

**5**

**SEDUTA DI MARTEDÌ 16 DICEMBRE 1986**

**PRESIDENZA DEL PRESIDENTE MICHELE VISCARDI**

PAGINA BIANCA

**La seduta comincia alle 16,20.**

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

(È approvato).

AUDIZIONE DELL'INGEGNER GIOVANNI NASCHI, DIRETTORE DELLA DIREZIONE PER LA SICUREZZA NUCLEARE E LA PROTEZIONE SANITARIA DEL COMITATO NAZIONALE PER LA RICERCA E PER LO SVILUPPO DELLA ENERGIA NUCLEARE E DELLE ENERGIE ALTERNATIVE, DISP-ENEA.

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 dell'ingegner Naschi, direttore della Direzione per la sicurezza nucleare e la protezione sanitaria del Comitato nazionale per la ricerca e per lo sviluppo dell'energia nucleare e delle energie alternative.

Avverto che l'ingegner Naschi ha predisposto una relazione - alla quale sono allegati figure e grafici - che sarà pubblicata con le altre presentate nel corso delle audizioni.

Comunico che il gruppo radicale ha avanzato richiesta di pubblicità dei lavori della seduta odierna mediante impianto audiovisivo a circuito chiuso. Poiché rilevo la mancanza di consenso unanime, tale richiesta non potrà avere seguito.

Ringrazio l'ingegner Naschi per aver accolto il nostro invito e gli do la parola.

GIOVANNI NASCHI, *Direttore della DISP-ENEA*. Non vorrei fare un quadro completo dell'attuale situazione, perché immagino che le persone che mi hanno preceduto abbiano sviscerato l'argomento,

tuttavia un minimo di riferimenti generali è necessario per poter inquadrare le valutazioni di carattere preliminare sugli aspetti di sicurezza e protezione sanitaria di cui sono stato richiesto. Siamo ancora nella fase in cui si deve dimostrare la fattibilità scientifica dell'utilizzazione della fusione a fini energetici. Soltanto nel 1992 con il JET (Joint european torus) si pensa di poter arrivare a condizioni che permettano un riscaldamento di origine nucleare in corrispondenza del centro del plasma. Nel 1992 saremo appena agli albori della dimostrazione della fattibilità scientifica della produzione di un plasma che si autosostenga per tempi lunghi, cioè che la generazione di calore nucleare (necessaria per mantenere elevata la temperatura del plasma) avvenga per tempi lunghi, diciamo dell'ordine di cento secondi. Nel programma europeo si pensa di poter raggiungere questo risultato con il NET (Next european torus); il JET è il programma che deve dimostrare la possibilità di arrivare a queste condizioni al centro del plasma, il NET dovrebbe dimostrare la possibilità di mantenere queste condizioni per tempi dell'ordine di cento secondi.

Ciò comporta problemi di sviluppo di tecnologie, in particolare di materiali, problemi di recupero di trizio e materiali strutturali, che in gran parte saranno necessari per il NET, ma che serviranno soprattutto per il programma DEMO. Il NET dovrebbe entrare in funzione nell'anno 2000 e quindi nel 2005 dovrebbe iniziare la progettazione del DEMO, che a sua volta dovrebbe entrare in produzione nel 2020. Questo DEMO dovrebbe dimostrare la fattibilità ingegneristica della fusione, cioè la possibilità di poterla effettivamente sfruttare sul piano industriale poiché prevede la erogazione di chilowattora

elettrici. Ciò darà la possibilità di avere a disposizione tutti gli elementi necessari per valutare la fusione sul piano economico, passando nel 2020, secondo i programmi europei, alla decisione di costruire il primo reattore commerciale. La linea Tokamak, quella che finora ho preso in considerazione, è la più sviluppata in Europa (ma anche nel resto del mondo) anche se contemporaneamente e parallelamente vi sono studi che riguardano diversi processi (tipo la fusione inerziale o la fusione a confinamento magnetico come i Tokamak, ma con geometrie diverse). La situazione è ancora molto fluida. I progetti alternativi al Tokamak sono ancora in uno stato embrionale, rispetto allo stesso Tokamak, per cui non si dispone di studi di progetto. I problemi che c'è da aspettarsi da questi diversi tipi di impianti sono probabilmente confrontabili con il tipo Tokamak poiché all'origine i problemi sono gli stessi: la fonte sia dell'impatto radiologico che del rischio è dovuta alla stessa ragione, quindi, anche diverse geometrie e diversi processi non possono cambiare l'origine del rischio e dell'impatto ambientale.

