dovrebbe essere compito - così ci è stato detto - dell'ENEA. È possibile sviluppare ulteriormente questi contatti, al fine di mettere in condizioni la nostra potenzialità industriale di rispondere alle esigenze che eventualmente dovessero presentarsi? Infine, vorrei che proprio coloro che lavorano a questi progetti rendessero note le difficoltà che hanno incontrato anche in riferimento alla collaborazione internazionale; in questo senso, chiedo se sia opportuno - è una domanda che pongo senza avere in merito alcuna convinzione - dare dignità di progetto, nell'ambito della fusione, anche al settore della ricerca inerziale, rendendo autonome le due linee di ricerca, oppure se sia opportuno lasciare le cose come sono ora.

ALESSANDRO TESSARI. Condivido parte delle domande formulate dai miei colleghi, ma sono un po' imbarazzato nel trattare questo argomento con lei, professor Colombo, perché non so come qualificarla e considerarla, se padre del nucleare, padre della fusione o padre dell'energia rinnovabile: questa *contaminatio* di strategie diverse mi lascia un po' frastornato. Qualche volta mi sono trovato a difendere l'ENEA, perché le inadempienze del Governo spesso sono peggiori di quelle dell'ente; fino a quando Governo e Parlamento non modificheranno il piano energetico, gli enti energetici saranno tenuti a seguire le attuali prescrizioni. Ecco i motivi del mio imbarazzo; poi, facciamo tutti finta di niente, ci comportiamo come se quest'estate non fosse successo nulla. Qualche anno fa ho trascorso una vacanza ad Abingdon e ho conosciuto il progetto di Culham; ho avuto questo curioso interesse, che non aveva nulla a che fare con le strategie che poi mi sono

trovato a dover contrastare o a favorire in questo Parlamento.

Ho sempre sostenuto la necessità di aumentare gli stanziamenti per quanto riguarda i programmi per la fusione, vi sono decine di verbali dei dibattiti della Commissione industria che lo dimostrano. Ora, sono preoccupato perché questo mio amore un po' teorico per il potenziamento della fusione ha ricevuto una spinta inerziale dalla crisi oggettiva in cui versano i programmi generali nel mondo della fissione. Non vorrei che si potesse pensare che la fusione potrà darci quello che la fissione non può più darci. Una frase della sua esposizione non mi ha del tutto convinto, ma forse può spiegarla meglio: mi riferisco al fatto che lei, tra le righe, ha parlato del *Superphoenix* come di una realtà meravigliosa di 3 mila megawatt. Se la misurazione viene effettuata in questi termini, prima che un reattore possa offrirci 3 mila megawatt elettrici occorrerà utilizzare moltissimi miliardi di lire. Siamo costretti a fare questo tipo di discorso se non vogliamo nasconderci che Chernobyl non è stato un incidente marginale, ma una variabile che si è resa concreta ed evidente, che nessuno aveva quantificato nei giusti termini.

Oggi il nucleare non costa quello che costava prima di Chernobyl; non è certamente il *Superphoenix* il parametro per spendere o meno sulla fusione. Inoltre, alla domanda se un aumento degli stanziamenti possa comportare un abbreviamento dei tempi, tutti i tecnici hanno risposto: non più di tanto, perché non è spendendo dieci volte di più che i cinquant'anni potranno ridursi a venti. Anche a lei chiediamo, in qualità di coordinatore dei programmi dell'ENEA, cosa realisticamente sia possibile fare. A mio giudizio, vi sarà un aumento degli stanziamenti ed un ampliamento delle localizzazioni territoriali: probabilmente, Padova, Milano e Roma non saranno più sufficienti. Le chiedo se, al di là dei rischi militari, non sia un caso che anche dal solo punto di vista scientifico si affronti la forbice delle due strategie, cioè

quella del confinamento magnetico e del confinamento inerziale. In termini di ricaduta, di *know how*, di conoscenze, di tecnologie e di collegamento con il mondo dell'industria che lavora in questo settore, siamo convinti dell'opportunità di potenziare quei due fronti o quanti altri potessero aprirsi successivamente? Condivido quanto ha detto il professor Rubbia, e cioè che dobbiamo investire in cervelli, in intelligenze, perché probabilmente la soluzione energetica non è ancora chiara e potrà esserlo se avremo moltiplicato proprio l'intelligenza, la fantasia, la produzione di idee. Per tale motivo, tutto ciò che viene tolto ai vecchi programmi non deve essere sottratto a quello *staff* che è per noi un centro fondamentale di ricerca al quale non vogliamo rinunciare in alcun modo; non vogliamo che nulla venga tolto a quel gruppo che per noi è intelligenza, strategia ed organizzazione scientifica di grande livello e di grande prestigio internazionale. Vogliamo, caso mai, che si attui un ricalibramento a favore di nuove strategie, e la fusione è una di queste. Una vera valutazione deve tener conto del programma della fusione.

EMANUELE CARDINALE. Desidero sapere dal professor Colombo se per portare avanti il programma di fusione nucleare o, eventualmente, per accelerarlo esistono problemi di risorse umane, di capacità professionali. Inoltre, quali sono i rapporti con le università italiane o europee per preparare un certo tipo di professionalità? In particolare, dal momento che, a mio avviso, esiste il problema di nuovi materiali nel campo della fusione, vorrei sapere cosa si sta facendo per la ricerca dei medesimi e quali, sempre in tal senso, sono i rapporti con le altre aziende italiane.

UMBERTO COLOMBO, *Presidente dell'ENEA*. Credo che alcune delle domande poste non abbiano la possibilità di ottenere una risposta sulla quale tutti concordino perché abbiamo profonde differenze di opinione anche al nostro interno. Queste differenze di opinione risultano da un

dibattito, da un dialogo ed anche da concezioni diverse delle traiettorie di ricerca scientifica. Fornirò quindi delle opinioni di carattere personale, opinioni che riflettono anni di esperienza nel campo della ricerca scientifica e nel campo delle strategie energetiche. I miei colleghi sono liberi di esprimere opinioni difformi, qualora le abbiano. Anzi, li invito in tal senso, ritenendo di non offrire un brutto spettacolo, ma un'indicazione di democrazia da parte nostra.

Personalmente, sono dell'avviso che la scala dei tempi della fusione sia abbastanza scandita da sequenze e da eventi temporali che dovrebbero andare logicamente in serie. Il vantaggio di mettere insieme tra loro dei passi significa acquisire conoscenze e sicurezza che meglio consentano di indirizzare la fase successiva. È evidente che si può lavorare sulle tecnologie della fusione anche prima di avere dimostrato la fattibilità fisica della fusione, di aver scelto un orientamento piuttosto che un altro, una linea di approccio alla fusione. È chiaro, però, che se la dimostrazione della fattibilità fisica indica che devono essere prese direzioni diverse occorre un riaggiustamento. Per il momento, le strategie dei vari paesi non sono rappresentate da quelli che chiamerei programmi ad altissima spesa, ad alta incertezza, ad alto rischio con l'obiettivo primario di ridurre drammaticamente i tempi. Non è così, almeno finora, perché non vi è il convincimento che se non si fa la fusione tra venti anni accadrà qualcosa di drammatico nel mondo dove esistono ancora risorse abbondanti di combustibili fossili, dove il petrolio è in quantità maggiori di quanto supponessimo, dove il carbone è presente ancora in grandi quantità. Si sta sviluppando il nucleare, si stanno sviluppando le energie rinnovabili, si sta sviluppando anche la fusione. Nel contesto delle allocazioni di risorse per le ricerche sull'energia, quelle relative alla fusione nucleare sono una frazione rispetto al totale, una frazione non prevalente ma spesa con convincimento un po' da tutti i paesi avanzati e con il criterio di non buttar via i soldi in

azioni che potrebbero apparire rischiose sotto il profilo della probabilità di successo e non sotto il profilo del rischio, come si potrebbe più comunemente intendere. Devo quindi segnalarvi che solo in Italia esiste, al momento, questo *furor pro fusione*. Il 25 settembre sono stato convocato al Parlamento europeo per svolgere una relazione sulla politica della ricerca, e mentre io ho parlato di biomasse, altri colleghi dei paesi europei hanno lungamente parlato della fusione e del contenimento delle spese. Non hanno quindi parlato della necessità di fare presto, ovvero sia una necessità che registro particolarmente in Italia. Negli Stati Uniti, ad esempio, quando il presidente Carter decise di ridurre il programma nucleare in relazione alle obiezioni che aveva sulla proliferazione degli armamenti nucleari e sul ciclo del combustibile, vennero proposti dei programmi sulla fusione, programmi che poi il congresso e l'amministrazione americana non approvarono mai. Quindi, la fusione è ancora ad un livello di risorse relativamente modesto rispetto a quello utilizzato per la ricerca energetica. Intendevo quindi dire che la scala dei tempi è scandita abbastanza dagli eventi che si vogliono mettere in successione. Personalmente, ritengo che volendo mettere alcune ricerche in parallelo si spenderebbe molto di più e la probabilità di abbreviare notevolmente i tempi non aumenterebbe di molto. Ma è una mia opinione personale. So che il professor Coppi, ad esempio, ritiene il contrario. So anche che il professor Rubbia ritiene che qualora si facesse molto di più si potrebbe forse realizzare un reattore in tempi un po' più brevi di quelli che ho indicato io.

Non seguirò l'ordine cronologico delle domande in quanto vi è stato un quesito provocatorio dell'onorevole Tessari, al quale non è piaciuta la mia frase sul *Superphoenix*. Non ho fornito un giudizio di valore sul *Superphoenix*, ho semplicemente constatato un fatto, vale a dire che la fusione segue, con quarant'anni di ritardo, le ricerche sulla fissione a neutroni veloci. È un dato di fatto! Oggi, ci piaccia o non ci piaccia — e non ci piace —

esiste in Francia il reattore *Superphoenix* che proprio ieri l'altro è andato a potenza piena e fornisce una certa quantità di energia. Personalmente, mi sono posto una domanda che esula dai possibili giudizi positivi o negativi sull'esistenza del *Superphoenix*: quanto tempo occorrerà affinché si possa dire che nella fusione nucleare esiste una potenza installata in grado di erogare energia elettrica, da fusione, di questo stesso ordine di grandezza? Sinceramente non riesco ad immaginare come, in meno di quarant'anni, possa esservi una potenza installata da fusione nucleare! Poi ho aggiunto, onorevole Tessari, che ciò nonostante bisogna potenziare le ricerche sulla fusione. Quindi, il significato riguardava il confronto temporale e non vi era alcuna ombra di compiacimento né di trionfalismo sull'esistenza del *Superphoenix* e sul fatto che sia diventato critico.

ALESSANDRO TESSARI. È nostalgia per la possibile uscita dell'Italia dal *Superphoenix*.

