

**2**

**SEDUTA DI MERCOLEDÌ 26 NOVEMBRE 1986**

**PRESIDENZA DEL PRESIDENTE MICHELE VISCARDI**

PAGINA BIANCA

### La seduta comincia alle 9.

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

(È approvato).

AUDIZIONE DEL PROFESSOR ROMANO TOSCHI, DIRETTORE DEL PROGETTO NET (NEXT EUROPEAN TORUS).

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 Romano Toschi, direttore del progetto NET (*Next european torus*). Nel ringraziare il professor Toschi per la disponibilità dimostrata nell'aderire all'invito della Commissione, desidero ricordare che sulle questioni che si pongono ci attendiamo dalla sua competenza elementi di valutazione di particolare rilievo, dal momento che egli è impegnato sul fronte più avanzato degli studi sulla produzione di energia attraverso la fusione nucleare, cioè il confinamento magnetico. Avverto i colleghi che il professor Toschi ha predisposto una relazione che sarà pubblicata con le altre presentate nel corso delle audizioni; le tavole a corredo di questa audizione saranno allegate al resoconto stenografico della seduta odierna. Cedo ora la parola al nostro ospite.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Ringrazio per l'invito della Commissione e ritengo utile

preliminarmente, nella mia esposizione, descrivere il NET che rappresenta, al momento, il progetto più completo di un prototipo di reattore a fusione.

Nella figura 1 (allegata al resoconto stenografico) si può vedere il NET (*Next european torus*) cioè il progetto del quale ci stiamo occupando al Max Planck Institut di Garching. In questo istituto, infatti, sta lavorando un gruppo di scienziati e ingegneri i quali devono progettare la prossima macchina che ha tutte le caratteristiche di un reattore. Analizzando i disegni, si possono notare l'anello di plasma, il mantello nel quale si raccoglie l'energia e si produce il combustibile, lo schermo e i magneti. Il tutto è collocato all'interno del criostato perché i magneti sono superconduttori e devono stare a temperature molto basse.

Se ci domandiamo quali problemi devono essere affrontati per farne un reattore, dobbiamo ricordare i principali requisiti: sicurezza, economicità, accettabilità del tipo di servizio offerto (ad esempio, una macchina pulsata crea problemi ad un utilizzatore elettrico), nonché dimensione minima. Questi sono i requisiti generici di un reattore. Venendo in particolare a considerare i problemi di un reattore a fusione, occorre anzitutto affrontare quello della densità di potenza: per esempio i megawatt prodotti per ogni tonnellata di materiale impiegato, è relativamente bassa (rispetto ai reattori a fissione) e ciò può incidere negativamente sulla economicità. Un altro problema riguarda la vita dei componenti. Più alta è la densità di potenza e più compatta è la macchina, più breve è la vita dei componenti. Occorre, pertanto, ricercare un compromesso tra questi due fattori.

Questo compromesso dovrà tenere conto dell'esigenza di continuità di servizio e di sicurezza passiva: quest'ultima, come dirò tra breve, favorisce le macchine non compatte. Anche a prescindere da questi fattori, gli studi finora condotti portano alla conclusione che non vi è un incentivo economico apprezzabile all'aumento della densità di potenza. Le stime dei costi dell'energia prodotta mediante fusione sono ovviamente estremamente incerte: applicando modeste estrapolazioni alla fisica e tecnologia odierne, si giunge a costi pari a due-tre volte quelli dell'energia nucleare da fissione.

Dopo la densità di potenza viene l'importante problema della durata della reazione. Il sistema da noi studiato, il Tokamak, è inerentemente un sistema impulsato trattandosi in sostanza di un trasformatore. Considero estremamente importante riuscire a realizzare un funzionamento stazionario; dobbiamo cercare di rendere continua la corrente che circola nel plasma e lo tiene in posizione. Se oggi tracciamo un disegno di reattore, a meno che non sia enormemente grande, si ricava che *grosso modo* può avere un impulso di alcune ore, dopo di che deve interrompersi. Poiché tale funzionamento probabilmente è ancora inaccettabile, sono in corso di studio sistemi per rendere la macchina stazionaria usando onde elettromagnetiche. Non siamo ancora soddisfatti, poiché i rendimenti sono ancora bassi; siamo tuttavia sulla strada che ci condurrà ad una soluzione.

Vengo ora a trattare il punto dell'ignizione, argomento che, non a caso, non ho posto per primo. L'ignizione consiste nell'accensione della reazione di fusione. Non l'ho collocata per prima perché ho pensato che parliamo di prospettive di un reattore, e siccome essa è più facile nelle macchine a grande potenza non dovrebbe essere un problema serio in un reattore. La condizione di ignizione si raggiunge quando la potenza associata alle particelle che vengono fuori dalla reazione di fusione (cioè le particelle alfa) è uguale a quella che si perde verso le pareti. Il plasma tende cioè a raffreddarsi, e come

in una normale combustione noi dobbiamo perciò continuare a compensare le perdite verso l'ambiente con l'energia che si sviluppa nella reazione del combustibile. La condizione di ignizione si esprime con una relazione molto semplice; si deve far sì che il prodotto della densità del plasma per il tempo di confinamento (cioè la caratteristica per cui il plasma tiene l'energia) e per la sua temperatura abbia un certo valore. Il tempo di confinamento e il tempo caratteristico con cui si raffredda il plasma.

Tra le altre cose, mi è stato chiesto quali sono i problemi già risolti in proposito, e quelli ancora in attesa di soluzione. Devo dire allora che il primo problema che ci poniamo oggi è quello di scaldare il plasma. In proposito, vorremmo avere quelle che noi chiamiamo leggi di scala, cioè una relazione che ci permettesse di stabilire che, costruendo una certa macchina, questa sia poi capace di accendere il plasma e di mantenerlo acceso: perciò occorre conoscere una relazione tra certi parametri fisici e certi parametri di ingegneria. Ci sono varie leggi di scala, e la conclusione è che, se prendiamo un reattore con le dimensioni che dovrebbe avere, quasi tutte le leggi di cui oggi disponiamo vanno bene, cioè il reattore ignisce. Il problema è che noi vogliamo che ciò succeda anche in esperimenti, e vorremmo che si riuscisse a conoscere questa legge di scala tanto bene da non sprecare gli sforzi, in modo da fare quello che serve, non molto di più.

Vengo ora a illustrare i risultati oggi raggiunti a proposito della temperatura e del tempo di confinamento. Nelle figure nn. 2 e 3 (allegate al resoconto stenografico), dove figurano gli anni e i progressi fatti, si deve notare il costante progresso e la competitività delle ricerche europee. Nella figura 4 (allegata al resoconto stenografico) è riportato il fattore di merito globale (cioè  $nT\tau$ ) e si può quindi apprezzare quanto ci separa dal raggiungimento dell'ignizione (la curva  $P\alpha/P_{loss} = 1$ ). Migliorando i risultati di JET di un fattore tra 20 e 30 si raggiunge l'ignizione. Le macchine ad alto campo magnetico do-

vrebbero migliorare le loro prestazioni di un fattore maggiore di 1.000 per raggiungere l'ignizione.