Per i primi studi di valutazione, abbiamo preso come riferimento una macchina sulla quale è stato effettuato uno studio più approfondito, vale a dire lo *Starfire*: un progetto americano che dovrebbe avere una potenza termica dell'ordine di 4 mila megawatt, con produzione di energia elettrica lorda di 1.440 megawatt, di cui 1.200 netti e 240 necessari per il funzionamento dei vari sistemi dell'impianto. Il rendimento netto della macchina che ne risulta sembrerebbe, pertanto, inferiore a quello di altre fonti energetiche in considerazione appunto dell'energia che viene consumata per la produzione. In una sezione del reattore *Starfire* al centro vi è il plasma che, con temperature dell'ordine di milioni di gradi, è completamente ionizzato. Esso è avvolto da una parete-mantello che è una struttura e di confinamento del plasma e di trasformazione dell'energia cinetica delle varie particelle emesse in calore sensibile, il quale successivamente viene asportato con circuiti

ad acqua al fine di produrre vapore e, quindi, generare energia elettrica; seguono lo schermo ed i magneti del campo toroidale. La generazione di calore per l'innescò della reazione avviene nel primo stadio per via ohmica attraverso superconduttori avvolti su un magnete posto al centro della camera toroidale. Il sistema principale di riscaldamento è quello a radiofrequenza, che serve ad innescare ed a sostenere la reazione di fusione.

La parete-mantello si presenta come una struttura composta a strati differenti di materiali: vi è un primo strato costituito da un rivestimento di berillio, cui seguono una struttura di acciaio; una lega zirconio-piombo, cosiddetto moltiplicatore, che serve a produrre più neutroni di quanti non vengano dal processo di fusione per aumentare la fertilizzazione del litio e produrre trizio; un'ulteriore camicia d'acciaio seguita da uno strato di alluminato di litio che rappresenta il fertilizzante (non dimentichiamo che queste macchine producono il combustibile occorrente per il loro funzionamento attraverso la trasformazione del litio in trizio) ed il riflettore finale che nello *Starfire* è la grafite. Le varianti di progetto possono essere diverse, per esempio, nel NET il primo rivestimento è costituito dalla grafite, mentre il moltiplicatore è il berillio. Comunque, gli elementi fondamentali sono sempre gli stessi, varia solamente la funzione richiesta ai vari componenti.

ALESSANDRO TESSARI. Scusi, ingegnere, questo sempre nell'ipotesi di uso di deuterio e trizio, non per la variante con elio. Il professor Coppi parlava di un « carburante » che non dà origine ad implicazioni come quelle del trizio.

GIOVANNI NASCHI, *Direttore della DISP-ENEA*. Le reazioni che vengono attualmente prese in considerazione per la fusione sono deuterio-deuterio e deuterio-trizio. La fusione di nuclei di elio non mi consta sia considerata se non sul piano teorico. Nel caso specifico dello *Starfire* l'elio è utilizzato per portar via il

trizio prodotto nel mantello di alluminio di litio.

Il rivestimento serve per evitare che atomi con numero atomico piuttosto elevato (come per esempio quelli liberati dall'acciaio) inquinino il plasma rendendo impossibile la reazione. Quindi, c'è bisogno del rivestimento: esso, nel caso dello *Starfire*, ripeto, è costituito da berillio, mentre nel progetto NET e nel DEMO, probabilmente, sarà costituito da grafite, tutti elementi con basso numero atomico. Il riflettore serve a mantenere all'interno del sistema la massa di neutroni che si producono nella reazione. A questo punto, ci si potrebbe domandare da dove provengano i problemi. Essi vengono dal tipo di reazione. La reazione deuterio-trizio produce neutroni a 14,1 MeV ed è accompagnata sempre da una frazione di reazione deuterio-deuterio, che produce neutroni con 2,45 MeV di energia. Questi neutroni provocano l'attivazione dei materiali con cui vengono a contatto. Nel passaggio rendono radioattivi i materiali che toccano. Il problema quindi, deriva dall'attivazione della massa di materiale all'intorno e dai neutroni che, alla fine della loro corsa, conservano pur sempre energia, per cui vi è bisogno di uno schermo a valle del riflettore per evitare che si verifichi un irraggiamento all'esterno della macchina. Questa energia dei neutroni è ciò che genera anche calore, nel passaggio attraverso i diversi strati, e quindi viene portata via dal refrigerante, acqua, per innescare il ciclo termico del tipo reattore a pressione che già conosciamo.

Il fatto che la reazione sia deuterio-trizio comporta, evidentemente, la presenza del trizio. La presenza dei neutroni ad elevata energia comporta l'attivazione dei materiali che circondano la camera di ionizzazione. L'inventario di trizio è piuttosto elevato; nello *Starfire* è stimato di circa dieci chilogrammi, e corrisponde ad una attività globale di  $10^8$  curie. L'inventario di trizio (che si cerca di diminuire attraverso studi) è inevitabile, da un certo punto di vista: per il fatto stesso che si tratta di macchine autofertilizzanti, vi è bisogno di