UMBERTO COLOMBO, *Presidente dell'ENEA*. Perché nostalgia? Questi sono problemi che il Governo ed il Parlamento italiano devono affrontare e sui quali non mi permetto di esprimere opinioni. Dal *Superphoenix* otteniamo l'equivalente di 400 megawatt di potenza ogni anno quale quota parte dell'ENEL afferita al nostro sistema e se l'Italia rinunciasse a questa quantità di energia sarebbe libera di farlo con la piena responsabilità delle forze politiche che assumono la decisione. Personalmente, non mi pronuncio; ho voluto solamente spiegare il significato della mia affermazione. Ritengo che un'accelerazione dei tempi forse è possibile, certamente molto costosa e rischiosa, non consigliabile anche perché deve essere vista nel contesto di una ricerca internazionale. Non è possibile pensare, provincialmente, che l'Italia da sola si ponga l'obiettivo di accelerare i tempi! Il nostro paese può e deve compiere ogni sforzo dal momento che dipende per l'81 per cento nelle importazioni energetiche

(insieme con il Giappone) ed incontra molte difficoltà ad attuare un programma nucleare. Quindi, abbiamo il sacrosanto dovere di aumentare la nostra indipendenza energetica. Una delle strade – sia pure a lungo percorso – è rappresentata dalla fusione ed uno sforzo per accelerare i tempi (magari spendendo proporzionalmente più risorse) dobbiamo compierlo. L'ultima cosa che consiglieri è di farlo da soli! Posso affermare con assoluta certezza che, nell'ambito dei comitati della fusione, non solo a livello tecnico e strategico, ma anche a livello di ministri, abbiamo sempre spinto per dedicare più risorse alla fusione nucleare, anche se per ora i risultati in Comunità sono negativi.

È stato chiesto se si può fare saltando la fase comunitaria e alleandoci con altri paesi. Questo, nel confinamento magnetico, significherebbe rompere dei patti. Finora abbiamo rispettato i patti contratti in ambito Euratom e, secondo me, in ordine al confinamento magnetico abbiamo fatto bene a dire che l'Ignitor non costituiva uno spreco, un esercizio inutile, ma doveva essere realizzato dalla Comunità. Abbiamo preteso, però, dal professor Coppi – che sentirete tra poco – che ci portasse dei progetti elaborati, anziché idee. Il professor Coppi ha cambiato molte volte le carte sulla tavola: l'ha fatto anche recentemente quando, dopo aver presentato alla Comunità un progetto frutto del suo lavoro e dell'approvazione dell'ENEA, ci ha pregato di ritirarlo per presentarne uno nuovo. Nell'appoggiare il progetto Ignitor, quindi, ci siamo addossati una buona parte di rischio e di responsabilità in quanto abbiamo di fronte un elemento estremamente inventivo e vivace che, però, non possiede la fermezza progettuale e la capacità ingegneristica di congelare un progetto. Quando ci autorizzate a spendere soldi, non pensate a noi come a degli « Stranamore », cioè come a scienziati che eseguono esperimenti in un laboratorio pieno di fumo, ma pensate a noi come gente che spende gli scarsi soldi del paese cercando di realizzare progetti che hanno possibilità di andare a conclusione.

Ebbene, noi pretendiamo dal professor Coppi – nel momento in cui gli chiediamo rispetto per precise posizioni progettuali – di tener conto del fatto che questo non è un esperimento scientifico degno del premio Nobel, ma un esperimento che serve sulla strada critica di una realizzazione tecnologica industriale.

Circa il confinamento inerziale, posso dire che il terreno è più aperto. Infatti, bisogna distinguere tra paesi che hanno avuto interessi militari e nazioni che, al contrario, non hanno perseguito tali interessi. Gli Stati che hanno usato per scopi militari i *laser* hanno compiuto ricerche che, prima, erano classificate, mentre oggi lo sono meno. È doveroso dire, comunque, che in Francia, Gran Bretagna e Stati Uniti esistono ricerche affidate ad università che non sono classificate. Il Giappone e la Germania, che in virtù del trattato di pace non hanno avuto possibilità di intraprendere ricerche a carattere militare, hanno dedicato più risorse al confinamento inerziale. Credo sia merito dei ricercatori italiani che lavorano nel settore aver ottenuto risultati (non solo in taluni *laser* di interesse fusionistico, ma anche nei *laser* a neutroni liberi e nei *laser* eccimeri, potenziali veicoli di accelerazione per la linea del confinamento inerziale) che potrebbero consentirci l'avvio di una collaborazione a livello internazionale, apportando qualcosa. In considerazione dell'attuale situazione europea, faremmo bene ad interessare la Comunità. Solamente se la Comunità non avesse mezzi per assumere una linea del genere potremmo tentare collaborazioni bilaterali. Non dimentichiamo, però, che per collaborare con gli altri occorre in primo luogo essere forti. Nel frattempo, dovremmo rafforzare la nostra ricerca sul *laser* e sul confinamento inerziale, dovremmo cambiare leggermente la nostra strategia; si è trattato, comunque, di una strategia di mantenimento di competenze, per essere anche in grado di capire ciò che viene fatto all'esterno. Se vogliamo lanciare l'idea di una collaborazione internazionale, dobbiamo innanzitutto potenziare questa nostra attività, prima di

poter pensare ad una collaborazione credibile con gli altri *partners*.

Le risorse non si creano da un giorno all'altro; per formare anche un gruppo di soli venti o trenta nuovi ricercatori nel settore fusionistico, via *laser*, di accelerazione inerziale, occorrono svariati anni. I ricercatori potrebbero essere reclutati dalle università, ma vi è tutta una serie di procedure concorsuali da seguire. Il nostro ente ha ancora molte limitazioni, mentre un programma di tal genere richiederebbe molta più libertà e celerità per quanto riguarda le decisioni. Quindi, occorrono almeno quattro o cinque anni di preparazione prima di poter lanciare una proposta di questo tipo. Non a caso il professor Rubbia mi pare accennasse, nella sua relazione, all'impegno del CERN in questo campo; a Ginevra vi è un gruppo di persone che ha lavorato su acceleratori potenti di particelle: questa potrebbe essere una strada da seguire. Non so quale strada intenda seguire il professor Rubbia, perché nella sua relazione ha avanzato due o tre proposte. Comunque, una via da seguire, anche a parere del professor Rubbia, è senz'altro quella di sfruttare le competenze internazionali.

Il professor Fasella ha detto che l'esperienza italiana è valida nel campo della fisica, mentre lo è un po' meno nel campo delle tecnologie: dissento nettamente da questa opinione.

PRESIDENTE. Questo lo ha detto anche il professor Toschi, il quale ha sottolineato l'assoluta inadeguatezza della nostra tecnologia.

UMBERTO COLOMBO, Presidente dell'ENEA. Ritengo vi siano due modi di parlare della tecnologia della fusione, uno dei quali è quello di effettuare una ricerca scientifica e tecnologica che sia valida per la fusione, e anche per altre applicazioni, e che sia immediatamente spendibile dalla nostra industria sul mercato di alta tecnologia, per farsi strada nel mondo. Abbiamo sviluppato il *laser* ad elettroni liberi e ad eccimeri e ora

l'ENEA è uno dei capigruppo di un progetto dell'Eureka per lo sviluppo di *laser* avanzati, cui partecipano gruppi statali e industrie di diversi paesi europei. Si tratta di un nostro contributo tecnologico alla fusione, anche se si cerca di sfruttare, in parallelo, tutte le possibili ricadute. Abbiamo appoggiato l'Ansaldo, la FIAT e la Metalli Industriali per la realizzazione di magneti superconduttori e ad alta intensità, nonché di cavi, che sono stati venduti in tutta Europa. A nostro avviso, questo rappresenta un fatto molto positivo.

Per sviluppo tecnologico della fusione si potrebbe intendere, però, l'esplorazione di nuove tecnologie che un domani potrebbero essere utilizzate per la fusione, ma che ancora non sono state «congelate» in una scelta tecnologica progettuale a livello europeo. Abbiamo optato per la prima strada. Il professor Fasella ritiene che la nostra ricerca tecnologica ed i contratti della CEE sulla tecnologia siano anche di questo secondo tipo. Abbiamo preferito destinare le poche risorse disponibili per l'ENEA ad attività che siano di immediato interesse per le nostre industrie e che abbiano possibilità di ricaduta. Ciò non toglie che se avessimo più risorse forse allargheremmo il nostro ambito di azione. Purtroppo, abbiamo a che fare con vincoli enormi: a fronte delle 13 mila o 23 mila - non ricordo bene - assunzioni previste per gli enti pubblici, a noi spetteranno soltanto 70 unità. Ci scontriamo con questa realtà, abbiamo problemi di allocazione di scarse risorse a fronte di un numero di temi molto elevato rispetto alle nostre possibilità. Avremmo potuto fare di più, ma abbiamo ritenuto, in tutta onestà, che, nel quadro della limitatezza delle risorse a nostra disposizione, la politica che abbiamo seguito fosse la migliore.

Ci è stato chiesto se un arresto del programma fissione possa avere un impatto sull'esito del programma fusione. La domanda può avere un doppio senso, di cui uno è: potrebbe avere un impatto positivo, perché le risorse potrebbero essere dedicate alla fusione? Credo però

che la domanda tendesse, invece, a dire: non avrà un effetto paradossalmente negativo, perché si perderanno alcune competenze critiche che poi, quando servissero per la fusione, non sarebbero più disponibili? Si tratta di un rischio reale, perché ritengo che i reattori nucleari a fissione e quelli a fusione siano sistemi estremamente complessi, con tecnologie integrate di notevole rilevanza ed ampiezza, con un grado di integrazione sistemica elevato rispetto ai normali sistemi di produzione energetica, anche delle cosiddette « energie rinnovabili ed alternative ». Esistono problemi ambientali non paragonabili tra fissione e fusione, ma esistono problemi ambientali e rischi di incidenti nella fusione che non vanno del tutto trascurati. Infatti, il trizio è una « bestia » piuttosto cattiva, ha una radioattività di circa dodici anni, ma la sua caratteristica più negativa è che si trasforma in acqua triziata che entra nel ciclo biologico e che può andare all'interno degli organismi: mentre l'irraggiamento del trizio dall'esterno, dato il carattere delle radiazioni, non è estremamente preoccupante, i danni provocati dall'ingerimento sono notevoli. Quindi, occorre difendersi dalla radioattività; vi è tutto un settore di radioprotezione e di sicurezza nucleare che, se di colpo venisse abolito il nucleare in Italia – ipotesi assurda – avrebbe certamente esito negativo. Quindi, anche per poter legare i tempi fra loro, è necessario, a mio giudizio, che sul nucleare non si azzeri l'attività.

ANGELO MARINO, *Direttore del Dipartimento tecnologie intersettoriali di base dell'ENEA*. Risponderò principalmente alle domande che hanno a che fare con le attività *laser* in Italia e con le connessioni con i programmi Eureka ed SDI, sia come responsabile ENEA per l'attività di ricerca tecnologica ed intersettoriale, sia come responsabile per l'Italia dei programmi Eureka per il *laser*. In Italia le attività nel campo del *laser* in questo momento sono essenzialmente svolte in am-

bito ENEA con un progetto di fibre ottiche ed elettroottiche e con un progetto finalizzato che è stato recentemente approvato dal ministro della ricerca, presentato per la delibera del CIPE, e che dovrebbe decollare verso la fine del 1987. I due programmi hanno dimensioni finanziarie dell'ordine di circa 80 miliardi ciascuno nell'arco di cinque anni, e sono stati valutati in modo complementare così da evitare sovrapposizioni e da integrarsi. I progetti finalizzati del CNR coinvolgono quasi sempre attività esterne e sono in genere commesse di ricerca verso altri gruppi. Il progetto ENEA è invece volto all'individuazione di progetti e di prodotti con il fine di rendere poi possibile una commercializzazione ed utilizzazione in campo industriale.