ALESSANDRO TESSARI. I giapponesi ed i sovietici come si collocano in questi diagrammi ?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european tours)*. I sovietici, in relazione alla figura 4, si collocano nella posizione individuata dal punto T-10, quindi piuttosto arretrata. Essi ci hanno insegnato il modo di procedere, ed il 1969 è stato il periodo in cui veramente c'è stata una rottura con il passato, e da lì sono partiti il programma europeo e quello americano. Però l'Europa e gli Stati Uniti sono poi riusciti a fare più macchine, e con migliori prestazioni, che non l'Unione Sovietica, che successivamente a quel periodo ha un po' rallentato la sua attività. Per quanto riguarda i giapponesi, la loro grande macchina di questo tipo è entrata in funzione solo recentemente; nella figura 4 essi si collocano nella posizione individuata dal punto JT-60.

LELIO GRASSUCCI. Cosa può dirci della notizia, pubblicata ieri su *la Repubblica*, a proposito della macchina giapponese ?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european tours)*. Per la verità, non ho letto *la Repubblica*, ma posso dire che i giapponesi hanno attivato la loro macchina che funziona benissimo, e rappresenta un impianto tutto fatto dall'industria (questo anzi potrebbe essere un interessante argomento di discussione), e quindi hanno iniettato una grande quantità di potenza. Questa macchina è ancora ben lontana dal raggiungere il giusto livello per quanto riguarda il tempo di confinamento; si sono raggiunti buoni risultati con riferimento al riscaldamento, ma si è appena all'inizio. Ricordo che il congresso si teneva in Giappone, per cui erano ovviamente importanti le notizie del paese ospite.

Il JET è in fase evolutiva, nel senso che può fare molto di più di quanto fa oggi, e questa è la nostra speranza con riferimento ai risultati da raggiungere con il NET. Gli americani si trovano in una posizione sfasata all'indietro, rispetto a noi: sono partiti prima con la macchina TFTR, la quale è però meno capace. Essi quindi hanno meno probabilità di noi di raggiungere i risultati di cui tra poco parlerò. È questo il motivo per cui essi vogliono costruire al più presto un'altra macchina, detta CIT, perché altrimenti verrebbero presto distaccati dall'Europa.

Tuttavia l'Europa potrà mantenere la *leadership* nel medio termine passando direttamente dal JET al NET che fornirà la dimostrazione globale della fattibilità della fusione, senza bisogno di un esperimento intermedio come il CIT. Nella figura 4, il punto JET(89) rappresenta per noi europei il livello dove pensiamo possa giungere il JET quando saranno attuati i miglioramenti, le modifiche e gli aumenti di potenza allo studio. Se arrivassimo a questo traguardo, potremmo partire con la costruzione della prossima macchina tra il 1990 e il 1993. Se faremo questo, che cosa succederà? Nel « cuore » del JET si avrà un processo molto vicino all'ignizione ed a noi interessa comprendere la fisica di un plasma vicino alla ignizione il più presto possibile.

Ci interessa molto di più studiare il riscaldamento nucleare in condizioni applicabili al NET e quindi ad un reattore, che non fare, nel migliore dei casi, una dimostrazione con limitate possibilità di sperimentazione e quindi di comprensione ed in condizioni lontane da quelle reattoristiche.

ALESSANDRO TESSARI. Scusi, professore, di che tipo è la macchina in funzione a Frascati ?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european tours)*. Sono tutte del tipo Tokamak ed hanno la stessa struttura. Avuto riguardo alle dimensioni, v'è da domandarsi se sia migliore una macchina grande a basso campo magnetico

oppure una macchina piccola ad alto campo magnetico. Senza entrare in dettagli posso affermare che nelle figure di merito — che sono proprio le leggi di scala che ancora non conosciamo bene e che vorremmo capire — entra sia il campo magnetico sia la dimensione geometrica. La linea scelta a Frascati — ho diretto il laboratorio di Frascati fino a pochi anni fa — fu quella dell'alto campo magnetico, in quanto ciò avrebbe permesso l'effettuazione di esperimenti di fisica di base competitivi con dimensioni ridotte. L'Europa, con il JET, scelse una linea diversa. La differenza qual è? In una proiezione reattoristica il JET è più rilevante perché tecnologicamente estrapolabile, mentre la linea di Frascati presenta delle incognite. Da tre anni a Garching stiamo progettando una macchina a campo medio ed i problemi tecnologici che dobbiamo risolvere sono serissimi. È estremamente difficile, se non impossibile, risolvere i problemi di una macchina con densità di potenza maggiore, che sia estrapolabile ad un reattore. Gli Stati Uniti (che, ripeto, sono sfasati all'indietro rispetto a noi) hanno deciso di costruire una macchina a campo abbastanza alto come fase intermedia, con obiettivi fisici limitati e nessuna pretesa di affrontare problemi tecnologici di interesse reattoristico. Infatti se non dimostriamo che la reazione può raggiungere uno stato stazionario, che noi ci aspettiamo dopo alcune centinaia di secondi, la dimostrazione della fattibilità scientifica non sarà completa. Per questo è necessaria una macchina tipo NET: le macchine compatte come il CIT non possono produrre una scarica di durata superiore a qualche secondo e quindi sono totalmente inadeguate a dare la dimostrazione scientifica completa.

In ordine alla sicurezza, sono noti i pregi della fusione. Essi derivano da quelle che possiamo definire « qualità intrinseche » della fusione: reazione limitata da considerazioni di fisica (ciò vuol dire che non appena succede qualcosa la reazione si interrompe); radioattività

(proveniente da acciai attivati e da trizio) notevolmente diversa rispetto a quella da combustibile nucleare; moderata densità di potenza che, ripeto, a prima vista, può porre problemi di economicità ma è indispensabile per soddisfare il criterio della « sicurezza passiva ». Oggi, si tende ad un sistema di sicurezza intrinseca o passiva, nel senso cioè che la macchina ha in sé la capacità di assorbire il transiente al suo verificarsi, senza provocare danni ambientali. Credo, infatti, sia abbastanza intuitivo immaginare come in una macchina grande per dimensioni la massa riesca ad assorbire per intero il transiente. Inoltre, il ciclo del combustibile rimane entro i confini dell'impianto e, pertanto, non vi è inquinamento di tipo chimico.

La conseguenza di tutto ciò è l'impossibilità di avere escursione nucleare; un rischio potenziale biologico minore di cento volte rispetto a quello dovuto alla radioattività da fissione; residui radioattivi suscettibili di sistemazione superficiale dopo trenta-cento anni. Abbiamo studiato a lungo la questione dei residui radioattivi e, se riusciremo a sviluppare materiali a bassa radioattività, verremo a trovarci in condizioni migliori rispetto alla fissione, i cui residui non si possono eliminare.