uno strato di alluminato di litio; il trizio che deriva dal litio è molto leggero ed ha gli stessi comportamenti dell'idrogeno (è un idrogeno più pesante). Attraversa quindi anche pareti metalliche; tutta la struttura parete-mantello finisce per essere completamente permeata dal trizio, che viene drenato con tubicini in cui circola dell'elio, che poi va all'impianto di trattamento e di depurazione. Ripeto che si tratta di un fatto in parte inevitabile per le caratteristiche stesse del trizio. I prodotti di attivazione del mantello derivano, come ho detto prima, dal bombardamento neutronico del materiale che circonda la camera toroidale e, in primo luogo, da quelle pareti di acciaio austenitico che costituiscono strutturalmente la camera toroidale stessa. Il materiale del mantello è sottoposto, dunque, ad uno stress non indifferente, con dislocazione, ovviamente, anche della struttura cristallina, per cui subisce un forte processo di infragilimento ed erosione. Questo fatto costringe a sostituire quattro settori della camera toroidale ogni anno. Evidentemente, vengono prodotti rifiuti dei quali parlerò più avanti. Come osservazione finale sul problema inventario trizio e inventario radioattività mantello, la somma totale è dell'ordine di  $10^9 \div 10^{10}$  curie. In fondo è la stessa entità di inventario di un reattore a fissione, anche se, evidentemente, la composizione dei radioisotopi è completamente diversa; in questo caso, infatti, il prodotto di reazione è il trizio, nel reattore a fissione sono prodotti di fissione. Vi è il berillio che è un elemento molto tossico. Agli inizi dell'energia nucleare a fissione si era cominciato ad utilizzare il berillio anche in altri tipi di reattore, successivamente è stato abbandonato proprio per la sua tossicità. In un concetto tipo *Starfire*, ve ne sono 0,6 metri cubi, che rappresentano quel rivestimento interno che serve a isolare il plasma dalla struttura metallica. L'aspetto negativo dello *Starfire* (in altri tipi di reattore la situazione è diversa, nel NET, per esempio, invece del berillio dovrebbe essere usata la grafite) è che, essendo il primo strato a diretto contatto con il pla-

sma, il primo impatto di una situazione incidentale avviene proprio con il berillio. Qualunque innalzamento anomalo di temperatura investe direttamente il berillio che, essendo tossico e vaporizzandosi, costituisce una soluzione poco igienica da utilizzare per il rivestimento interno. Ripeto, comunque, che siamo a livello di studio concettuale compiuto negli Stati Uniti.

La prospettiva di migliorare la situazione è data dalla possibilità di una diversa scelta di materiale, subordinata allo sviluppo di particolari materiali. Si sente parlare di materiali ceramici (materiali a carburo). Per il momento non sono state ancora individuate soluzioni alternative, ma certamente sarebbe auspicabile il raggiungimento di un obiettivo di questo genere, perché si avrebbe la possibilità di diminuire l'inventario totale di radioattività che, in condizioni incidentali, certamente non è piacevole. La presenza di prodotti di attivazione significa anche che, dopo lo spegnimento della macchina, si continua a produrre calore per il decadimento proprio dei prodotti di attivazione. Questo è un altro punto che, in condizioni incidentali, potrebbe dare molti problemi.

Compiendo un confronto fra reattore a fusione e reattore a fissione, vediamo che il calore di decadimento ha un ordine di grandezza più o meno equivalente; per la precisione, è leggermente più alto quello nei reattori a fissione. Però, se pensiamo ad altre fonti di energia potenziale disponibile, vediamo che il calore sensibile nel nocciolo, più o meno comparabile nelle due soluzioni, è leggermente più alto per la fusione, perché vi sono altre energie potenziali disponibili, in particolare quella dei magneti, che nei reattori a fissione non esistono. Quindi le energie sono comparabili, l'inventario totale dei prodotti radioattivi è comparabile. Abbiamo fatto un'analisi di quello che può essere un impatto di questo tipo sull'ambiente esterno e sui lavoratori; dalle stime fatte sullo *Starfire*, il gruppo che ha pensato questo tipo di reattori ha previsto rilasci dell'ordine di 10 mila curie annui di trizio e circa mezzo curie annuo di pro-

dotti di attivazione, perché i sistemi di refrigerazione portano con sé del trizio e perché globalmente si prevede che i prodotti di attivazione vengano fuori dalla corrosione, dall'erosione materiale da parte dell'acqua, una cosa inevitabile. Questo, tradotto in termini di dose alla popolazione, porta a qualche millirem all'anno, dello stesso ordine di grandezza di quello che può dare un progetto unificato di nuova concezione. Le cose vanno leggermente male (rispetto alla fissione) per la fusione circa la produzione dei rifiuti solidi, cioè la sostituzione, periodica, della camera toroidale dà una produzione di rifiuti ad alta attività di 63 metri cubi all'anno. Questi sono prodotti che hanno un contenuto in curie che va dai 10 ai 10 mila e passa curie per metro cubo con prodotti di attivazione a vita media piuttosto lunga, come cobalto, piombo e vari composti che richiedono un deposito definitivo di non utilizzazione per mille anni, cioè si ha lo stesso tipo di prodotti rispetto alla fissione dei reattori cosiddetti convenzionali. Esiste anche una produzione di rifiuti a bassa attività, anzi a bassa-media attività (in quanto l'ordine di curie per metro cubo è dello stesso tipo della fissione), circa 1.300 metri cubi all'anno, che derivano da problemi di manutenzione delle parti più esterne del mantello, dai filtri dei sistemi di purificazione del trizio, dai problemi dell'impianto di riprocessamento di trizio e quindi dalla successiva utilizzazione nel reattore. I rifiuti ad alta attività (63 metri cubi) secondo la classificazione DISP sono della terza categoria, cioè richiedono una separazione dalla biosfera dell'ordine di mille anni; i rifiuti di 1.200 metri cubi all'anno nella gran parte rientrano nella seconda categoria DISP e richiedono un confinamento dell'ordine di qualche secolo. Questi rifiuti sono permeati all'interno di trizio; da essi vi è la convenienza a tirare fuori il litio per successive utilizzazioni: è previsto un processo che direi, con un termine un po' ardito, dello stesso tipo del reattore a fissione per tirare fuori il materiale buono dai rifiuti. In questo caso, data la frequenza delle operazioni vi è da