Accanto a queste due iniziative l'Italia è entrata, in un *pool* di quattro nazioni (Francia, Italia, Gran Bretagna e Germania), in un progetto Eureka intergovernativo sul piano Euro-*laser* la cui dimensione è stimata sui circa 300 miliardi in sette anni. Questo progetto è nella fase di definizione, e prevede lo sviluppo di tre sorgenti (*laser* eccimeri, a stato solido, ad anidride carbonica), di diretto interesse industriale. Non sono quindi correlati direttamente all'utilizzo in campo fusionistico, ma tendono a realizzare una capacità industriale di gestione e di tecnologie particolarmente complesse che, una volta realizzate, possono poi, eventualmente, essere finalizzate anche a scopi fusionistici. Nulla hanno a che fare con la fisica della fusione e con le tecnologie. Ricordo che nella SDI le armi *laser* sono essenzialmente concentrate sul *laser* eccimeri, sul *laser* ad anidride carbonica e sul *laser* ad elettroni liberi. Nell'ordine, queste son le prime tre voci nei sistemi d'arma *laser*. Per oggetti le cui dimensioni e le cui potenze siano confrontabili, queste armi hanno dimensioni di potenza paragonabili con quelle che potrebbero servire per un reattore a fusione, ma i tempi di realizzazione del prototipo dimostrativo sono valutati in circa venti anni (sempre nell'ambito della SDI).

ELIO GIOVANNINI. Non sono cinque anni ?

ANGELO MARINO, *Direttore del Dipartimento tecnologie intersettoriali di base dell'ENEA*. Cinque anni è la fase di studio per definire su quali oggetti andare a lavorare. Dal 1991 in poi la SDI passerà alla fase realizzativa del prototipo che dovrebbe divenire operativo dieci anni dopo.

ELIO GIOVANNINI. Non nel 1995 ma nel 2000 ?

ANGELO MARINO, *Direttore del Dipartimento tecnologie intersettoriali di base dell'ENEA*. Esatto.

PRESIDENTE. Ringrazio nuovamente il professor Colombo ed i responsabili dei programmi di ricerca per il contributo dato alla nostra indagine, invitandoli a voler far pervenire alla Commissione, qualora lo ritengano, note scritte sui problemi emersi nel dibattito.

La seduta termina alle 15,30.

La seduta comincia alle 17,50.

DANTE ORESTE ORSENIGO, *Segretario*, dà lettura del processo verbale della seduta precedente.

(È approvato).

AUDIZIONE DEL PROFESSOR BRUNO COPPI, DOCENTE DEL MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

PRESIDENTE. L'ordine del giorno reca, nell'ambito dell'indagine conoscitiva sullo stato attuale della fusione nucleare ai fini degli usi pacifici, sulle sue prospettive e sui problemi di sicurezza, l'audizione del professor Bruno Coppi, docente del Massachusetts Institute of technology. Avverto che il professor Coppi ha predisposto una relazione – alla quale sono allegiate numerose tabelle, figure e grafici – che sarà pubblicata con le altre presentate nel corso delle audizioni.

Comunico che da parte del presidente del gruppo radicale è stata avanzata richiesta di assicurare a questa seduta della Commissione la pubblicità dei lavori attraverso la trasmissione degli stessi con l'impianto audiovisivo.

Non essendovi il consenso unanime dei membri della Commissione, tale richiesta non potrà avere seguito.

ALESSANDRO TESSARI. Vorrei sapere chi si è opposto.

PRESIDENTE. Prima di dare la parola al professor Bruno Coppi, desidero ringraziarlo a nome della Commissione

industria per la sensibilità e la disponibilità che egli ha dimostrato, facendosi carico anche delle difficoltà del nostro lavoro di parlamentari, che lo hanno costretto ad una prolungata attesa prima di dare inizio a questa audizione. Do senz'altro la parola al professor Coppi.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Desidero a mia volta ringraziare questa Commissione e rispondere al presidente Viscardi che il ritardo di questa audizione non mi ha penalizzato perché il mio orario fisiologico è di sei ore in ritardo.

Nel 1985 – trentesimo anniversario dell'esplosione della bomba atomica ad Hiroshima – un gruppo internazionale di rappresentanti delle maggiori discipline scientifiche negli Stati Uniti d'America, di cui facevo parte, formulò una dichiarazione, in cui si affermava, tra l'altro, che « Il paese deve riconoscere che ora appare imprudente continuare con un programma di rapida espansione delle costruzioni di reattori nucleari. Il rischio di una tale espansione è grande. Perciò urge una drastica riduzione, prima che si sia compiuto un sufficiente progresso nella ricerca necessaria e nella soluzione di tali reattori, l'immagazzinamento degli scarti ed i controlli del plutonio. Per ragioni simili, noi sollecitiamo la nazione a sospendere il programma di esportazione di impianti nucleari in altri paesi fino a quando non siano stati risolti i problemi della sicurezza nazionale associati con l'uso, da parte di quei paesi, del plutonio prodotto da reattori costruiti negli Stati Uniti ».

Nella lista dei primi firmatari di tale dichiarazione – ai quali hanno fatto se-

guito duemila altri firmatari – figuravano nomi di premi Nobel, nonché di alcuni dei pionieri dell'energia nucleare, i quali lavoravano a Los Alamos; io ero il più l'unico giovane di quel gruppo, l'unico ad aver conseguito la laurea in ingegneria nucleare. Dunque, non era un gruppo di antinucleari. Quella dichiarazione ebbe allora vasta risonanza. Ma non riscosse in Italia – dove cercai di illustrarla – un grande interesse. Il tipo di considerazioni che vengono svolte oggi in America, sullo stesso tema, è illustrato nelle conclusioni di uno scritto del dottor John Ahearne, il quale, all'epoca dell'amministrazione Carter, era presidente della commissione delegata a controllare i reattori nucleari. Ahearne rivestiva tale carica quando accadde l'incidente di Three Mile Island. Egli era, inoltre, mio amico quando lavoravo a Princeton ed è tuttora persona molto gentile e caritevole. Purtroppo, le sue conclusioni sono del seguente tenore: « Perché l'industria nucleare possa riprendersi negli Stati Uniti occorrono tre condizioni: che vi sia una domanda di energia nucleare, cioè un'economia che tenda a crescere nonostante i progressi nel campo della conservazione permessi da nuove tecnologie; che si trovi una soluzione del problema delle scorie, cioè che si trovino località dove seppellirle; che non vi sia alcun incidente e che vi sia una gestione competente ». Successivamente, egli ha scritto: « Sì, è vero che vi è una domanda crescente di energia, ma non vi è soluzione del problema delle scorie; vi è stato un altro grave incidente, quello di Chernobyl, ed io non vedo alcuna azione rivoluzionaria per migliorare la competenza nella gestione di questo tipo di industria ». Citando lo scritto di Ahearne non intendo trarre le stesse conclusioni anche per quanto riguarda l'ambiente italiano; voglio soltanto riferire il parere di John Ahearne.

Il caso ha voluto che un altro amico mio personale, l'accademico Evgenij Velikhov, sia stato incaricato da Gorbaciov di dirigere tutte le operazioni di intervento subito dopo l'incidente di Chernobyl. La conclusione di Velikhov – che è

stato molto scosso da quell'incidente – è che occorre accelerare i tempi della fusione nucleare. A questo proposito desidero fare rilevare come il problema del riscaldamento del clima cominci a destare serie preoccupazioni. Pertanto, ritengo pericoloso il pensare che i combustibili fossili possano rappresentare una soluzione accettabile in tempi molto lunghi.

Uno dei problemi scientifici principali per progredire nel campo della fusione è quello dell'acquisizione della conoscenza della cosiddetta « fisica dei plasmi », che vengono definiti, in modo pittoresco, come « il quarto stato della materia ». Gran parte dell'universo è composto da plasmi. Perciò la ricerca sulla fusione, attraverso la fisica dei plasmi, è strettamente legata alla fisica dello spazio, cosicché la ricerca spaziale e quella sulla fusione sono molto vicine l'una all'altra. Anche per la sua genesi, la ricerca sulla fusione è legata alla realizzazione della bomba all'idrogeno ed a ricerche di interesse militare. Uno dei più importanti risultati ottenuti nel settore della fisica spaziale, a livello della filosofia della scienza, è stato ottenuto con i rilevatori spaziali. Da essi abbiamo potuto apprendere che le nostre idee in materia di termodinamica non sono valide. Quando, infatti, faccio riferimento al concetto di temperatura, in realtà mi riferisco ad un concetto approssimato. I plasmi sono dei gas in cui le particelle interagiscono con forze a lungo raggio. Ciò che capita in un punto si propaga negli altri punti. Un analogo discorso può essere fatto per il mondo contemporaneo rispetto all'informazione. Questo aspetto della ricerca, al tempo in cui esplose la bomba all'idrogeno, non era noto; tale stato di cose ha creato, successivamente le maggiori difficoltà nel realizzare il reattore a fusione. Pertanto, raccomando alla Commissione – casomai essa desiderasse approfondire la sua indagine conoscitiva – di consultare degli esperti i quali conoscano almeno la fisica del plasma al livello del corso elementare che si svolge presso la Scuola Normale Superiore di Pisa. Abbiamo la

fortuna, attualmente, di avere nel professor Pegoraro, qui presente, un autorevole rappresentante di tale campo di ricerca, o di poter consultare il professor Alfrén.

I costi della ricerca sulla fusione nucleare – nei limiti entro i quali è possibile individuare i problemi da risolvere – non sono necessariamente elevati. L'elevatezza di essi è più un prodotto storico, legato al fatto che le ricerche in tale campo sono, per buona parte, sviluppate in ambienti legati, per tradizione e per metodo di lavoro, allo stile ed ai costi dei programmi militari. Un esempio da non imitare è quello degli enti ed industrie spaziali occidentali, i quali – come veniva fatto osservare dal compianto professor « Bepi » Colombo dell'università di Padova – non si sono preoccupati di fare diminuire il costo di lancio per chilogrammo. Non sono quindi d'accordo sull'affermazione per cui per far progredire la fusione siano necessari enormi investimenti. Considerando i progressi fatti in questo campo di ricerca e in discipline ad essa molto vicine, i tempi della fusione non sono miticamente lontani, come è stato affermato. In realtà, se un esperimento che abbiamo proposto di eseguire in Italia da dieci anni non fosse stato insabbiato, saremmo già in grado di produrre cento megawatt, a livello sperimentale, di energia da fusione. La possibilità di utilizzare un reattore a fusione come sorgente di neutroni veloci è una realtà prossima. Il problema è che questo si presta a produrre un tipo di plutonio particolarmente pregiato, il cui uso va strettamente controllato.