Sul rilascio del trizio abbiamo svolto uno studio per il Parlamento europeo. Noi riteniamo che non verranno rilasciati più di duecento grammi di trizio (considerate che nel reattore vi è un chilo e mezzo di trizio) per cui non si supereranno i 10 rem nella zona circostante l'impianto. A questo proposito, ricordo che le norme inglesi prevedono l'evacuazione a partire da 10 rem. Secondo la normativa vigente in Germania, l'evacuazione viene considerata dai 5 ai 25 rem; gli Stati Uniti assumono come indicazione i 200 rem, che sono quelli al di sopra dei quali si determina l'evidente morte per radiazione. Non amo assumere un limite così alto, preferendo piuttosto indicarne uno intorno al quale non si dovrebbe verificare neppure l'evacuazione della popolazione. Secondo il nostro

schema, alla distanza di un chilometro abbiamo un rischio che si aggira intorno ai 7-8 rem.

Desidero ora soffermarmi sul modo in cui pensiamo di arrivare al reattore - credo che questa sia una delle questioni accennate dal presidente - con riferimento ai tempi e alle linee di sviluppo. Nella Comunità europea si segue una strategia secondo cui, utilizzando il programma di base tecnologico, quello di fisica nonché il JET, si dovrebbe giungere al NET, il quale ci dovrebbe poi portare al reattore dimostrativo; le linee alternative potrebbero subentrare soltanto nella fase di definizione. Premetto che, mentre abbiamo attentamente considerato i tempi necessari per giungere al NET, non è facilmente prevedibile che cosa accadrà dopo questa fase. Pensiamo che nel 1993 si giungerà alla decisione riguardante la sua costruzione, il che dovrebbe permettere un suo funzionamento entro la fine del prossimo decennio. Saranno poi necessari cinque o sei anni per giungere alla dimostrazione di fattibilità della produzione di energia da fusione con parametri di interesse reattoristico. Sono nostri obiettivi: ottenere una reazione di durata sufficientemente lunga, per sostenere che questo è il vero plasma da utilizzare nel reattore; appropriarci della tecnologia di base di un reattore; dimostrare la possibilità di produrre il combustibile e di estrarre l'energia (gli inglesi insistono molto nel far rientrare nel NET anche una dimostrazione di produzione di energia elettrica, il che è possibile essendo una macchina in grado di produrre circa 600 megawatt termici); affrontare positivamente il problema fondamentale della sicurezza. In altri termini, la Comunità europea con il NET vuole risolvere i problemi relativi alla fisica, alla tecnologia e alla sicurezza. Penso venga spontaneo domandarsi se questo sia il modo più rapido per giungere alla dimostrazione. Ritengo che sotto questo aspetto non esista alcun dubbio, poiché passeremo direttamente dal JET alla dimostrazione della produzione di potenza.

Circa la possibilità di ridurre i tempi, ritengo che ciò sia possibile solo nel caso in cui esista una volontà comune da parte di tutti i paesi della Comunità. Una macchina come NET viene considerata dall'Europa, dagli Stati Uniti e dall'Unione Sovietica un passaggio obbligato per giungere al reattore; come è noto, durante i colloqui tra Reagan e Gorbaciov, i sovietici hanno insistito per lavorare insieme su di essa; ciò sarebbe molto interessante, ma anche particolarmente complicato.

Non credo sia da discutere la possibilità di anticipare di due o tre anni, cosa che probabilmente è fattibile; è invece da escludere una drastica compressione dei tempi rispetto alla data indicata per la dimostrazione (e cioè 2005 circa).

GIANNI TAMINO. Vorrei conoscere i ragionevoli tempi di costruzione del NET.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Si tratta di sei o sette anni, dal 1993 al 2000. Naturalmente, per rispettare queste date, occorre cominciare ad affrontare il problema del sito tre anni prima, con una chiara volontà di discutere questi problemi.

Ritengo sia di qualche interesse per voi sapere quale tipo di tappe dovranno essere percorse. Nella Comunità europea si ritiene che un passaggio importante sia dato dal DEMO, un reattore dimostrativo, che pur non essendo ancora economico è a funzionamento continuo, produce elettricità, ed è autosufficiente per quanto riguarda la produzione di combustibile; per renderne l'idea, potrei dire che si pone tra il *Phoenix* e il *Superphoenix*, che vedo piuttosto come una tappa successiva. Quello che accadrà successivamente dipenderà dalla bontà delle prestazioni fornite dal NET e dalla presenza di un mercato in senso lato. Quindi questo sviluppo potrebbe essere più rapido, o anche più lento: le opinioni in proposito in Europa sono abbastanza diverse.

Parlando di programma europeo, possiamo esaminare la situazione del nostro paese. L'Italia compie un notevole sforzo

in termini finanziari sulla fisica del plasma, sul confinamento magnetico; quasi il 30 per cento dello sforzo europeo, al pari della Francia, appena al disotto della Repubblica federale di Germania e molto al di sopra della Gran Bretagna. In Italia si stanno costruendo due grosse macchine (FTU, RFX) su un totale di quattro in Europa. In Francia esiste una macchina che i francesi, giustamente, hanno costruito superconduttrice: facendo cioè uno strumento di fisica, l'hanno costruito con una tecnologia avanzata, guadagnando così su entrambi gli aspetti. In Germania c'è una macchina nel centro di Garching, dove io mi trovo (vi lavorano 1.200 persone); essa si fermerà, ce ne sarà una successiva, e quindi rimarrà una macchina centrale più una linea alternativa. La Repubblica federale di Germania ha deciso di concentrare tutte le tecnologie nel centro di Karlsruhe, e la fisica nel centro di Garching.

Per quanto riguarda la tecnologia, mi pare che ci sia un equivoco tra tecnologia e ingegneria. Se si costruisce la macchina di oggi facendola come quella di Frascati, o quella di Garching, o come il JET, non si produce tecnologia nel senso di fare qualcosa di fondamentale che permetta di compiere il passo successivo; si adopera il materiale di oggi, si fa un progetto, magari dell'ingegneria molto buona, e si costruisce, però non ci si prepara al domani. Per prepararsi al passo successivo, occorre fare queste cose, ma anche farne altre. Occorre pensare a materiali che non sono quelli oggi convenzionali, e parlo sia dei materiali strutturali sia di quelli per produrre il trizio; ci vogliono materiali che resistano alle alte temperature, che possono ricevere gli enormi flussi termici che ci sono in una macchina come il NET: occorrono quindi materiali speciali, come grafiti e materiali non conduttori, per quanto riguarda le parti interne. Bisogna poi sviluppare la superconduttività, che è essenziale nella struttura dei reattori: non si può fare, ad esempio, una macchina come il NET senza pensare alla superconduttività; certo la si può anche fare, in linea di

principio, ma sarebbe uno spreco produrla in questo modo. È necessario sviluppare la tecnologia del trizio, ed il problema del contenimento del trizio è uno dei più importanti sotto il profilo della sicurezza. Abbiamo lanciato in Europa, perciò, un complesso programma tecnologico, per circa 100 miliardi all'anno di lavoro da farsi in Europa, tutto orientato al NET. Da Garching noi inviamo delle proposte di contratto ai vari laboratori; questi fanno le loro offerte e noi scegliamo. Purtroppo, l'Italia non si trova in condizione di competere in maniera agguerrita: il nostro paese, fa solo il cinque per cento della tecnologia europea.