prevedere, da questo punto di vista, un impatto di dose occupazionale per i lavoratori piuttosto sostanziale. Nello studio fatto del Department of energy la dose occupazionale dovuta a questo tipo di reattore è stata stimata nell'ordine di 400/600 man-rem all'anno, per i processi di manutenzione, per l'elevata attività che hanno tutte le strutture, per il fatto di dover sostituire ogni sei anni tutti i settori; a ciò bisogna aggiungere i problemi di trattamento del trizio per cui una stima globale, pur con incertezze dovute alla scarsa definizione del progetto ed alla eventuale futura diversa scelta di materiali, dovrebbe arrivare all'ordine di 1000 man-rem all'anno. Oggi siamo, come previsioni, sotto i 400 man-rem all'anno, quindi si tratta di un aspetto da approfondire nel giorno in cui vi saranno progetti più concreti.

Passiamo a questo punto, anche se velocemente, ad un confronto fra i rifiuti dei reattori a fusione e quelli a fissione. Come ho affermato prima, i rifiuti ad alta attività sono di 63 metri cubi all'anno a fronte dei 15-20 dei reattori a fissione, mentre per i rifiuti a bassa attività il volume rispetto al pressurizzato è di circa tre volte e quindi, almeno allo stato attuale, questo è un punto a sfavore. È stato fatto uno studio, anche se minimo, di analisi di situazioni incidentali; anche qui sono previsti incidenti base di progetto, che in questo caso sono costituiti da perdita di refrigerante, il famoso loca, di cui spesso abbiamo parlato per i reattori a fissione; vi è qualcosa di diverso per il problema della rottura del plasma, cioè un annichilimento del plasma che cede energie alle pareti in modo istantaneo; vi è un problema di possibili incidenti di magneti; vi è un problema di reazioni chimiche perché sia il berillio, sia il litio sono fortemente reattivi e si sta cercando un composto per abbassare la reattività chimica; vi è un problema di fuoco perché c'è della grafite; vi è un rischio di esplosione di idrogeno, quindi vi è anche un problema di perdita di contenimento delle apparecchiature del trizio. Fra tutti questi incidenti quello che appare più

grave è, ancora una volta, come nei reattori a fissione, la perdita di refrigerante. Nel caso di perdita di refrigerante vi è un rilascio di prodotti di attivazione di trizio nonché di berillio verso l'ambiente esterno, e questo rende necessaria una funzione di contenimento, come nei reattori a fissione, e di ancoraggio di tutta la macchina in un involucro che possa contenere questi rilasci dei prodotti di attivazione.

Sotto questo punto di vista, allo stato attuale delle conoscenze si registra un vantaggio per la fusione, cioè i rilasci considerati in questo studio sono di un fattore 10 inferiori rispetto ai corrispondenti rilasci di un reattore a fissione: ciò significa che invece di 1.000 curie ne possono uscire 100. Inoltre, i prodotti che possono fuoriuscire da un reattore a fusione presentano un rischio radiologico di norma inferiore rispetto ai corrispondenti prodotti scaturenti da un reattore a fissione. Esiste, però, una considerazione di carattere generale, che intendo esternarvi, dovuta all'incertezza di questi numeri. Mentre per la fusione i dati sono valutati dal progettista, per la fissione sono quelli presi a base nel rapporto tra esercente ed ente di controllo, e costituiscono un limite superiore rispetto al rilascio nel contenimento. Di conseguenza, se effettuassimo un confronto tra le stime del progettista di un reattore a fissione, non so se il fattore 10 resterebbe in piedi: ad ogni modo, oggi, in presenza di questo fattore il rischio radiologico connesso ai rilasci da fusione, rispetto alla fissione, è minore. Ciò di cui ho parlato finora riguarda il rilascio incidentale al sistema di contenimento, non sono state eseguite valutazioni di rilasci ambientali esterni perché manca un progetto congelato di reattore. Non sappiamo come venga assicurata la funzione di contenimento, per cui le valutazioni che potrebbero conseguire sarebbero ancora più aleatorie di questi numeri. Sempre per la mancanza di un progetto congelato non sono state fatte valutazioni per possibili incidenti degradati, vale a dire incidenti severi che nei reattori a fissione comportino la fusione del

nocciolo e, in questo caso, potrebbero comportare la fusione o la volatilizzazione della parete-mantello. Evidentemente, in mancanza di un progetto definito è impossibile eseguire un'analisi dei diversi alberi dei guasti prima e delle differenti sequenze poi che possono portare alle condizioni degradate, con relativa valutazione dell'impatto ambientale esterno.