La scoperta della legge di fisica che ci ha permesso di arrivare a questo punto, avvenne dodici anni fa al MIT, Massachusetts Institute of technology. In questa scoperta ebbe un ruolo centrale il lavoro di un gruppo italiano distaccato al MIT. In particolare, si scoprì, inaspettatamente, che il parametro di confinamento dell'energia di un plasma cresceva con il quadrato della densità. Avendo il modo di realizzare plasmi con alta densità e per di più privi di impurezze, si arrivò molto vicino al cosiddetto traguardo di Lawson,

che per quelli di noi che avevano « lavorato » nella fisica del plasma negli anni sessanta, era sembrata sempre una meta molto lontana. Il tutto venne realizzato con un esperimento dal costo molto basso e con spirito e struttura, disorganizzata, di tipo universitario. Desidero ricordare che in pratica possono accadere molti imprevisti positivi e ciò soprattutto quando si riesce a mobilitare una comunità di ricercatori generosi e disponibili. L'esempio più vistoso di quanto ho appena detto è stato dato dall'« incontro » della navicella spaziale Voyager 2, in gennaio, con Urano. Abbiamo ricevuto veramente un dono, in quella occasione, per il quale non avevamo avuto alcun merito perché non previsto nei nostri piani; anzi, al tempo del lancio del Voyager 2, l'idea di arrivare con esso ad Urano e, fra meno di tre anni, a Nettuno non era stata considerata. Perciò le previsioni erano che l'incontro con questi pianeti sarebbe avvenuto nel secolo venturo. Quindi la ricerca, quando viene condotta con continuità e con umiltà, riserva delle sorprese non sempre negative.

Il lucido che stiamo proiettando, corrispondente alla figura 5-2 allegata alla mia relazione, mostra la macchina Alcator. Tale macchina ha un raggio maggiore di 54 centimetri. Con essa è stato possibile per la prima volta intravedere la fattibilità scientifica di un reattore. Successivamente, è stata approntata un'altra macchina: Alcator C, un po' più grande, tramite la quale è stato possibile estendere questo parametro di confinamento che riguarda la possibilità di mantenere l'energia termica del plasma prodotto per un tempo sufficientemente lungo e con una densità sufficientemente elevata. Tuttora, questi esperimenti hanno il *record* della più alta pressione mai raggiunta in plasmi confinati con campi magnetici. Dal lucido che ora mostro, corrispondente alla figura 5-4, allegata alla mia relazione, si può prendere visione di quale sia la legge di fisica di base, che è stata scoperta nel 1974 presso il MIT. Tale legge afferma che crescendo la densità il parametro di confinamento cresce

al quadrato. Tale scoperta ci ha permesso di raggiungere posizioni di avanguardia nel settore della ricerca.

Con gli esperimenti cui ho accennato siamo quasi arrivati a dimostrare la fattibilità scientifica del reattore a fusione. A Frascati, è in funzione una macchina, alla cui costruzione ho contribuito anch'io, la quale ha confermato i risultati degli esperimenti precedentemente condotti. Ottenuti questi risultati, si è pensato di proporre l'esperimento Ignitor, che consiste in una macchina compatta, simile all'Alcator, con una tecnologia in grado di permettere l'accensione della miscela deuterio-trizio, un combustibile utilizzato nella bomba all'idrogeno. La progettazione di questa macchina ci ha portato ad approfondire la fisica delle condizioni in cui avviene la combustione per fusione. L'esperimento, sulla base dei dati in nostro possesso, può portarci a provare che un reattore a fusione si autosostiene. Abbiamo proposto che questo esperimento venga fatto ad Ispra, per vari motivi. Innanzitutto, in tale località esiste la sorgente di energia elettrica in grado di alimentare la nuova macchina ed esiste anche un edificio in cui è possibile portare avanti in maniera ideale l'esperimento stesso. Il gruppo italiano, con il quale ho lavorato fin dai tempi della costruzione della macchina operante a Frascati, è in possesso delle specifiche conoscenze fisiche e tecnologiche per realizzare l'esperimento. Inoltre, abbiamo un apparato industriale ed artigianale in grado di costruire questo tipo di macchina.

Nelle università e nei laboratori italiani, esistono preziose risorse umane che possono essere recuperate - e lo desiderano - per collaborare ad un programma veloce e con un chiaro obiettivo scientifico. Il fatto che l'amico Rubbia si sia dichiarato disposto a questa « avventura » è un'occasione da non perdere. Lo sviluppo dei reattori a fusione richiede di mettere insieme una vasta gamma di conoscenze e discipline. Per questo è necessario che non sia un solo ente ad occuparsi della questione. Propongo pertanto che, seguendo il modello felice del Giap-

pone, il Ministero della pubblica istruzione svolga un ruolo attivo in questo campo; il CNR riprenda le responsabilità che aveva in passato; l'INFN allarghi il raggio dei suoi interessi tecnici e scientifici; l'IRI e l'ENI mettano a disposizione le loro risorse. In Italia esiste una grande tradizione nel campo della matematica, che rimane da sfruttare, poiché l'attività teorica è importante, data la complessità di analisi di un sistema a molti corpi quale è un plasma che brucia per reazione di fusione. La struttura artigianale ed industriale esistente in Italia, con l'eccellente tradizione di ingegneria meccanica ed elettrotecnica conservata, è particolarmente adatta a realizzare una linea di ricerca veloce e snella per provare la fattibilità scientifica, a breve termine, dei tipi più interessanti di reattori a fusione.

Come avrete sentito dall'amico Rubbia, non c'è un solo reattore a fusione realizzabile; il tipo peggiore è quello più facile da realizzare e sfrutta la stessa miscela usata nella bomba all'idrogeno, cioè deuterio-trizio. Il trizio è radioattivo per dodici anni, il nostro corpo lo smaltisce in dodici giorni, ed ha il difetto di produrre neutroni che possono attivare alcuni materiali. Esistono, quindi, problemi di attivazione, che sono controllabili. In più, il trizio si presta, come ho già detto prima, alla produzione di un tipo di plutonio molto pregiato, che va però tenuto sotto controllo. La liberazione dal vincolo del trizio rappresenta un fattore molto positivo. Fino alla fine degli anni ottanta anch'io ero convinto che questo fosse l'unico tipo di reattore possibile nella nostra generazione. In realtà, tale credenza era legata ad una teoria che io stesso avevo sviluppato intorno al 1965 con un collega dell'università di San Diego. Tale teoria era eccessivamente pessimistica: in base a risultati teorici ottenuti con uno studente e due collaboratori al MIT, trovammo la cosiddetta « seconda regione di stabilità » dei plasmi relativi. La conseguenza di ciò fu che potemmo dimostrare la fattibilità teorica di reattori più avanzati che non utilizzassero il trizio, in particolare del cosiddetto « reattore pulito ad elio-3 ».

(Candor). Questa è la formula: $D + He^3 \rightarrow p + He^4$. I neutroni sono in piccolissima percentuale da reazioni secondarie e nessuno ha mai sentito parlare delle particelle alfa. Si tratta del reattore cui tutti aspiravamo, infatti, come l'amico Pegoraro ricorderà, insieme con il collega Necci avevo ritenuto fosse la forma migliore di energia nucleare.

Per procedere dalla linea Ignitor alla linea Candor, sempre attraverso questi esperimenti di base di tipo compatto, occorre passare dai magneti con bobine di rame, portato alla temperatura dell'azoto liquido, ai superconduttori che consumano poca potenza o ai magneti ibridi superraffreddati, che possono estendere il periodo di bruciamento. Molti colleghi ritengono – erroneamente – che anche questa sia una tecnologia del futuro. In realtà, essa è stata già realizzata in Giappone: la prima macchina sperimentale che impiega questa tecnologia è stata inaugurata all'università di Kyushu due settimane fa. Questa macchina compatta ad alto campo è stata realizzata dalla ditta Hitachi, una tra le più grandi industrie elettriche del mondo. Porto questo esempio per dimostrare come queste non siano tecnologie del futuro, ma di immediata utilizzazione. Le tecnologie per passare dalle macchine a trizio a quelle ad elio-3 già esistono. L'università di Kyushu ha uno *staff* piccolissimo, ma ha l'appoggio di una grande industria: mentre nelle università i giovani normalmente si laureano e poi vanno a lavorare altrove, l'industria ha il vantaggio di riuscire a conservare la memoria delle tecnologie sviluppate e delle scoperte fatte. È quindi possibile investire risorse in ricerche sulla fusione ricavandone un beneficio diretto ed immediato in termini di tecnologie sviluppate; non è necessario aspettare ricadute nel prossimo secolo, purché i fondi siano investiti per fare ricerca teorica vera e per costruire dispositivi funzionanti, che arricchiscono il nostro patrimonio tecnologico.

Il collega Rubbia ha avanzato giuste critiche nei confronti dei grandi Tokamak: egli ha detto che potrebbero diven-

tare come grandi Zeppelin che poi sarebbero abbandonati. Ho sempre condiviso quest'ipotesi, perché intraprendere la costruzione di grandi esperimenti, quando lo stesso risultato può essere ottenuto con ricerche di portata più modesta, finisce per allungare i tempi. I grandi esperimenti servono da volano amministrativo per impiantare centri che poi acquistano significato scientifico. Gli esperimenti di cui vi ho parlato (Ignitor e Candor) non si prestano alla critica di Rubbia, perché si tratta di cose piccole. Il momento attuale è molto propizio per la comunità italiana, perché essa si può inserire positivamente nel rapporto di collaborazione Est-Ovest proposto nella dichiarazione scritta a conclusione del vertice di Ginevra fra Reagan e Gorbaciov. I due *leaders* hanno posto l'accento sul fatto che sarebbe molto importante poter utilizzare la reazione di fusione nucleare a scopi pacifici; in questo senso, si auspica la massima collaborazione, in modo da adottare una fonte di energia inesauribile a beneficio dell'umanità. Questa proposta, espressa in forma un po' retorica, è stata avanzata da due amici, Velikhov – di cui ho già parlato – e Sagdeev, il quale dirige l'Istituto di fisica dello spazio di Mosca. Entrambi si sono recati al CERN per illustrare tale proposta.

In seguito al vertice di Ginevra sono state presentate iniziative di tipo internazionale per accelerare la fusione e per integrare maggiormente le ricerche svolte nei vari continenti. Poiché la progettazione e l'analisi del primo esperimento proposto per arrivare alla combustione per fusione nucleare – l'Ignitor – furono svolte da gruppi italiani e poiché abbiamo la capacità industriale per realizzare le macchine necessarie, una possibile proposta è quella di costruire tre macchine compatte – non necessariamente identiche, ma del tipo Ignitor – una per l'Italia, una per gli Stati Uniti ed una per l'Unione Sovietica, minimizzando i costi necessari e guadagnando il vantaggio di avere tre gruppi in parallelo a studiare un tipo di fisica sinora inesplorato. Si tratta di una proposta un poco

delicata perché vi sono delle implicazioni di politica estera che vanno analizzate con molta cura.