Qualora il Governo italiano decidesse che è bene aumentare il nostro sforzo per la fusione, io osserverei, per prima cosa, che facciamo già abbastanza nel campo della fisica (la trasmissione delle conoscenze in questo settore è amplissima, diffusissima), per cui è necessario fare un po' di tecnologia, come negli altri paesi. Ad esempio, la Repubblica federale di Germania dedica il 70 per cento alla fisica e il 30 per cento alla tecnologia, mentre in Italia le percentuali sono, rispettivamente, del 90 e del 10 per cento. Cerchiamo quindi di insistere di più sulle tecnologie che serviranno domani. Produrre macchine nel campo della fisica, in base alle tecnologie di oggi, certamente non ci aiuta a conquistare quel ruolo che dobbiamo avere nella tecnologia di domani.

A questo punto, si pone la questione della presenza dell'industria. Sono stato per dieci anni presidente del comitato di supervisione del JET, dall'inizio della costruzione a quando la macchina è entrata in funzione, e perciò tutti i contratti sono passati per le mie mani: ho vissuto quindi le prestazioni, i comportamenti, i risultati dell'industria italiana. Il giudizio che posso dare è sostanzialmente positivo, se considero le percentuali. Al termine della costruzione del JET, l'industria italiana si era occupata dell'11 per cento delle commesse; oggi essa è presente per l'8 per cento, e quindi possiamo intanto domandarci come mai si è verificato que-

sto calo. Certo, quando è stata ultimata la costruzione, si è dato avvio a tecnologie più sofisticate, e in questo settore noi siamo meno competitivi. Poi, dobbiamo vedere di che cosa si componeva quell'11 per cento: in tale percentuale c'era dell'ottima meccanica (è noto che in questo settore non ci batte nessuno), una discreta elettrotecnica, molto meno nel campo del sistema e quasi nulla nel settore dei materiali speciali e del pompaggio. Per la costruzione del JET, si sono avuti quei risultati positivi perché il gruppo che si occupava della realizzazione della macchina ha fatto dei progetti dettagliatissimi, e li ha passati all'industria per realizzarli; l'industria che aveva una certa capacità di costruzione (buoni macchinari, notevole livello di rendimento, inventiva nel trovare le soluzioni di dettaglio per costruire un pezzo in un modo piuttosto che in un altro) si è trovata anche abbastanza bene. Ma il NET è una macchina nucleare e, pensando alla sua costruzione, non possiamo ipotizzare che noi da soli elaboriamo il progetto dettagliato: abbiamo quindi bisogno delle industrie, perché non abbiamo le conoscenze in proposito. È questa la ragione per cui per il NET ci siamo avviati con dieci anni di anticipo.

Per la costruzione di macchine, come nel caso del JET e del CERN, si fa una richiesta di offerta, la si invia alle industrie e si danno loro due mesi di tempo per rispondere; e in due mesi un'industria può soltanto fare i conti del costo. Questo è il motivo per il quale con il NET diamo contratti industriali: l'anno prossimo arriveremo a sei miliardi di lire di contratti di studio - in aggiunta ai 100 miliardi annui di tecnologia - perché vogliamo che l'industria cominci a capire di che cosa si parla. Se in Italia riuscissimo a creare un sodalizio più stretto tra i laboratori di ricerca e l'industria, forniremmo maggiori possibilità di competizione alle industrie per la tecnologia. Conosco i nostri laboratori e per questo sostengo l'opportunità di un sodalizio con l'industria per lavorare nel campo delle tecnologie, altrimenti quando andremo al

NET non faremo il dieci per cento delle commesse, ma solamente l'uno.

PRESIDENTE. La ringrazio per la sua esposizione, professor Toschi. Passiamo ora alle domande.

LUCIANO RIGHI. Desidero ringraziare anch'io il professor Toschi per la sua esposizione nella quale è confermata la lunghezza dei tempi di realizzazione della fusione, che, comunque, potranno essere abbreviati nel caso in cui si realizzi una convergenza a livello internazionale di sinergie e di opportunità. Lei si è soffermato sul confinamento magnetico, gradirei la sua opinione sul confinamento inerziale.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Desidero ribadire che mi occupo di Tokamak all'interno del confinamento magnetico. Le mie risposte sul confinamento inerziale debbono essere valutate con molta cautela in quanto non conosco i dettagli. Per dare risposte significative e valide, infatti, occorre studiare e lavorare sull'oggetto della domanda dalla mattina alla sera. Ciò premesso, posso dire che per quanto riguarda il confinamento inerziale - la cui fisica è fatta con i *laser* - la strada da percorrere è ancora lunga. Se dovessimo stimare ciò che serve per fare l'equivalente dell'ignizione, ci si accorgerebbe della necessità di tecnologie *laser* di dimensioni enormi e di costo elevato. Dal punto di vista della fusione con il Tokamak abbiamo risolto quasi tutti i problemi; nel caso del confinamento inerziale, invece, temo che talune questioni non siano state ancora affrontate. Se un paese come il nostro intendesse allargare il proprio sforzo sulla fusione - mantenendo la mia personale priorità sulle tecnologie - dovrebbe impegnarsi maggiormente sul confinamento inerziale in relazione all'importanza che tale tecnologia può rivestire per altre applicazioni. Lo sviluppo di acceleratori e di *laser*, infatti, può rappresentare l'occasione per elaborare nuove tecnologie, sistemi di controllo

e di sviluppo dei materiali ed un paese avanzato non può trascurare tale opportunità. Quando si elabora una tecnologia per un determinato obiettivo, ci si deve sempre domandare qual è il ritorno previsto. Se ci ponessimo tale domanda in relazione al confinamento inerziale, dovremmo confessare che esso, rispetto al confinamento magnetico, può avere ricadute più alte.