In proposito, vorrei sottolineare che sia le energie potenziali sia l'inventario di radioattività presenti nell'impianto non impediscono di pensare ad incidenti degradati, i quali possono portare all'esterno quantità di radioattività più consistenti di quelle dovute ad incidenti base di progetto. Esiste un aspetto che nel caso particolare dello *Starfire* rappresenta un vantaggio, cioè la bassa densità di potenza della macchina che, però, in alcuni studi svolti si tende ad aumentare. Di conseguenza, la valutazione circa l'impatto in caso di incidente (sia esso base di progetto sia incidente severo) è da considerare con riserva, in quanto connesso alla densità di potenza. È chiaro, quindi, che se la densità di potenza viene aumentata, aumenterà corrispondentemente anche la concentrazione di prodotti di attivazione nelle strutture. In condizioni di normale esercizio le dosi alla popolazione di un reattore a fusione e di uno a fissione sono presumibilmente comparabili, entro i dieci millirem all'anno; per la normale gestione dell'impianto si presume una maggiore produzione di rifiuti solidi ed un aumento delle esigenze di smaltimento dato che la quantità globale di rifiuti prodotti annualmente è superiore rispetto ai reattori a fissione. Inoltre, si registra una maggiore dose occupazionale, cioè i lavoratori assorbirebbero una dose molto più elevata: la stima globale si aggira intorno ai mille man-rem a fronte dei 350-400 stimati nei reattori pressurizzati. C'è un'osservazione che vorrei sottolineare: nei rifiuti da fusione sono assenti il plutonio ed i transuranici derivanti dal processo di fissione. Nel momento in cui lo dico, sostengo anche che il problema è poco rilevante perché il rifiuto ha bisogno in ogni caso

di un certo tipo di confinamento, che sarà millenario in caso di alta attività e centenario in caso di bassa attività. Il reattore a fusione si presenta, quindi, leggermente svantaggiato rispetto ai reattori a fissione dal momento che fa registrare maggiore dose occupazionale ed una maggiore produzione di rifiuti a fronte di un identico impatto ambientale.

I due punti a favore sono rappresentati dai rilasci incidentali di progetto, che sono stimati inferiori a quelli dei reattori a fissione (anche se non trascurabili) e dal minor potenziale di danno radiologico che, a parità di rilascio, nei reattori a fusione è inferiore rispetto a quelli a fissione, per il diverso livello di rischio radiologico degli elementi liberati. Questa osservazione è particolarmente importante soprattutto nell'ipotesi di incidenti severi, cioè quelli che possono portare alla liberazione di consistenti quantità di radioattività. In questi casi, evidentemente, cambia la dimensione del problema, per il diverso livello di rischio radiologico. Reso uguale a uno il rischio radiologico del trizio, vi sono tre elementi comuni, ma vi è tutta una serie di elementi tipici della fissione (cesio, iodio e plutonio) aventi un rischio radiologico più elevato. Occorrerebbe fare tutto un ragionamento sulle effettive quantità in gioco e sull'inventario globale di radioattività.

PRESIDENTE. Al fine di chiarire anche la domanda del collega Tessari, ricordo che il professor Coppi affermò che fino a circa il 1980 si era ritenuto che con le tecnologie non si potesse utilizzare altro che la miscela deuterio-trizio, poiché è la più facile da accendere e che uno dei motivi di ciò era legato ad un risultato, ad una teoria che lui stesso aveva sviluppato intorno al 1965 e che era eccessivamente pessimistica. In base a nuovi risultati teorici, ottenuti con uno studente e due collaboratori al Massachusetts Institute of technology - dichiarò ancora il professor Coppi - troviamo una "seconda regione di stabilità" dei plasmi relativi e la conseguenza di questo fu che potemmo dimostrare la fat-



tibilità teorica dei reattori più avanzati, che non usano il trizio, e in particolare del reattore cosiddetto pulito a elio 3.

Il professor Coppi, insieme ad un collega, il professor Necci, propose il nome Kathairai o Candor per indicare che esso rappresentava una nuova forma, migliore, di energia nucleare.

Questo è quanto riferì il professor Coppi durante la sua audizione.

**GIOVANNI NASCHI, Direttore della DISP-ENEA.** Però siamo, come vede, ancora ad un lavoro di tipo teorico che, certamente, rispetto al deuterio-trizio, è ancor più ad uno stato embrionale. Né va sottovalutata la maggiore temperatura richiesta.

**PRESIDENTE.** Mi pare che l'ingegner Naschi si sia riferito con ampiezza di dati, ed in modo specifico ad una delle macchine il cui progetto è attualmente disponibile e all'impatto dal punto di vista dei problemi di sicurezza e di protezione sanitaria dei reattori a fusione. Possiamo passare alle domande dei colleghi.