Un'altra proposta – che presenta meno problemi – è quella di dare inizio immediatamente ad una collaborazione con i colleghi giapponesi per lo sviluppo di macchine compatte con magneti superconduttori ad alto campo e magneti ibridi (superconduttori e conduttori super-raffreddati). Tali macchine permetteranno la realizzazione di reattori sperimentali del tipo Candor (a deuterio-elio 3), che minimizzano la produzione di neutroni. Infatti, vi è, in Giappone, uno speciale interesse per questo tipo di reattori; in più, l'industria italiana potrebbe operare in condizioni di parità tecnica perché si è rivelata di livello mondiale proprio nel costruire magneti di tipo superconduttore. Ancora un'altra proposta è quella di lavorare insieme con gruppi americani sulla tecnologia dei *laser* ad elettroni liberi, già citata – giustamente – dall'amico Rubbia. Questa tecnologia si adatta in modo ideale alla fisica dei plasmi prodotti da macchine del tipo Ignitor o Candor, perché permette di raggiungere le necessarie condizioni di accensione a temperature più basse ed a densità più elevate (il che corrisponde a regimi fisici più favorevoli e prevedibili, teoricamente, di quelli considerati finora).

In conclusione, condivido con l'amico Rubbia l'idea che la comunità italiana abbia il dovere morale di raccogliere le ottime risorse umane ed industriali che ha, di dare una svolta in direzione decisamente scientifica ai suoi impegni ed indirizzi nel campo della fusione e di proporsi seriamente l'obiettivo di arrivare in breve tempo e con costi contenuti, a provare la fattibilità scientifica dei più attraenti tipi di reattori a fusione. Ovviamente, non tutti sono favorevoli a questa collaborazione con i sovietici. Vi sono gruppi i quali pensano che vi siano problemi delicati di trasferimento di tecnologie.

Come ho già detto, i risultati decisivi sulla possibilità di raggiungere il « traguardo di Lawson » per il parametro di

confinamento furono realizzati nell'Alcator, cioè nella piccola macchina del MIT. Nello stesso tempo – circa nella metà degli anni settanta – si iniziò la costruzione di tre grandi macchine (una in Europa – il JET – una negli Stati Uniti d'America ed una in Giappone). Per darvene un'idea, vi dico che il costo della grande macchina giapponese (che fu completamente commissionata all'industria e, pertanto, costò di più) fu di un miliardo 400 milioni di dollari, pari – al cambio attuale – a circa duemila miliardi di lire. Non voglio commentare i costi degli altri esperimenti. Desidero soltanto far osservare che si tratta di esperimenti assai più costosi. Quello di Princeton – che è denominato TFTR – ha confermato in pieno i risultati ottenuti con i nostri piccoli esperimenti. I risultati sono molto simili ed in più sono stati ottenuti con temperature, in questo caso, leggermente più basse. Dicendo ciò non voglio sminuire il valore del risultato dell'esperimento di Princeton; voglio dire bensì che vi sono molti modi per perseguire lo stesso scopo scientifico.

Noi proponemmo l'esperimento Ignitor in Italia molti anni fa. Vi sono stati molti ritardi. Però l'esperimento è basato su leggi di fisica ben provate e tutti gli esperimenti successivi lo hanno confermato. Non vi è stato cambiamento di linea; anzi la viabilità dell'esperimento è stata confermata. Inoltre, è stato dimostrato che gli esperimenti Ignitor sono molto semplici e – per quello che ne sappiamo – godono di una proprietà di cui, invece, non godono gli esperimenti molto grandi. Questi ultimi, infatti, per essere portati ad alta temperatura hanno bisogno di iniezione di grande potenza dall'esterno prima che il plasma cominci a bruciare da solo. Tale iniezione dall'esterno, fino ad ora – è in vista, infatti, un miglioramento di situazione – tende a peggiorare il parametro di confinamento. Stiamo un pochino superando queste paure. Ed è risultato che si è avuto addirittura uno svantaggio ad andare sulle linee degli esperimenti grandi.

ALESSANDRO TESSARI. Può spiegare meglio questo passaggio?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. La macchina del tipo Alcator o del tipo Ignitor si scalda come un fornello elettrico a causa della corrente che le si fa circolare dentro e che deve essere indotta in ogni caso. Si tratta di un riscaldamento naturale, simmetrico, gentile. Una macchina grande perde questa possibilità. Pertanto, vi si devono iniettare grandi quantità (megawatt) di radiofrequenza o di particelle molto veloci. In questo modo, si disturba lo stato del plasma. Pertanto, da alcuni anni fino ad oggi è stato riscontrato un degrado del confinamento. La linea Ignitor è stata, fin dall'inizio, la più sicura. Lo dico perché era stata data l'idea che fosse un esperimento molto azzardato, con tecnologie tutte da provare. In realtà, l'Alcator C – cioè il secondo e più grande – ha già terminato i suoi anni di funzionamento al MIT e sarà rimesso in funzione nei laboratori di Livermore in California. L'altro è in un garage, in attesa di essere trasferito in un museo a Washington (che però ha un pavimento troppo debole per sostenerlo). Cioè la tecnologia di tale linea è stata provata da molti anni di funzionamento di macchine di questo genere. Non dico questo per condannare i grandi esperimenti, i quali certamente forniscono delle informazioni su plasmi con grandi volumi delle quali abbiamo realmente bisogno. Lo dico per confermare il fatto che la validità dell'Ignitor – così come lo abbiamo proposto – si è addirittura accresciuta nel tempo. Ed è per questo motivo che non abbiamo rinunciato a realizzarlo.

PRESIDENTE. Una delle obiezioni che vengono mosse all'Ignitor è che esso è fine a se stesso – se riferito alla fisica dei plasmi – e non strettamente collegato al reattore della futura fusione.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. La ringrazio di questa citazione. Prima di tutto vi è

un problema conoscitivo. Se non si è fatto volare il primo aereo, se non si conoscono le leggi della aerodinamica, non si può pretendere di costruire subito un Jumbo, cioè un aereo commerciale. Dunque, prima di tutto bisogna conoscere. L'altro elemento è che la linea Ignitor, cioè quella degli esperimenti compatti, porta direttamente ai reattori a deuterio-deuterio e deuterio-elio 3. Il deuterio viene estratto dal mare, non è radioattivo.

Pertanto, si pensa – in seguito a studi compiuti nelle università dell'Illinois – di costruire in campagna dei reattori a deuterio-deuterio, i quali producano l'elio 3, che a sua volta possa essere utilizzato per produrre centrali molto meno critiche in prossimità di centri abitati. La linea delle macchine compatte non finisce per produrre soltanto conoscenza; è una linea che porta alla realizzazione dei reattori oggi più desiderabili. Quando facemmo questa scoperta teorica, fu tenuta una conferenza stampa dalla Società americana di fisica. Il lavoro fu riportato sul *Times* di Londra e fu illustrato anche su *L'Europeo*, che ad esso dedicò anche la copertina. Insieme con le valutazioni positive voglio ricordare anche quelle negative, la più curiosa delle quali fu quella di una voce che, in italiano, parlando al telefono alle cinque del mattino, ci disse che con quel lavoro che avevamo pubblicato avremmo spaventato il pubblico italiano in tema di energia nucleare (il che, poi, non è accaduto).

Rispondo alla sua obiezione: noi abbiamo bisogno di una conoscenza di base. Con questa tecnologia realizzata dai giapponesi, abbiamo i mezzi per arrivare alla costruzione di un reattore più pulito di quello al trizio. L'altra cosa che vorrei ricordare è che i reattori da fusione non servono solo come centrali di potenza elettrica, essi producono particelle veloci, utilizzabili in applicazioni diverse. Tali reattori, inoltre, possono essere utilizzati per la propulsione spaziale. Indubbiamente, sono, queste, idee futuristiche ma delle quali bisogna pur discutere. Questi reattori producono grandi quantità di

raggi X, raggi infrarossi, i quali ultimi possono essere utilizzati nella chimica. Desidero ripetere, in ogni caso, che non è vero che l'Ignitor rappresenti una tecnologia destinata ad essere superata. Al riguardo esistono indicazioni, da tre diversi laboratori, le quali confermano che tutte le leggi di scala, riferentisi a tali esperimenti, sono le stesse di cui si ha bisogno per la costruzione di un reattore a fusione commerciale. Il *Concorde*, è un aereo supersonico per passeggeri, ma le leggi del volo supersonico sono state studiate prima sui piccoli aerei. Ho citato questo esempio per dire che anche le leggi di scala sono necessariamente applicate prima su piccoli esperimenti e poi su grandi reattori.

PRESIDENTE. Se ho capito bene, a suo avviso il passaggio dal JET al NET non ha ancora evidenziato una chiara convenienza?

BRUNO COPPI, Docente del Massachusetts Institute of technology. Negli Stati Uniti era stato iniziato un lavoro di studio esplorativo di un'enorme macchina del genere NET, chiamata FED, ma successivamente è stato sospeso. È stata portata avanti, invece, la progettazione di una macchina detta CIT che è del tutto simile alla macchina Ignitor. Negli Stati Uniti esiste una stretta interazione tra mondo scientifico e mondo politico. Vi è stata una dichiarazione da parte della Camera di quel paese in base alla quale viene sottolineata la necessità di portare avanti il suddetto esperimento; guardate, al riguardo la figura B-2 allegata alla mia relazione. In un recente convegno a Kyoto, dove è stato ufficialmente presentato il progetto della macchina CIT, nella traduzione (ufficiale) in russo questo veniva denominato Ignitor; guardate, al riguardo, la figura B-5 allegata alla mia relazione. Domenica prossima arriveranno come miei ospiti al MIT un gruppo di fisici russi interessati alla costruzione di macchine tipo Ignitor.

Da quest'altro lucido, corrispondente alla figura 7-5 allegata alla mia relazione, potete prendere visione di uno stralcio di

un articolo di Tamm e Sacharov, il famoso fisico russo dissidente. Questi - anche lui - sognava, molto tempo fa, di poter realizzare un reattore deuterio-deuterio. Fino a qualche tempo addietro, questa realizzazione è apparsa impossibile. D'altra parte, i parametri di riferimento, allora usati, oggi si sono dimostrati non giusti. Con quest'altro lucido, corrispondente alla figura 7-2 allegata alla mia relazione, si può vedere quali potrebbero essere i parametri possibili per la costruzione del reattore. L'elio 3, al pari del trizio, non esiste in natura, deve essere prodotto in laboratorio. Questo isotopo si trova anche nelle rocce lunari: si tratterebbe di trasportarlo dalla Luna alla Terra. Ora, noi vorremmo « estrarlo » come sottoprodotto da un reattore al deuterio. A me dispiace che alla comunità italiana sia sfuggito questo aspetto della ricerca sui reattori più avanzati. I parametri per questo esperimento sono già stati analizzati a fondo; con i fondi necessari sarebbe senz'altro possibile iniziare la costruzione di questo reattore. Ovviamente, non abbiamo la certezza di poterlo realizzare.