GIANNI TAMINO. Nella sua esposizione, professore, si è riferito al mantenimento delle condizioni stazionarie della macchina. Tempo addietro lessi dell'esistenza di problemi di geometria toroidale, per cui è difficile tenere lontano dalle pareti il plasma: ciò rende impossibile una situazione di continuità al punto che - si affermava sempre negli scritti da me consultati - esiste quasi una dimostrazione dell'impossibilità del raggiungimento della condizione stazionaria. Vorrei sapere cosa si può rispondere a queste obiezioni, che mi sembrano rilevanti, nonché quale valutazione è possibile dare in termini di bilancio energetico complessivo. Sappiamo che l'energia da fusione è enorme; mi domando, tuttavia, se, tenuto conto dell'energia richiesta per estrarre il deuterio, per costruire l'impianto, per ignire il tutto, esistano le garanzie di un bilancio significativamente positivo. In secondo luogo, mi interesserebbe sapere quale ruolo svolge l'RFX di Padova rispetto al NET, se è in qualche modo funzionale a quest'ultimo o del tutto indipendente.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Il Tokamak è come un trasformatore; si tratta, quindi, di una macchina intrinsecamente pulsata. Non credo che l'ENEL sarebbe disposto a comprare un reattore il quale si ferma molte volte al giorno: a mio avviso, il rendere la macchina stazionaria potrebbe diventare un requisito essenziale. Desidero precisare che il pulsato rende la vita dei componenti (il problema è oggetto di studio in questi tempi) veramente imprevedibile, dal momento che la fatica è un

bruttissimo fenomeno: i neutroni provocano danni, il calore determina stress termici, si realizzano delle sinergie che sono ancora nuove. Non esiste in linea di principio alcuna difficoltà a rendere la macchina stazionaria, come risulta dal fatto che ciò è stato da noi sperimentalmente dimostrato.

GIANNI TAMINO. Con un Tokamak diverso ?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. No, è lo stesso Tokamak. Anziché usare il trasformatore, esso viene spento, inserendo onde di radiofrequenza - si tratta di un impianto stazionario - le quali fanno circolare la corrente nel plasma. Tuttavia, ciò, sulla base dei rendimenti di oggi, è molto difficile. In merito alle linee alternative, vorrei dire che rispetto al Tokamak vi è una destra e una sinistra. La sinistra è data dallo Stellarator, che è una macchina in cui le correnti, invece di girare in parte in bobine esterne, in parte dentro al plasma, circolano completamente in bobine esterne; è, quindi, per definizione, stazionaria. Al contrario, nel Pinch vi è una prevalenza di correnti che girano dentro al plasma.

Per quanto riguarda l'RFX, è anzitutto interessante notare come questo plasma sia caricato di una serie di problemi, che scaricano le tecnologie. La macchina è, dal punto di vista della fisica, indietro rispetto al Tokamak; infatti, le prestazioni globali che pensano di raggiungere sono confrontabili - volendo essere ottimisti - con i risultati del Tokamak di oggi. L'Italia ha assunto questo onere, poiché la Gran Bretagna vi ha rinunciato. Ritengo che il contributo dell'RFX rispetto al NET sia sostanzialmente di conoscenza.

GIANNI TAMINO. Tuttavia, non si pone nella linea del NET.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Le linee alternative vengono da noi collocate tra il

NET e il reattore. In materia di bilancio energetico, abbiamo fatto uno studio completo, inserendo anche l'energia richiesta per il ciclo del combustibile, ed abbiamo verificato che il nostro bilancio energetico è nettamente migliore di quello della fissione.

GIANNI TAMINO. Che però si dubita sia positivo.

ELIO GIOVANNINI. Desidero ringraziare il professor Toschi per la chiarezza della sua relazione e per le risposte fornite in ordine al Pinch, al contenimento inerziale ed al bilanciamento energetico. Vorrei sapere dal nostro interlocutore, nella sua qualità di responsabile del NET, se nei 1.500 miliardi di lire previsti come costo del programma deve essere ricompresa, accanto alla spesa per il programma di ricerca, anche quella riguardante la costruzione della macchina. In secondo luogo, desidererei avere qualche chiarimento sul rapporto tra il NET e l'Ignitor, un programma quest'ultimo che mi sembra essere, al momento, in discussione nella Comunità europea. Mi interesserebbe conoscere il tipo di relazione esistente ed appurare se l'accettazione del programma Ignitor potrebbe comportare delle variazioni anche nei tempi prospettati.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Per quanto riguarda il NET dispongo al Max Planck Institut di una cinquantina di persone adette ai lavori di calcolo, di fisica e via dicendo, di una disponibilità finanziaria utilizzata per dare lavoro ai colleghi nei vari laboratori e all'industria. Quest'attività globale, prevalentemente incentrata sulla tecnologia, comporta una spesa di 100 miliardi l'anno, destinati quindi alla fase di preparazione del NET. Per quanto concerne il costo della macchina, sebbene ci preoccupiamo di aggiornare continuamente i nostri codici di calcolo, devo dire che una valutazione in merito è oltremodo difficile. Attualmente, tale costo si aggira, secondo la nostra stima, intorno

ai 3 mila miliardi, che dovrebbero essere suddivisi nel periodo compreso tra l'inizio e la fine degli anni novanta, dopo di che la macchina entrerebbe in funzione. La fase di preparazione comporta, *grosso modo*, un ordine di 100 miliardi all'anno, quella della costruzione dovrebbe attestarsi sui 400 miliardi all'anno. I paesi europei, secondo la mia stima, nel periodo 1985-1989 spenderanno circa 3.000 miliardi di lire. Ora, negli anni novanta, si dovrebbe ridurre l'attività nei vari laboratori, e parte di queste risorse dovrebbero concentrarsi nella costruzione del NET; quindi si tratta di un'alterazione non importantissima del bilancio comunitario sulla fusione.

Vengo ora a parlare della relazione NET-Ignitor. La macchina Ignitor esiste da molto tempo, perché la prima proposta del professor Coppi è del 1977. Essa è stata considerata ripetutamente dalla comunità scientifica sia in Europa che negli USA, ma non è mai entrata a far parte dei piani dei due paesi. Quando ero responsabile del centro di Frascati ho affermato (e di ciò abbiamo avuto occasione di discutere poi più volte, agli inizi degli anni ottanta) che era, sotto il profilo tecnologico, estremamente difficile che Ignitor funzionasse bene, ma che, anche funzionando, era estremamente difficile, anzi improbabile, che raggiungesse gli obiettivi che si proponeva, fra cui l'ignizione senza riscaldamento esterno. Da allora ad oggi ho visto che l'Ignitor è diventato più grande, nel 1984 la corrente nel plasma, che è una misura della potenzialità dei Tokamak è stata aumentata di due volte e mezzo a conferma inequivocabile dei nostri dubbi sulla versione precedente. Non sono in grado di dirvi se la versione attuale può essere costruita, se vi sono rischi tecnici e quali siano. Posso però dirvi che la comunità scientifica statunitense ha esaminato a fondo l'opzione Ignitor (perché li vogliono costruire la macchina, da mettere in funzione - affermano ottimisticamente - nel 1993), ed ha concluso che questo tipo di soluzione - cioè il fatto di tenere l'ignizione senza riscaldamento esterno - conduce a pro-

blemi tecnici e tecnologici troppo rischiosi. Allora hanno scelto una macchina meno ambiziosa, tecnicamente più flessibile, che, in fondo (e questo mi fa naturalmente molto piacere), segue la linea della macchina elaborata dal centro di Frascati, FTU, che sfrutta al meglio le proprietà degli alti campi (con un valore compreso fra 80 e 100 chilogauss) mantenendo sempre l'affidabilità del sistema, ed inserendo il riscaldamento esterno.