**LUCIANO RIGHI.** Sono un po' sconcertato dopo la relazione dell'ingegner Naschi, perché la nostra concezione della fusione era quella di un'energia pulita. In realtà, specialmente nell'ultima fase della sua relazione, ci siamo trovati in presenza di produzione di materiali tossici, berillio ed altri. Addirittura si è parlato di millenni (in caso di alta attività) e di secoli (in caso di bassa attività) per l'eliminazione delle scorie. L'ingegner Naschi, molto sinteticamente ma anche molto chiaramente, ha indicato alcune ipotesi di incidenti dovuti, per esempio, alla rottura del plasma, alla perdita del refrigerante ed altri ancora. Tra l'altro, egli ha parlato di omogeneità dei residui da fusione e da fissione. Mi pare, ingegnere, che l'ipotesi di energia pulita stia per essere minata sulla base dalla sua relazione. Le domando, allora: agli effetti della sicurezza, tenendo conto che le basi di incidente, in termini quantita-

tivi, sono simili, se non addirittura maggiori (lei ha citato il caso del refrigerante, per esempio) di quelli della fissione, possiamo essere tranquilli? E in tal caso, quali sono gli elementi di tranquillità per l'opinione pubblica che, se venisse a sapere delle ipotesi che ci sono state prospettate questa sera, non solo potrebbe essere allarmata, ma potrebbe anche porsi in una situazione psicologica nettamente contraria? Nel caso in cui lei ci potesse tranquillizzare, come potremmo impostare un discorso di garanzia per le popolazioni, una volta che sia utilizzata la fusione nucleare?

**GIOVANNI BIANCHINI.** Mi ricollego a quanto ha detto ora il collega Righi. Dopo l'incidente di Chernobyl con semplicità, o forse con superficialità, fu resa nota all'opinione pubblica la possibilità alternativa « pulita » della fusione, che sembrava, tra l'altro, raggiungibile in tempi brevi. Ormai è trascorso un certo periodo e la Commissione industria della Camera è al termine dell'indagine conoscitiva sulla fusione: abbiamo scoperto che i tempi sono quelli che sono e che il problema della sicurezza è rilevante, almeno allo stato attuale dei progetti esistenti. Partendo da tali constatazioni, che indubbiamente preoccupano, le chiedo, ingegner Naschi: la tecnologia della sicurezza che si sta sperimentando per i reattori a fissione (immagino con una certa sollecitudine di tutti i Paesi, dopo i fatti di Chernobyl) per arrivare al reattore definito intrinsecamente sicuro, in che misura può aiutare a risolvere i problemi della sicurezza legati alla fusione? Mi pare che sia importante vedere le connessioni tra fissione e fusione anche negli aspetti relativi alla sicurezza. Ritengo sia inutile chiederle quante siano le probabilità di incidente grave, perché è una domanda cui è difficilissimo rispondere. Però ritengo che possa rispondere a quanto le ho domandato in precedenza.

**ALESSANDRO TESSARI.** Vorrei dire che alcuni miei colleghi sono ingenui se non suppongono che l'ingegner Naschi sia fur-

bo ed abbia preso partito, nella sua colta relazione, per il sistema della fissione. È evidente che la fusione ha delle scorie; ricordo di avere visitato molti anni fa, circa quindici, il JET e di aver appreso dai tecnici di allora che la fusione avrebbe creato problemi.

**GIOVANNI NASCHI**, *Direttore della DISP-ENEA*. La natura non regala niente.

**ALESSANDRO TESSARI**. Certamente; dicevo che l'ingegner Naschi ha enfatizzato il problema delle scorie quotidiane, ma rimane il dato di fondo che la scoria più imbarazzante, come per il sistema della fissione, è come far sparire il nocciolo, che rimane la scoria più imbarazzante da occultare. Come per il sistema della fissione, le tecnologie prevedono tempi lunghissimi e da qui derivano le drammatiche attese delle popolazioni come quella del Garigliano. Sono d'accordo con il collega Bianchini che all'indomani dell'incidente sovietico si è dato in pasto alla opinione pubblica, come alternativa alla fissione il sistema della fusione. Si è visto che le popolazioni hanno un bisogno fideistico di avere certezze nel consumo sfrenato di energia con fonti poco costose e illimitate. Non sono un amico del nucleare in nessuna veste, ma sono convinto che sia necessario essere obiettivi nei confronti di tutti e due i sistemi.

Credo sia stata utile questa ricognizione di materiali, vedremo poi come « distillarli » per trarne le nostre valutazioni. Certamente questa indagine conoscitiva svolta dalla Commissione rappresenta un elemento importante nei confronti della conferenza sull'energia che si aprirà in gennaio (una voce importante anche se non l'unica). Credo che molti elementi siano per noi di difficile valutazione poiché, come ha già rilevato il collega Bianchini, si parla di ipotesi dei reattori che non sono realizzati e nel caso fossero realizzati potrebbero aprire ai tecnici frontiere catastrofiche di incidenti che non siamo oggi in grado di valutare. È comunque importante che la DISP abbia affrontato