Nel 1985, il Presidente del Consiglio dei ministri Craxi visitò il MIT. In quell'occasione, l'ex ministro per il coordinamento delle politiche comunitarie, onorevole Forte, comunicò ai rappresentanti americani che era intenzione del nostro Paese procedere con questo tipo di esperimenti. Gli Stati Uniti ci hanno dichiarato la loro disponibilità a collaborare a questi esperimenti, nel caso fossero seriamente condotti dall'Italia. Colgo l'occasione, per onorare la memoria dell'onorevole Mario Sassano, deputato del Parlamento europeo, laureato in ingegneria. Questi aveva ben compreso l'importanza degli esperimenti cui ho fatto cenno. A tale riguardo, l'onorevole Sassano aveva proposto, in sede comunitaria, una normativa per poter proseguire esperimenti veloci di tipo Ignitor con lo scopo di dimostrare la fattibilità di costruzione di un reattore a fusione. La conseguenza fu che D'Avignon, allora commissario della CEE, incaricò J. Adams, uno dei fondatori e direttori del CERN, di presiedere i

lavori di un « panel » (gruppo) per esaminare il programma Ignitor. Il panel Adams, che includeva due illustri colleghi americani, raccomandò che gli studi intrapresi si concludessero con la formazione di un gruppo di progetto in una sede unica e definitiva e si provvedesse a un forte incremento di stanziamenti. Tutto ciò è accaduto nell'inverno del 1983. Debbo dire, con molto rammarico, che alle buone intenzioni non è stato dato seguito. Perciò nell'agosto del 1984 un esperimento di questo genere fu presentato da me a Princeton – al riguardo guardate la figura B-1 allegata alla mia relazione – negli Stati Uniti. Vi fu subito una collaborazione americana e il conseguente inizio del progetto CIT che ho descritto prima. L'Italia è un paese privilegiato avendo un sito come Ispra; ci sono, tuttavia, altri paesi, come il Canada dove, a nord di Montreal, vi sono due reattori, uno funzionante, l'altro non più, dopo essere stato utilizzato per un anno. Questi reattori si prestano ad « ospitare » lo stesso tipo di esperimento di cui sto parlando. Quindi, i giapponesi hanno manifestato, in diverse occasioni, il desiderio di collaborare con noi. Anche da parte russa è stato espresso un costante apprezzamento per questa linea di lavoro. Gli esperimenti russi tipo Tokamak per molti anni non sono stati apprezzati in occidente, quindi, parlando della fusione, devo ricordare che ci sono voluti sette anni per convincere l'Occidente che gli esperimenti russi erano validi e rappresentavano un punto di avanguardia. Ho lavorato un anno a Trieste con alcuni dei migliori scienziati russi ed ho avuto la fortuna di essere il primo a sviluppare tecnologie che andassero al di là degli esperimenti russi con il programma Alcator.

I nomi di molte delle persone che hanno lavorato agli esperimenti tipo Alcator, che hanno fatto raggiungere obiettivi notevoli, sono italiani. Al progetto originario Ignitor ha collaborato un gruppo dell'università di Napoli, che ha proposto un'idea sulla struttura dei magnetici da adottare – considerata molto ardata, se

non azzardata – che poi è stata incorporata nel progetto finale. Quindi, esistono in Italia gruppi che hanno le necessarie competenze per sviluppare queste tecnologie. Una macchina tipo Ignitor, che permetta l'accensione, deve avere caratteristiche intermedie tra una macchina a plasma e un acceleratore. Si producono particelle molto veloci, che hanno energie elevate, all'interno di un plasma di temperatura relativamente benigna, cioè 100 milioni di gradi. Tali particelle eseguono orbite strane; guardate, al riguardo, la figura 4-5 allegata alla mia relazione. Per compiere questi esperimenti occorrono macchine con capacità di produrre; nel caso del deuterio-trizio, 3 megampère, nel caso deuterio-elio 3, 6 megampère. La tecnologia che abbiamo sviluppato permette di produrre grandi correnti e, quindi, di realizzare questo tipo di esperimenti.

Sono ora a disposizione dei componenti la Commissione per le eventuali domande.

PRESIDENTE. Passiamo alle domande.

GIANNI TAMINO. Vorrei innanzitutto chiedere alcuni chiarimenti prima in riferimento al progetto Ignitor e poi al progetto Candor. Per quanto riguarda alcuni aspetti generali di questo tipo di reattori, mi pare che certe questioni come quelle relative al bilancio energetico, al costo e alla commercializzazione futura non abbiano forse un significato immaginabile in termini commerciali. Sicuramente, hanno un'importanza notevole per la conoscenza del fenomeno; comunque, anche questo tipo di reattori, al pari dei Tokamak, mi sembra ponga il problema di un processo di fusione non continua. In sostanza, si tratta di vedere come sia possibile garantire un processo di produzione continuo. Per quanto concerne, invece, il discorso Candor, cioè la fase successiva, prendiamo in esame l'ipotesi deuterio-elio 3, visto che deuterio-deuterio risolve alcuni problemi ma non li elimina tutti.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Ne elimina uno molto grande, ma lo vedremo in seguito.

GIANNI TAMINO. Il problema principale è rappresentato dai materiali, dagli *stresses* termici e corrosivi che si verificheranno sulla prima parete del reattore e dalle condizioni estreme dei parametri di plasma necessari per raggiungere la reazione di fusione. Come pensa possano essere superati tali inconvenienti?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Dal punto di vista teorico, questi esperimenti non funzionano soltanto in forma impulsata (cioè non si accendono e si spengono); il primo esperimento volto ad indurre corrente in modo continuo, lanciando microonde, è stato effettuato dal MIT. Si tratta ancora di esperienze di tipo accademico. Esiste, anche senza lanciare microonde, in linea di principio, la possibilità che questi mantengano una corrente che si autosostenga. Alcuni esperimenti compiuti recentemente a Princeton, di cui hanno parlato anche i giornali, danno buone indicazioni a questo proposito. Ma supponiamo che non sia possibile; il motore a scoppio non è un motore continuo.

GIANNI TAMINO. È un problema di resa economica.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Sì; ma non è che io le prometta che questo sarà il reattore economico. Ma questo non è un ostacolo fondamentale. L'Ignitor – come tutte le macchine a confinamento magnetico e quelle a confinamento inerziale – ha questa possibilità di funzionamento. Se dunque non è possibile mantenere la corrente nel plasma in modo continuo, bisogna immaginare un sistema che funzioni in modo alternativo.

GIANNI TAMINO. Una delle osservazioni che vengono fatte è che, trattandosi di un processo pulsato, lo *stress* cui i

materiali sono sottoposti rende la durata di produzione di energia di gran lunga inferiore a quella che si avrebbe se il processo fosse continuo.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Se lei realizza un sistema di macchine compatte le quali possano alternare, è vero che ciascuna di esse può essere sottoposta a sforzi dovuti ai transienti, ma, nonostante il fatto che io non possa dirle, in buona fede, che non è vero che non esistano problemi associati con i transienti, non ritengo che questa sia un'obiezione fatale per questo tipo di concetto.

GIANNI TAMINO. La mia domanda si basava su una considerazione del professor Toschi, il quale aveva posto un tipo di problema di questo genere.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Abbiamo compiuto, al MIT, esperimenti che provano che iniettando corrente con microonde, la corrente si mantiene.

La macchina giapponese funziona in continuo e consuma pochissimo.

GIANNI TAMINO. È continua anche la produzione di energia...

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. No, quella è una macchina di confinamento.

GIANNI TAMINO. Qualora da questa si passasse ad un sistema di produzione (di neutroni, in questo caso, visto che siamo in un Ignitor) lo stato del plasma sarebbe, nella zona, ottimale? Non andrebbe sulle pareti in modo tale da rendere...

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. I neutroni veloci sono delle particelle che attivano i materiali e li degradano. Uno degli aspetti positivi del programma Ignitor è – se le cose vanno bene – quello di evitare gli inconvenienti.

Rispondo ora all'altra domanda postami dall'onorevole Tamino. Se si ha il deuterio-trizio, si hanno questi neutroni poco desiderabili. In più, mentre il deuterio viene estratto dall'acqua del mare, all'interno della macchina – che può essere immaginata come una macchina con dei magneti enormi – bisogna applicare il cosiddetto « mantello di litio », in cui vengono depositati i neutroni, che viene riscaldato e che deve produrre il trizio. Ciò comporta delle complicazioni molto grosse. In più, bisogna aumentare le dimensioni e, quindi, peggiorare la qualità della macchina e la qualità degli investimenti. Noi pensavamo a questi sistemi quando non sapevamo della possibilità di passare ai reattori a deuterio. Pertanto, se si evita il reattore a trizio si guadagna per il fatto che si ha bisogno soltanto di uno schermo e non di un sistema che produca il combustibile.

GIANNI TAMINO. Però l'osservazione che lei ha fatto è che comunque si avrebbe tutto lo *stress* termico e tutta la corrosione sulla prima parete del reattore.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Non voglio minimizzare questo problema, voglio dire che questo caso non è migliore né peggiore di quello del reattore a deuterio-trizio.

GIANNI TAMINO. Si migliora da una parte, ma si creano problemi dall'altra.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Non sono completamente d'accordo. Direi piuttosto che tutte queste cose vanno quantificate costruendo gli esperimenti. Nel reattore a deuterio si producono delle particelle veloci che possono essere estratte ed utilizzate per produrre energia in modo diretto.

GIANNI TAMINO. Per quanto riguarda i parametri necessari, abbiamo, invece, delle condizioni estreme.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Su questo punto devo essere veramente molto « cattivo ». Non so perché in Italia non sia noto che abbiamo fatto questa scoperta. Quando si giudica la difficoltà di un esperimento bisogna usare i parametri cosiddetti « adimensionali », quelli che consentono – per fare un esempio – di paragonare le arance con le arance e le mele con le mele. Se si deve realizzare un reattore ad elio-3 o a deuterio, è necessario che questo funzioni a densità più elevate. Quando si ha un plasma a densità elevata, i suoi parametri sono più favorevoli, nel senso che il funzionamento deve avvenire a temperatura più alta ma a densità più elevata; e questo compensa le difficoltà.

GIANNI TAMINO. Sì, però il problema è di arrivare intanto...

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. No. Se si fa un reattore a trizio, si usa il trizio come miccia. Il problema che si presentava prima era dato dal fatto che non era possibile ottenere queste grandi pressioni. Successivamente, abbiamo fatto questa scoperta, che tuttavia è ancora ignorata dagli enti ufficiali italiani i quali non sono al corrente di questo problema. Che, poi, questa scoperta teorica venga in realtà confermata dagli esperimenti non si può dire fino a quando gli esperimenti non vengono fatti, però, il valore di esperimenti con combustibile che imita il trizio è tale che, guardando in retrospettiva, riconosco che io stesso avrei dovuto cominciare a fare propaganda a questo concetto molto prima di tale scoperta. Dalle obiezioni che sono state espresse in Italia su tale punto devo evincere che non è stata consultata la letteratura in materia.

GIANNI TAMINO. E i protoni non possono comportare, a loro volta, una qualche attivazione?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. I protoni hanno una proprietà molto bella ed è quella di poter essere guidati con campi elettromagnetici, al contrario dei neutroni. I neutroni hanno il vantaggio di potere penetrare attraverso tutto, cosicché è possibile depositare la loro energia in un grande volume. I protoni vanno guidati, cosicché la loro energia viene depositata dove si vuole depositarla. Questo potrebbe presentare dei problemi. Il grande sogno di Sacharov e di tutti noi era quello di non fare i reattori a trizio.