GIANNI TAMINO. In che senso gli americani parlano di rischio?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Se si vuole fare l'ignizione senza riscaldamento esterno, si deve aumentare il campo magnetico, e quindi aumentano anche le forze e gli sforzi. Allora, occorre trovare delle soluzioni ingegneristiche, ma il giudizio degli ingegneri americani è che le soluzioni che si prospettano nelle varie alternative che hanno considerato non sono tali da garantire che questo sia possibile. Hanno detto che non potevano garantire di produrre 130 chilogauss sull'asse, ma solo 100. Però, se non se ne fanno 130, non si può nemmeno discutere di fare l'ignizione omica (infatti molti fisici sostengono che ne occorrono 180). Poiché essi garantiscono la produzione solo di 100 chilogauss, bisogna trovare altri sistemi per riscaldare il plasma. L'analisi dettagliata da loro fatta verteva sulle enormi forze che si sviluppano al centro della macchina, per poter sopportare le quali si era indotti a soluzioni la cui affidabilità era estremamente incerta.

Il costo della macchina americana le cui dimensioni globali sono simili a quelle di Ignitor, è valutato in 550 milioni di dollari, di cui 300 da reperire e 250 che corrispondono a impianti e strumentazioni già esistenti nel centro di Princeton. In USA - all'estero succede più spesso che in Italia - hanno una grande difficoltà nel reperire questo finanziamento. Per gli Stati Uniti trovare 300 milioni di dollari ripartiti in sei anni sembra essere un problema difficilissimo,

sotto l'amministrazione Reagan. Però il conto che hanno fatto mi torna, perché il JET è costato circa 500 milioni di dollari. La macchina americana, se vi riesce, fa l'ignizione per un secondo e mezzo. L'intero impulso è di tre-quattro secondi, ed i tecnici hanno valutato di accendere la reazione e di guardarla per mezzo secondo-un secondo. Noi obiettiamo in primo luogo che è estremamente limitata una fisica fatta su un secondo, e poi ci domandiamo quante volte si può ripetere questo impulso, ritornando così al problema degli *stress* meccanici. Per l'Ignitor si parla di centinaia di impulsi, e i fisici americani parlano di 3.000; ma i nostri fisici obiettano che con 3.000 impulsi non si fa la fisica. Abbiamo discusso con gli americani se e a che cosa serve, per il NET, fare questi esperimenti, dal momento che loro pensano di mettere in funzione la macchina per il 1993, in modo da raggiungere i risultati nel 1996-1997. La conclusione è stata che questi esperimenti non influiscono sulla decisione di fare o meno il NET: essi sono utili ma non indispensabili per ottimizzare la fase di funzionamento del NET.

MARIO FIORET. Il professor Toschi ha auspicato uno sviluppo sincro tra fisica, tecnologia e settore nucleare, ed ha aggiunto che è soddisfacente lo sviluppo della fisica, ma insoddisfacente quello tecnologico. Egli ha lanciato anche un messaggio che ci deve far riflettere quando, riferendosi alla carenza del settore tecnologico, ha fatto un rapporto tra JET e NET (11 per cento l'uno e forse 1 per cento l'altro). Le chiedo se la carenza italiana di tecnologia è dovuta ad una lacuna nella ricerca, o se è una carenza delle nostre industrie, che non hanno sviluppato gli anelli intermedi per arrivare a certi risultati.

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Le rispondo sulla base di un'esperienza. Fino ad oggi ho lanciato centosessanta contratti in Europa per la tecnologia del NET: circa il 60 per cento di questi - in termini di

denaro - riguardano la tecnologia dei materiali, ma non ne ho quasi per niente in Italia e sono contratti fatti tutti con laboratori. Naturalmente, quando mi riferisco ai materiali per il NET, sono avvantaggiati quei centri che hanno fatto ricerca. Parlo, ad esempio, di Karlsruhe, Saclé, Harwell, Mol; quest'ultimo si occupa di tecnologia per circa il doppio rispetto a noi. Sono tutti laboratori che hanno autonomi reattori di ricerca che funzionano: quello di Mol ne ha uno ottimo, e così pure li hanno l'Olanda, la Germania, per non parlare della Francia. E mi riferisco al reattore perché, se non si dispone di uno strumento per fare sperimentazione, non si arriva a dei risultati, anche se si è bravissimi.

Io credo che tutto ciò nasca da quanto è successo nel 1963: da allora infatti è andata diminuendo progressivamente l'attenzione per le tecnologie nucleari che ora servono alla fusione perché il reattore a fusione è una macchina nucleare. Credo si possa sicuramente affermare che il difetto è individuabile nelle competenze dei centri di ricerca, ed è soprattutto ad essi, per ciò che attiene a questa fase, che mi affido.

Se però si andasse alla costruzione del NET vi sarebbe un altro aspetto aggiuntivo, ovvero sia quello relativo alla gestione industriale di una produzione complessa e di elevato *standard* qualitativo. L'industria che si sarà cimentata con *standard* di qualità di tipo nucleare sarà evidentemente preparata ai nostri problemi.

La seconda questione è relativa alla complessità. Il reattore a fusione è infatti una macchina nucleare, e quell'industria che ha gestito un sistema complesso ha, evidentemente, più *chances*. In questa fase, in Italia sentiamo la carenza di un centro di ricerca sulla tecnologia. Non sentiamo ancora la carenza manifatturiera dell'industria italiana. La sentiremo quando passeremo alla costruzione di NET.

MARIO FIORET. C'è un orientamento per l'ubicazione del NET?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. I siti, indicati da tutti gli interessati, sono quelli di Karlsruhe e di Cadarache.

MARIO FIORET. Per l'Italia si è parlato di candidature?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. No, di candidature non si è ancora parlato. Per l'Italia resta il solito problema del centro di Ispra.

LELIO GRASSUCCI. Professor Toschi, desidero soffermarmi su due considerazioni da lei espresse: la prima relativa all'opportunità di lavorare di più nel campo della tecnologia, e conseguentemente assumere le decisioni di merito, la seconda relativa al fatto che, partendo dalla premessa che ambedue le linee di ricerca sulla fusione sono una scommessa, varrebbe la pena di aumentare lo sforzo verso il confinamento inerziale. Ciò premesso, le chiedo quali possano essere i luoghi di raccordo e di decisione per costruire contratti nel campo della ricerca tecnologica, in modo che vi sia un contatto tra i punti di ricerca su cui voi state lavorando e le decisioni che possono essere prese in questa direzione, cioè nel campo di contratti che siano funzionali allo sviluppo. Ripeto: quali potrebbero essere i luoghi di decisione, quali investimenti potrebbero essere previsti?