questa tematica anche per progetti *in itinere*; ripeto, però, che siamo di fronte a problemi di là da venire. Come considerazione conclusiva direi che vi è estrema necessità – e l'ingegner Naschi sa bene quanto i radicali insistano su questo aspetto – di arrivare ad una autorità tecnico-scientifica, e in qualche modo politica, in materia di sicurezza che rappresenti un punto di riferimento per il Parlamento. È tempo quindi di affrontare il problema dello scorporo della DISP dallo ENEA; per quanto mi riguarda, nell'ambito del dibattito che ci sarà sul risparmio energetico, proporrò un emendamento che preveda una cifra non inferiore a venti miliardi da destinare all'attuazione di questo scorporo della DISP dall'ENEA. Fino a che rimarrà questa sigla DISP-ENEA continueranno ad esserci perplessità, soprattutto da parte nostra. Ritengo che sia importante dare attuazione all'autonomia di questo organismo che non può essere lo stesso dell'ENEA. Nelle sue parole, ingegner Naschi, ho sentito una ridondanza rispetto alle parole pronunciate dal professor Colombo.

**GIOVANNI NASCHI**, *Direttore della DISP-ENEA*. Debbo dire che non ho neanche letto la relazione di Colombo.

**ALESSANDRO TESSARI**. Questo è anche peggio, vuol dire che vi è sintonia disorganica! Comunque ho terminato, e ringrazio per l'attenzione.

**SALVATORE CHERCHI**. Vorrei sapere se le conclusioni, che l'ingegner Naschi ci ha illustrato in questa sede sono estrapolabili in linea di principio anche da una macchina ipotetica, da studiare, basata sul confronto inerziale.

**ELIO GIOVANNINI**. Anch'io ho la stessa curiosità del collega Cherchi, anche perché qui erano state affermate cose diverse e cioè che per quanto riguarda il confinamento inerziale la ricaduta non era

confrontabile con l'ipotesi della macchina Tokamak; vorrei chiarimenti in merito a questo argomento.

**PRESIDENTE.** Anch'io vorrei delucidazioni in merito alle cose dette dall'ingegner Naschi. Nella sua relazione è emersa, rispetto ai dati che ci erano stati comunicati finora, una maggiore possibilità di rischio di radiazioni per il personale occupato. Sostanzialmente, finora, ci era stato fatto capire che si era sviluppato un processo di governo automatico della macchina in questione, con una riduzione delle quantità di interventi e, quindi, delle possibilità di esposizione al rischio di radiazione.

**GIOVANNI NASCHI, Direttore della DISP-ENEA.** Vorrei iniziare con una *excusatio non petita* che, nel caso specifico, non è per l'*accusatio*. L'onorevole Tessari sostiene di aver avuto l'impressione di un partito a favore della fissione. Mi dispiace di aver dato un'impressione del genere: non era assolutamente nelle mie intenzioni. Probabilmente ciò è derivato dall'aver confrontato parallelamente fissione e fusione, spinto da una sorta di reazione psicologica a quanto affermato dall'onorevole Bianchini, vale a dire che la fusione è stata presentata come la panacea di tutti i mali, come qualcosa di assolutamente pulito, per cui dall'enfasi del discorso può essere derivata un'impressione errata. Non è questa la mia idea e credo di aver detto molto chiaramente che, a fronte di un maggior impatto atteso per il tipo di macchina preso in considerazione, certamente il reattore a fusione - stante la possibilità sia di incidenti base di progetto sia di incidenti che portano a condizioni degradate della macchina, con fuoriuscita di quantità di radioattività più consistenti, rese possibili dalla concomitante presenza di sufficiente energia potenziale e di un inventario totale di prodotti radioattivi - si presenta meglio rispetto a quelli a fissione. Infatti, i tipi di radionuclidi in gioco sono diversi, esiste un diverso ri-

schio radiologico associato ed un diverso impatto che, oggi, non sappiamo quantificare, ma è certamente differente da quello che un incidente severo di un reattore a fissione potrebbe causare. Credo che questo risponda a quanto sosteneva l'onorevole Righi. Le garanzie di sicurezza risiedono nella buona progettazione e nell'adozione di tecniche che consentano di mantenere confinati nella macchina i prodotti radioattivi, ciò che in effetti avviene per i reattori a fissione. Lo sviluppo della cultura della sicurezza che si è avuto, si ha e si avrà anche in futuro per i reattori a fissione rappresenta un bagaglio indispensabile per affrontare i problemi di sicurezza legati ai reattori a fusione. Le tecniche di analisi e di verifica dei progetti sono comuni a tutti gli impianti a rischio di incidenti rilevanti - siano essi reattori nucleari a fusione, a fissione, impianti petrolchimici, chimici, eccetera - varia solamente il campo di applicazione. E tutto questo è stato sviluppato in campo nucleare al fine di evitare tale tipo di incidenti. D'altra parte, non è un luogo comune affermare che l'energia nucleare è nata con la sicurezza perché fin dall'inizio, parallelamente alle tecnologie nucleari, si sono sviluppate le metodiche per arginare i rischi connessi al nucleare.