PRESIDENTE. L'onorevole Giovannini intende porre talune domande al professor Coppi.

ELIO GIOVANNINI. Faccio una certa fatica a seguire gli elementi dell'esposizione del professor Coppi, al quale pertanto chiedo scusa se insisto su tre questioni che non mi sono chiare. Il professor Coppi ha insistito a lungo sulla validità dell'esperimento di Kyushu...

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. È una tecnologia più che un esperimento.

ELIO GIOVANNINI. Da quel che ho capito - ma vorrei essere corretto se ho capito male - si tratta di un esperimento condotto sulla base dell'Alcator, in cui l'elemento di novità è rappresentato non tanto dal passaggio da un combustibile ad un altro quanto dall'utilizzazione di materiali...

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Ho capito perfettamente la questione. Ho detto questo dopo aver sentito dire che l'Ignitor avrebbe bisogno di essere realizzato ad Ispra e che consuma tanta potenza. Non è che consumi. La prendiamo in prestito dalla rete. Se, invece di utilizzare dei materiali non superconduttori, si fa un esperimento con i superconduttori si con-

suma una potenza molto bassa. Lo dico per sfatare ancora una volta l'idea che sviluppiamo una tecnologia che non va avanti.

PRESIDENTE. Anche perché al fondo del quesito vi è il problema del bilancio energetico positivo.

ELIO GIOVANNINI. Il professor Coppi ha detto che vi sono una tradizione ed una mentalità militari le quali ci portano a concepire grandi progetti con grandi costi, mentre il problema è quello di avere coscienza che la dimensione dei costi può essere commisurata in forme diverse. Può il professor Coppi darci un'idea dei costi che egli riterrebbe assumibili qualora si decidesse di rendere operativo quest'ordine di esperimenti?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Lasciamo stare il caso dell'Ignitor, le darò i costi dell'Alcator; spero che qualcuno di loro mi faccia visita al MIT per vedere quanto siano modesti questi esperimenti. Dell'Ignitor darò una stima di tipo industriale (con costi maggiori) ed una stima mia personale. Fornirò a questa Commissione entrambe le stime, ma il problema cui desidero accennare non riguarda tanto l'Ignitor quanto lo spirito con cui possono fare di queste cose. In altre parole, nella fase iniziale a Los Alamos creammo un volano di personale e di interesse alle cose « grandi », facendo pensare che la scienza potesse andare avanti soltanto tramite grandi investimenti e tempi molto lunghi. In realtà, la scienza è fatta da gente che sta nascosta nei suoi « monasteri », che compie un lavoro molto umile e spesso su basi sbagliate. Ho avuto modo di dimostrare, con un po' di « arroganza » che, in realtà, progressi molto grandi possono essere compiuti grazie ad un lavoro umile ma sistematico. L'impresa di *Voyager 2* e la tragedia dello *Shuttle*, il cui programma è stato sviluppato con costo e spirito molto diversi, sono un chiaro esempio di quanto ho appena detto. Dietro l'impresa del

Voyager c'era un manipolo di dilettanti armati di buona volontà. Quello che voglio dire, in altre parole, è che la ricerca è fatta di cose umili.

ELIO GIOVANNINI. Se il Parlamento italiano decidesse di finanziare immediatamente la costruzione di una macchina tipo l'Ignitor, tenendo conto di tutto quello che è successo, a quale valore di grandezza dovrebbe far riferimento per gli investimenti necessari?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. La stima industriale che qui posso fare è intorno ai 25 miliardi annui, per cinque anni.

PRESIDENTE. Qualche nostro interlocutore ci ha riferito che gli Stati Uniti avevano idea di sviluppare una ricerca per un importo complessivo di 370 milioni di dollari. Il bilancio federale offriva un contributo molto più modesto, circa 200 milioni di dollari. Questo è stato il motivo per cui la ricerca non si è più sviluppata negli Stati Uniti. Lei cosa può dirci di ciò, con riferimento a quella che potrebbe essere la situazione italiana?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Desidero sottolineare come sia stata data una linea-guida per evitare altre deviazioni, verso programmi di costo elevato senza corrispondente contenuto scientifico, dal programma di ricerca sulla fusione. Si è detto che questo esperimento non dovrebbe superare una spesa di 300 milioni di dollari. Poiché il maggior laboratorio degli Stati Uniti che desidera ospitare questo esperimento si trova a Princeton, ciò comporterebbe una spesa superiore a quanto previsto in Italia. Due sono i motivi di questa differenza. Innanzitutto, a Princeton non esistono il sito e l'infrastruttura per un reattore quale è quella già pronta ad Ispra; non esiste un nodo di linee elettriche con la potenza necessaria per alimentarlo. Inoltre, nel laboratorio di Princeton non si è sicuri di poter far funzionare un reattore al trizio. In-

fine, il gruppo dirigente di Princeton avrebbe intenzione di aggiungere altre « appendici » all'esperimento che finirebbero con l'appesantire l'intera operazione. Questo è il motivo principale per cui occorrono maggiori fondi.

ELIO GIOVANNINI. Se ho ben capito, lei ha detto che se in Italia dieci anni fa fosse stata sperimentata la macchina Ignitor, oggi potremmo già contare su un'energia di almeno 100 megawatt di potenza prodotta da reazioni di fusione. In altre parole, lei ha stabilito un lasso temporale di dieci anni tra la decisione operativa di costruzione della macchina e il funzionamento di un piccolo reattore dimostrativo?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Esatto, onorevole Giovanni, ma non occorrono dieci anni per questo esperimento. Circa undici anni fa scrissi un articolo su questa materia. Ho parlato della produzione di una certa potenza (100 megawatt), più che altro per sottolineare come spesso la stampa si soffermi sull'energia prodotta da fusione come su una vicenda mitica, molto lontana. La macchina di cui ho parlato ha la proprietà di creare molti neutroni. Anche se l'esperimento non dovesse svolgersi secondo le previsioni e produrre il processo completo di accensione, è sempre possibile utilizzare i neutroni liberati per produrre plutonio. È stata considerata dall'industria non italiana la possibilità di usare queste macchine per produrre plutonio da utilizzarsi successivamente, soprattutto in considerazione del fatto che le risorse di uranio non sono inesauribili. Dirò di più: si poteva fare un esperimento ancora più elementare della costruzione della macchina Ignitor, in questo campo, ma non l'abbiamo mai fatto. L'idea che la fusione è una forma di energia nucleare da acquisire con esperimenti in cui vengano prodotte le relative reazioni su larga scala e da controllare è un qualcosa che ha trovato sempre resistenze.

ALESSANDRO TESSARI. Penso che non sia facile per noi, al termine di questo primo rapido quadro sulla questione specifica dell'energia da fusione, avere una panoramica completa sulla materia. Le ultime vicende hanno avuto una eco profonda nell'opinione pubblica e da più parti, compresa quella scientifica, si è cercato di far fronte al problema energetico senza ricorrere ad alcuna enfattizzazione del problema stesso e, soprattutto, della energia da fissione nucleare. I dati che personalmente ho acquisito non mi consentono, nemmeno in vista dell'imminente conferenza nazionale sull'energia, di compiere una serena valutazione della problematica. Professor Coppi, ho notato un qualcosa di *naïf* nella sua esposizione. Nel suo discorso ho avvertito una corretta componente polemica, anche se garbata; infatti, lei non è sembrato essere soltanto il miniaturizzatore della fusione: se possiamo usare questo termine, lei è praticamente il « padre » della fusione. Lei – fra coloro che si sono applicati per concretizzare questo progetto – rappresenta certamente un punto di riferimento internazionale.

Non so se grossi complessi militari-industriali abbiano frapposto nei confronti dell'energia da fusione schermi tali per cui noi ci continuiamo a chiedere – sempre più smarriti – se l'eventuale energia prodotta possa essere dell'ordine di 50 o 100 megawatt. Lei, con un candore tutto *naïf*, ci ha detto che non è un problema di lasso temporale l'ottenere risultati concreti dagli esperimenti di cui si è parlato. È, in realtà, un problema – come lei ha affermato – che si poteva porre e risolvere 20 anni fa! Una considerazione del genere, ovviamente, comporterebbe un ribaltamento di molte nostre categorie mentali. Non credo che il suo invito alla Commissione abbia un carattere pleonastico, anzi, al riguardo, richiamo l'attenzione del presidente della Commissione sull'opportunità di compiere un sopralluogo nel centro MIT e di altri siti analoghi. Nei prossimi anni, avremo davanti a noi ancora questo angoscioso dilemma, se

cioè la fusione rappresenti o meno una delle grandi « carte da giocare » nel campo dell'energia nucleare. In questo momento le confesso che sono un avversario delle scelte facili in senso nucleare; anch'io ero molto entusiasta della fusione, qualche anno fa: oggi che l'entusiasmo è così orchestrato ed organizzato, comincio ad essere un po' diffidente, perché non mi è facile vedere l'approdo. Ci sono elementi concreti su cui vorrei una sua ulteriore delucidazione: lei ha parlato di una sintonia con il professor Rubbia, ma Rubbia, proprio in questa sede, ha ritenuto pericolosa – lui che ha detto che con il nucleare tradizionale dovremmo convivere nei prossimi venti-trent'anni – la logica del *Superphoenix* e di altre macchine del genere. Lei, professor Coppi, ci dice che le macchinette Ignitor, se non altro, se falliscono dal punto di vista energetico, servono a produrre plutonio.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Non ho ceduto la macchina per questo!

ALESSANDRO TESSARI. Le domando, allora, se questa strategia, temuta da Rubbia, non « rientri dalla finestra », cioè se lei non sia il fabbricante ingenuo di una macchina che in realtà verrà usata dal colosso militare ed industriale.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Sono molto contento che lei abbia affrontato questo tema.

ALESSANDRO TESSARI. Si tratta di semplici riflessioni, anche perché devo confessare di avere idee abbastanza approssimative su questa materia, e ritengo che nei prossimi mesi la Commissione avrà necessità di riascoltare tutti gli esperti intervenuti a questo ciclo di audizioni, nonché di allargare le sue conoscenze a quelle comunità e gruppi di scienziati che in Giappone, a Culham e così via portano avanti il discorso su diversi fronti.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. La miniaturizzazione non serve soltanto per fare le cose piccole: in realtà, negli esperimenti compatti, ad alto campo, vi è parametro che dimostra che facendo le macchine compatte di un certo tipo si guadagna nella *performance* in assoluto. Non si tratta di un'ossessione di fare cose piccole, il fatto è che i plasmi densi prodotti da queste macchine hanno una caratteristica di pulizia molto più avanzata. In sostanza, vi è un motivo fisico intrinseco. Di reazioni di fusione ne esistono diverse, ma dobbiamo cercare di realizzare quelle che presentano meno pericoli. È stato stimato, non da me, che anche il reattore più cattivo, al trizio, se capitasse un incidente, sarebbe ben lontano dal contaminare l'ambiente come avverrebbe con il reattore a fissione, quindi il reattore a fusione può risolvere un grosso problema.