Nella sua relazione, che ho molto apprezzato, mi sembra sia detto che gli Stati Uniti risultano essere, rispetto a noi, un po' sfasati all'indietro. Anche nel campo delle macchine, da ciò che ho ascoltato mi sembra di aver dedotto che non sono più avanti dei luoghi in cui lei sta lavorando. Ebbene, se questo è vero, qual è la ragione concreta che rende difficile realizzare uno sforzo per riaggregare nel nostro paese forze di ricerca che, appunto, tendono ad emigrare negli Stati Uniti o altrove? È solo un problema finanziario, è solo un problema di vivibilità, visto che anche a livello di strutture

l'Europa non risulta essere molto indietro rispetto ad altri paesi?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next european torus)*. Per quanto riguarda la prima questione, lei ha bene interpretato il mio pensiero. Forse, non sottoscriverei l'affermazione che ambedue le linee di ricerca sulla fusione sono una scommessa. Comunque, concordo nel ritenere che il confinamento inerziale rappresenta certamente un'occasione interessante dal punto di vista degli aspetti tecnologici. Non dovrebbe però accadere — perché sarebbe una sciagura per noi — che qualcuno si convinca che in Italia possiamo fare da soli la fusione inerziale. Se non altro, non avremmo mai i mezzi finanziari per poterlo fare. Sarei quindi d'accordo con un ragionevole e ponderato programma tendente a rafforzare il programma perché, mi sembra, ci sia spazio per nuove idee. Pensare che l'Italia possa fare la fusione inerziale o magnetica da sola è cosa che non sta né in cielo né in terra.

Per quanto riguarda il punto di raccordo dei discorsi relativi alla tecnologia, credo che l'istituzione in cui essi dovrebbero farsi sia l'ENEA, un organismo in grado di avere tutte le informazioni e le competenze che servono. L'ENEA è quindi l'ente che è in grado di documentare un processo decisionale corretto con diverse opzioni e il loro livello di priorità: mi sembra che ciò non stia succedendo. Per quanto riguarda la sua osservazione relativa alla constatazione che molti soggetti emigrano negli Stati Uniti, debbo dirle, per quanto riguarda la fusione, che è l'Europa e non gli Stati Uniti ad attrarre (nessun fusionista mi risulta sia emigrato negli USA dall'Europa negli ultimi dieci anni); ciò premesso debbo aggiungere che è estremamente faticoso fare ciò che è stato fatto in Italia per rimanere in competizione. La comunità della fusione non ha esempi in Europa. Non vi è esempio di così forte competizione. Ad esempio, il professor Palumbo — tanto per citarle un nome italiano — ha escogitato un sistema che comporta un

controllo reciproco fra tutti i lavoratori della Comunità, per cui chi intende fare un esperimento deve passare l'esame di tutti gli altri, ovvero sia l'esame di chi non intende farsi portare via né la « torta scientifica » né quella finanziaria. Oggi, nessuno in Europa ha il coraggio di fare un esperimento che non abbia il bollo di azione prioritaria, un bollo che, oltre alla validità scientifica, assicura, tra l'altro, anche un finanziamento aggiuntivo.

Se mi consente vorrei esprimere un parere sul come viene gestita la questione Ignitor. A me dispiace che questa proposta non venga prima presentata per un serio esame scientifico e poi si discuta degli aspetti finanziari. In questo caso invece si è voluto anticipare che il Governo italiano si sobbarcherà la spesa. Io credo che si debba avere più rispetto per la competenza scientifica e in particolare per la competenza scientifica dei ricercatori italiani sulla fusione, il cui parere non è stato ascoltato. La comunità scientifica italiana ha invece all'estero un'altissima reputazione, come lo conferma, per esempio, il fatto che tutti i nostri esperimenti principali siano stati classificati prioritari nell'ambito comunitario.

ALESSANDRO TESSARI. Certamente lei immaginerà l'interesse della Commissione sui problemi relativi alla fusione. Forse, però, avrebbe dovuto essere invitato ad esporre il suo pensiero in questa sede negli anni in cui noi radicali, schierandoci contro il nucleare da fissione, cercavamo uno « sfogo compensativo », tant'è che presentammo numerosi emendamenti per il potenziamento degli stanziamenti all'ENEA. Nella sua relazione la fusione è presentata in modo quasi competitivo rispetto alla fissione. Questo, secondo me, rappresenta un errore in quanto se l'Europa si appresta a compiere una « sterzata » — non so quale sarà quella italiana — ciò è dovuto ai calcoli sbagliati eseguiti sui costi complessivi. L'errata valutazione dei costi complessivi del nucleare da fissione effettuata da Chernobyl dovrebbe essere d'insegnamento e comportare, di conseguenza, valutazioni diverse.

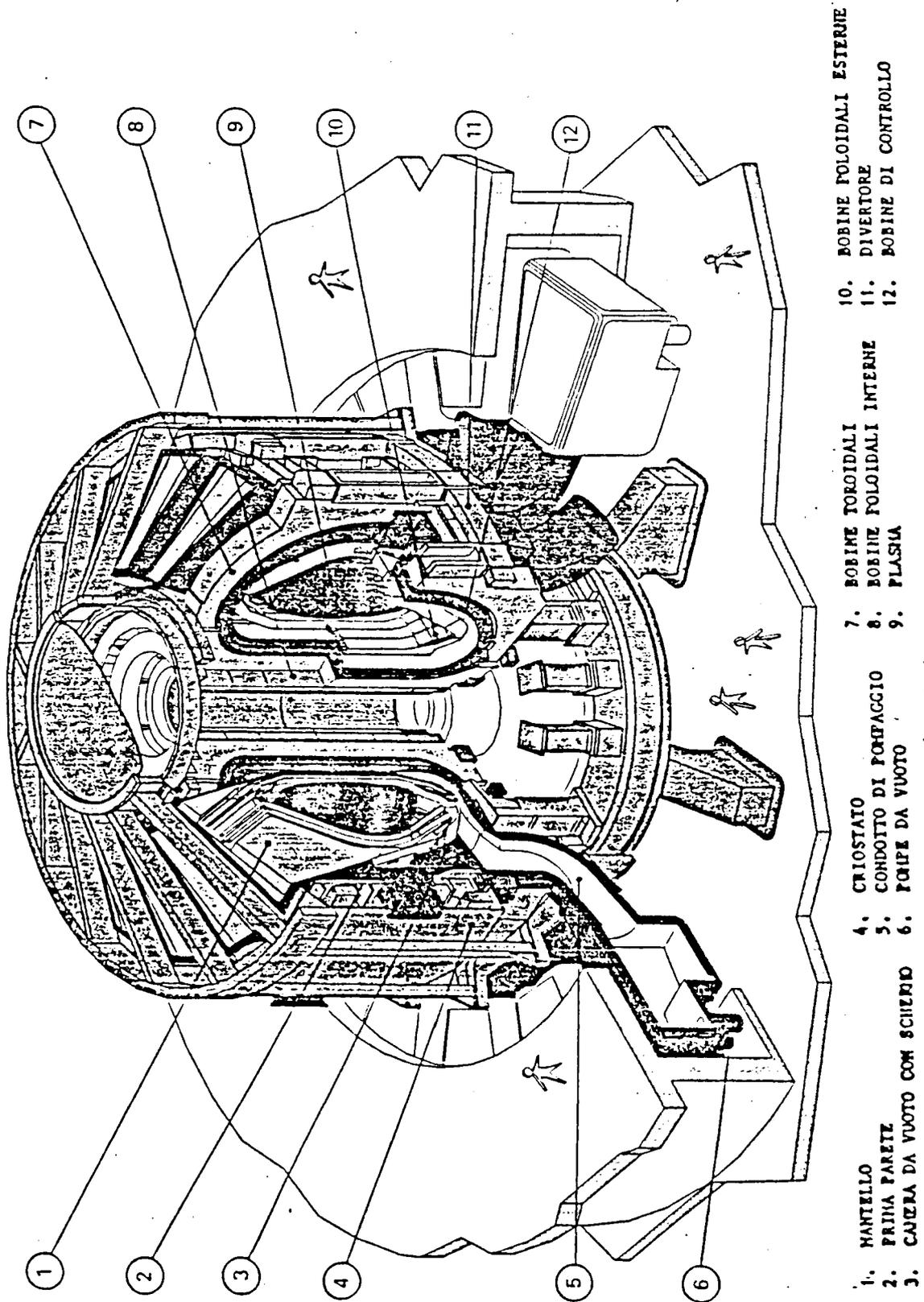
Dico questo affinché lei ed i suoi avversari vi tranquillizzate sapendo che, se l'Italia e l'Europa compiranno sforzi economici e finanziari, lo faranno perché è inevitabile, perché è una strada obbligata rispetto alle erronee valutazioni fatte nel campo della fissione. Quindi, vorrei sapere qualcosa circa i costi reali. Inoltre, come membro della comunità scientifica, non ritiene di dover offrire al Parlamento un ventaglio di opzioni diversificate in termini di costi?