Quanto sia « estrapolabile » quanto sostenuto da me con riferimento ad altri tipi di macchine è presto detto. Per diverse concezioni tipo fusione inerziale o confinamento magnetico con una differente struttura del campo magnetico, non si hanno a disposizione studi di progetto per cui è difficile comparare il Tokamak e la fusione inerziale. Certamente, come ho sottolineato anche nella mia esposizione, all'origine il problema è costituito dalla presenza di trizio e dei neutroni che derivano dalla fusione, che non si possono « annichilire », ma debbono perdere energia la quale serve per produrre il calore, altrimenti non si ha energia elettrica. Sinceramente, non so se esistano concezioni di macchine inerziali che nel vuoto assoluto, prima, riescono a trasferire l'energia dei neutroni e delle par-

ticelle alfa prodotte nella fusione direttamente al fluido vettore - che porta allo esterno il calore prodotto - e poi perdono energia in quantità tale da non attivare le strutture circostanti. Stando con i piedi per terra, posso solo ripetere che in quell'impianto vi è del trizio il quale, reagendo con il deuterio, produce particelle alfa e neutroni. Ma questi devono essere rallentati per poter estrarre il calore, quindi devono « impattare » e dove impattano causano danni poiché sono in grado di attivare il materiale con cui entrano in contatto. L'ordine di grandezza dei problemi non è diverso anche se potrà variare a seconda delle diverse concezioni.

**PRESIDENTE.** I termini di decadimento sono stati stimati nell'ordine di dieciododici anni.

**GIOVANNI NASCHI, Direttore della DISP-ENEA.** È un problema di composizione dei materiali che, per altro, ho sottolineato. Fino a quando si useranno gli attuali materiali, vale a dire acciaio austenitico costituito da carbonio e da elementi leganti (nichel e cobalto) i prodotti di attivazione saranno quelli tipici. Ora, si sta pensando - sottolineo pensando - a materiali di tipo ceramico, a materiali a base di carburi, ma, ripeto, si sta pensando, non c'è ancora una scelta definitiva. Si pensa di approfondire il problema dei materiali per ridurre l'inventario dei prodotti di attivazione e qualsiasi passo avanti nella messa a punto dei differenti tipi di materiali porterà ad uno sgravio delle condizioni.

Ci si è riferiti alle dosi occupazionali. Gli studi che si stanno compiendo tendono ad una forte robotizzazione dei processi di manutenzione. Aspetto negativo della fusione, sotto questo profilo, è rappresentato dalla necessità di sostituire periodicamente i materiali strutturali della macchina. Per quanto siano processi che si possa pensare di robotizzare, è l'uomo che, ad un certo punto, viene a contatto con l'impianto. E di qui che de-

rivano le stime del Department of energy, di un organismo che ha funzione promozionale per la fusione e per la fissione. Alla stima di 400-600 man-rem/anno va aggiunta tutta la dose occupazionale che deriva dal trattamento del trizio. Vorrei sottolineare anche che (senza per questo attirarmi l'accusa di « fissionista ») man mano che si sviluppano le tecniche robotizzate, si avvantaggeranno anche gli altri tipi di reattore. Quindi, il dislivello tra i due sistemi presumibilmente si manterrà costante: se diminuisce uno, diminuisce anche l'altro e la differenza che ne deriva è sempre dovuta alla concezione dell'impianto, cioè alla tecnologia dell'impianto e, quindi, al problema dei diversi tipi di intervento che bisogna compiere in modo metodico. Anche in un reattore a fissione si può presentare la necessità di sostituire un prodotto attivato, ma questa è considerata una forma di manutenzione straordinaria, un caso che può verificarsi nella vita dell'impianto. Ma quando si tratta di un impianto in cui, ogni anno bisogna sostituire quattro settori, siamo di fronte ad un fatto ordinario; le dosi occupazionali corrispondenti, quindi, vanno riferite a fasi ordinarie e non straordinarie.

**PRESIDENTE.** Desidero ringraziare lo ingegner Naschi, ed i suoi collaboratori, per l'esposizione che ci è stata fatta. Al di là delle delusioni del collega Righi, credo che ascoltare più voci non tutte coerenti, in qualche caso contraddittorie, dia il segno dell'utilità di questa indagine sulla fusione nucleare e quindi un contributo da offrire al Paese su questa complessa vicenda tecnica e scientifica. Quanto meno essa servirà a questo, se non a ulteriori decisioni che potremo trarre anche dall'esposizione dell'ingegner Naschi che, proprio per le sue dirette responsabilità, credo abbia voluto evidenziare fino in fondo i pericoli ed i rischi connessi al procedere su una strada. Come giustamente egli ha sottolineato, la natura non cede senza prezzi i suoi segreti e le sue potenzialità, ma l'uomo, in genere,

non si è fermato nei secoli di fronte a questo. Quindi, certamente, anche alla luce dei pericoli e dei rischi paventati, vi è una linea da seguire, soprattutto per le considerazioni di ordine più generale che sono state fatte, e cioè l'inesauribilità della fonte cui la fusione si riferisce. È que-

sto aspetto di più lungo periodo che interessa l'umanità e gli stessi equilibri del rapporto con la natura. Ancora grazie, ingegner Naschi, per il suo intervento.

**La seduta termina alle 17,55.**