Per quanto riguarda la possibile utilizzazione per produrre plutonio, ritengo si tratti di una responsabilità morale che dobbiamo accollarci. Dovremmo evitare di costruire reattori a trizio, se possibile, ma il fatto che, con la scoperta dell'energia nucleare, sia stato offerto questo mezzo terribile per produrre materiali che si prestano ad usi non pacifici, è qualcosa che scarica su di noi una responsabilità morale per la quale non ho una soluzione. Addirittura, potrebbe avvenire che il ricercatore che si occupa dell'esperimento abbia interessi personali e culturali diversi da quelli di chi ne controlla i finanziamenti, che venga estromesso dagli esperimenti e che questi ultimi vengano presi in mano da persone che non hanno la stessa sensibilità. Quindi, per la fusione occorre un « supplemento d'anima », bisogna fare in modo che i neutroni veloci non vengano utilizzati per produrre certi materiali. Posso impegnarmi, a livello personale, ad utilizzare questi esperimenti soltanto a fini di ricerca. Ho già illustrato il problema delle industrie, in riferimento allo spirito di far le cose in grande. Come si può controllare questo fenomeno?

ALESSANDRO TESSARI. La mia parte politica per anni ha tentato di tagliare tutti gli stanziamenti che passano attraverso le scelte del nostro Parlamento e della nostra Commissione in direzione dei grossi progetti nucleari. Oggi, dopo Chernobyl, vi è una diffusa tendenza ad essere prudenti in riferimento a questi grossi progetti. Per converso, proprio perché non si vogliono perdere conoscenze ed informazioni ad un certo livello sulla ricerca nucleare, se proprio si deve ridurre sul fronte della fissione, almeno si cerca di mantenere ed allargare il fronte della fusione. Ho l'impressione che nei prossimi anni vi saranno grossi stanziamenti in direzione della fusione e sarà importante essere oculati nella canalizzazione di questi grossi flussi.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Questo potrebbe risolversi in un disastro, perché così lei attira proprio le persone più pericolose.

ALESSANDRO TESSARI. Si tratta di un problema per noi molto delicato.

GIANNI TAMINO. Anche perché non è l'aumento dei fondi, come è stato detto, che agevola necessariamente il raggiungimento dell'obiettivo.

ALESSANDRO TESSARI. In un certo senso, alla luce di quanto ha detto, mi sento in colpa per aver proposto, in tempi recenti, consistenti dilatazioni degli stanziamenti dei programmi per la fusione. Lei ci ha messo di fronte ad alcune difficoltà. Ci troviamo a dover convivere con un paradosso, nel senso che siamo costretti ad affrontare il problema e a non trovare una garanzia *a priori* di uscire per questa via da ulteriori contraddizioni.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Il problema è come investire nella ricerca: come fa lei a capire, stando al di fuori di un « monastero », quale sia il « monaco » che prega

meglio? Si tratta di una questione delicata, ma credo sia necessario coinvolgere l'università, con tutti i difetti che essa ha e che si conoscono bene, perché per dare respiro ad un campo di ricerca è essenziale che vi sia una dialettica.

GIANNI TAMINO. Senza segreto militare?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Né, sulle grandi linee, industriale.

GIANNI TAMINO. Certamente, ma deve esservi una dialettica e, quindi, bisogna evitare che il lavoro svolto nelle università sia non sottoponibile al controllo della comunità scientifica.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. La costrizione è più sottile. Ho usato la parola « militare » forse in modo eccessivo. In realtà, i condizionamenti che si possono avere vanno al di là della sfera militare. Quando vi sono dei grossi stanziamenti si è condizionati e non è necessario che vi siano grandi interessi militari perché questo accada.

PRESIDENTE. L'onorevole Grassucci intende porre talune domande al professor Coppi.

LELIO GRASSUCCI. Lei, professor Coppi, ci ha detto poc'anzi che in Italia è possibile mettere insieme gruppi di ricercatori che possano portare avanti questo progetto. Poi, ci ha dato tre indicazioni. La prima indicazione è che, per accelerare questo progetto occorrerebbero tre macchine Ignitor che lavorino in parallelo.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. No. Posso rettificare un poco l'impressione sbagliata che ho dato. Ho detto che in Italia, a questo punto, siccome abbiamo sviluppato per primi queste idee, potremmo inserirci con qualcosa di molto valido in

queste iniziative di collaborazione tra Est e Ovest. Vi sono varie forme. La più estrema che si possa considerare è quella di essere noi — siccome sappiamo costruire questi reattori — a costruirli. In tal modo possiamo dare — essendo pagati, naturalmente — tre strumenti a tre « suonatori » diversi perché li suonino come vogliono. Questa, però, è una proposta estrema. Vi sono altre forme. Varie persone non sono d'accordo su questa mia proposta.

LELIO GRASSUCCI. Una proposta, tra quelle da lei fatte, è indispensabile, ed è quella della realizzazione del reattore ad Ispra.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Certamente, ma temo che uno non sia sufficiente. Infatti nel 1971 sostenni, a chi faceva obiezioni, che sarebbe stato utile avere una macchina a Frascati ed una al MIT anche se dello stesso tipo. I fatti poi confermano la validità di questa opinione.

LELIO GRASSUCCI. Se non fosse possibile realizzare il processo di inserimento in questa collaborazione tra le grandi potenze, comunque converrebbe realizzare una macchina ad Ispra.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Certamente, prima di tutto per le tecnologie che si sviluppano. Le faccio un esempio. Questi esperimenti emettono grandi quantità di raggi X. Orbene, l'astronomia a raggi X, sviluppata da un gruppo diretto dal professor Rossi, ha prodotto i primi apparecchi di controllo dei bagagli che oggi sono in funzione negli aeroporti. Dunque, si mettono in moto una serie di tecnologie e di competenze che interessano immediatamente una comunità di piccole e grandi industrie. Si tratta, secondo me, di un investimento fortemente positivo.

LELIO GRASSUCCI. La seconda indicazione è quella di realizzare una collaborazione con gli USA.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Sì.

LELIO GRASSUCCI. In questo senso, quale rapporto vi è tra quello che si sta realizzando a Frascati e... In altri termini, potrebbe una tale collaborazione consentirci questo progresso?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Sì. Quello è uno. Poi, vi sono diversi gruppi in Italia i cui interessi scientifici convergono su questo esperimento. Lo stesso Rubbia è interessato alle applicazioni per la fusione dei *lasers* a elettroni liberi che intendiamo adottare. Vi è, insomma, una comunità in Italia. E questo è un requisito per collaborare in condizioni di parità.

LELIO GRASSUCCI. E vi sono dei collegamenti con la vicenda del « progetto SDI »?

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Certamente; lei sa che lo sviluppo di questo tipo di *laser* ha beneficiato degli stanziamenti per le « guerre stellari ». Infatti, noi portiamo l'Alcator C a Livermore perché un amico che aveva lavorato con me al MIT ha proposto di usare il loro *laser* ad elettroni liberi, sviluppato con altri fondi, per riscaldare il plasma prodotto da questi esperimenti.

LELIO GRASSUCCI. Come terza indicazione lei poneva l'esigenza di una collaborazione con i giapponesi nel campo dei magneti ibridi.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. E dei superconduttori ad alto campo.

GIANNI TAMINO. Bisogna che anche i giapponesi siano disposti a collaborare con noi.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Alcuni anni fa, i giapponesi erano interessatissimi. Un rappresentante della Hitachi era venuto in Europa e desiderava moltissimo parlare con i dirigenti della Brown Boveri che avevano lavorato con noi. Vi sono, poi, delle questioni commerciali. Non si è ancora appurato quale sia la disponibilità dei giapponesi a livello di rapporti industriali, anni fa, essa c'era. Lei sa che vi sono questioni commerciali sulle quali non posso fare commenti. Dico, a titolo personale, che i giapponesi sono contentissimi – almeno con me – di lavorare insieme.

LELIO GRASSUCCI. In realtà, quali motivi hanno determinato un ritorno di attenzione verso la linea di ricerca sulla fusione a campo inerziale? In questo senso abbiamo fatto molto poco. Siamo abbastanza consapevoli della necessità di accentuare lo sforzo anche in tale direzione, però non riesco a comprendere i motivi di questo risveglio.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. Bisogna andare un po' indietro nel tempo. Va detto anzitutto – rendendo onore alla memoria di un caro amico e collega, il professor V. Ascoli-Bartoli, che aveva lavorato con me al MIT ed era stato uno dei pionieri in questo campo – che in Italia vi è una tradizione ottima in tale settore. Alcuni anni fa, negli Stati Uniti fu analizzato nuovamente questo programma e si capì che, sull'onda dell'entusiasmo iniziale, i ricercatori avevano sottovalutato il fatto che il comportamento di un plasma non è come quello di un gas e che esistevano complessi problemi sia di fisica che di tecnologia. La conclusione di quelle analisi fu che la fusione inerziale non aveva prospettive, a termine relativamente breve, di poter essere utilizzata per produrre energia. Pertanto si decise di porla nel bilancio di ricerca militare (anche perché era un modo per fare avere risorse

finanziarie in un campo che si sviluppa lentamente). Lei sa bene che l'interesse per questo consiste nel fatto che, se un domani vi fosse un accordo sulle esplosioni, si potrebbero in tale modo simulare le stesse in laboratorio. Le persone che lavorano in questo campo sono persone di valore scientifico. Vi sono stati dei progressi, ma tuttora vi è un problema ed è che non solo occorre che siano realizzate le condizioni di confinamento e di temperatura, bensì occorre anche che sia inventato un sistema che permetta alla pallina di materiale reagente di essere compressa e scaldata in modo efficiente. Ciò presenta problemi ancora gravi. Come vi ho fatto vedere - non è certo per voler esser arroganti - noi possiamo costruire, con pochi fondi, una macchina a confinamento magnetico che può cominciare a bruciare subito. Ora, invece il problema di avere un « driver » efficiente, che serve a far implodere e ad accendere le palline di deuterio-trizio, pone ancora problemi piuttosto seri. Però io sono ottimista anche su questo e credo che anche questi problemi potranno essere risolti.

PRESIDENTE. Grazie ancora a nome di tutta la Commissione, professor Coppi, per il contributo che ha voluto dare alle nostre conoscenze e mi auguro, soprat-

tutto, di contribuire, insieme con i colleghi, a far uscire il nostro paese da una sorta di incertezza che lei mi sembra aver assegnato perfino alle ultime decisioni assunte in sede comunitaria in ordine all'Ignitor.

BRUNO COPPI, *Docente del Massachusetts Institute of technology*. La ringrazio.

PRESIDENTE. Credo sia doveroso da parte nostra fare in modo che qualunque possibilità più diretta del nostro paese di contribuire alla soluzione dei suoi problemi - ma sempre nel contesto della comunità scientifica internazionale - trovi udienza adeguata. Abbiamo svolto questa indagine conoscitiva proprio per portare fuori dalle linee non sempre convergenti, che, purtroppo, caratterizzano il mondo accademico, un problema su cui credo possiamo dare un contributo, quantunque modesto, affinché sia posto in maniera più adeguata all'attenzione del paese. Le sono molto grato per il suo contributo e per la sua disponibilità e mi auguro - pur non potendo assumermene l'impegno, come vorrebbe l'onorevole Tessari - di raggiungerla al più presto al MIT.

La seduta termina alle 19,30.