ROMANO TOSCHI, *Direttore del progetto NET (Next europeans torus)*. Non vogliamo garantire la competitività economica, mi sarò espresso male, tant'è che ho parlato di un fattore tre di costo: più pessimista

di così! Dal punto di vista delle opzioni sono perfettamente d'accordo con lei che un ventaglio di opzioni è necessario prima di prendere una decisione. L'Italia compie già un notevole sforzo, infatti ha due linee. Aggiungo, però, che dovremmo aumentare gli sforzi sul confinamento inerziale. Comunque, se l'Italia lavorerà su un'opzione, è opportuno che si applichi sia sugli aspetti fisici sia su quelli economici.

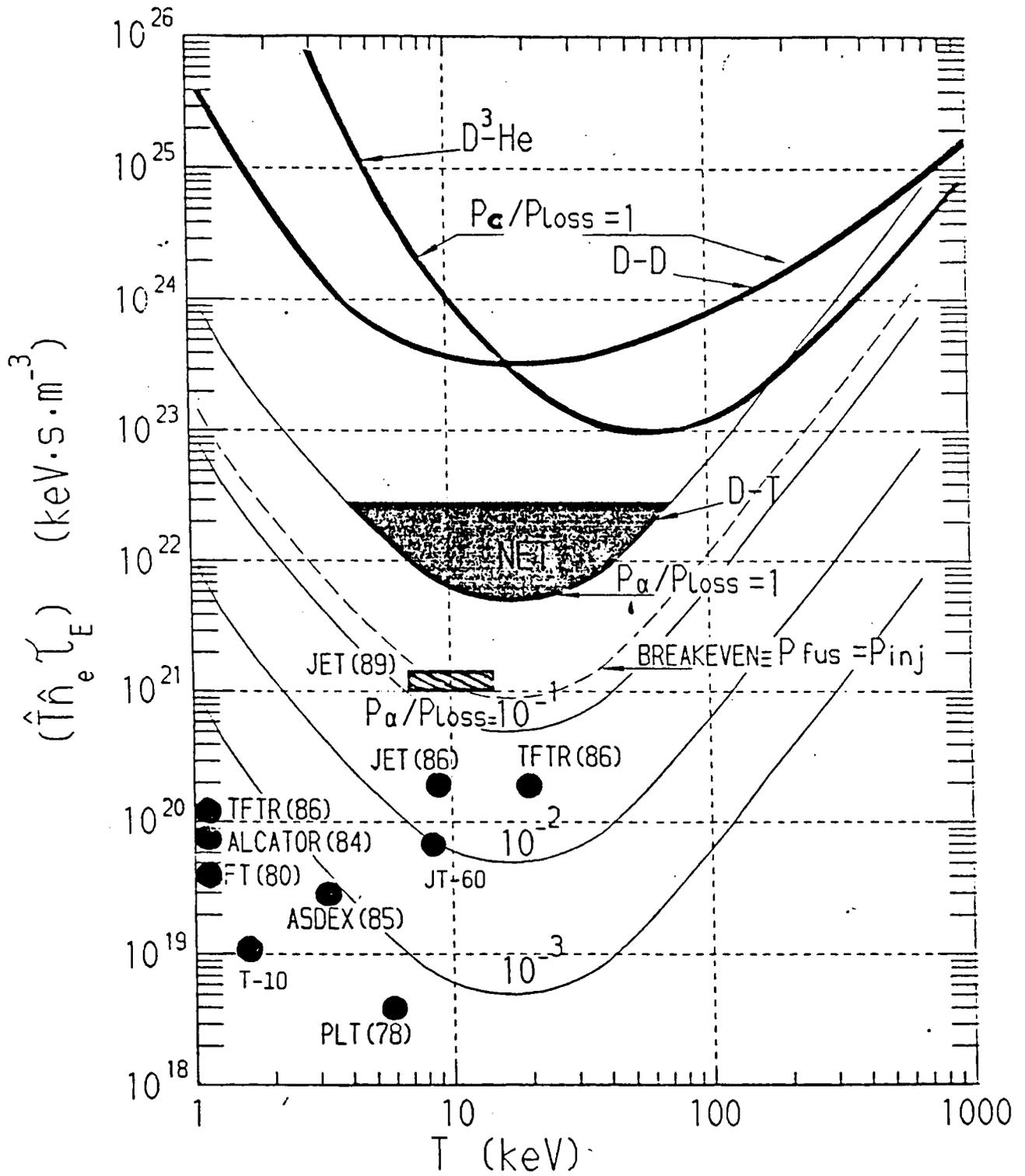
PRESIDENTE. Ringrazio nuovamente il professor Toschi per il prezioso contributo offerto alla nostra indagine conoscitiva.

**La seduta termina alle 10,50.**









FATTORE DI MERITO PER L'IGNIZIONE IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DEL PLASMA

Figura 4