

ARCHIVES HISTORIQUES DE LA COMMISSION

COLLECTION RELIEE DES
DOCUMENTS "COM"

COM (78)616

Vol. 1978/0239

Disclaimer

Conformément au règlement (CEE, Euratom) n° 354/83 du Conseil du 1er février 1983 concernant l'ouverture au public des archives historiques de la Communauté économique européenne et de la Communauté européenne de l'énergie atomique (JO L 43 du 15.2.1983, p. 1), tel que modifié par le règlement (CE, Euratom) n° 1700/2003 du 22 septembre 2003 (JO L 243 du 27.9.2003, p. 1), ce dossier est ouvert au public. Le cas échéant, les documents classifiés présents dans ce dossier ont été déclassifiés conformément à l'article 5 dudit règlement.

In accordance with Council Regulation (EEC, Euratom) No 354/83 of 1 February 1983 concerning the opening to the public of the historical archives of the European Economic Community and the European Atomic Energy Community (OJ L 43, 15.2.1983, p. 1), as amended by Regulation (EC, Euratom) No 1700/2003 of 22 September 2003 (OJ L 243, 27.9.2003, p. 1), this file is open to the public. Where necessary, classified documents in this file have been declassified in conformity with Article 5 of the aforementioned regulation.

In Übereinstimmung mit der Verordnung (EWG, Euratom) Nr. 354/83 des Rates vom 1. Februar 1983 über die Freigabe der historischen Archive der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft und der Europäischen Atomgemeinschaft (ABl. L 43 vom 15.2.1983, S. 1), geändert durch die Verordnung (EG, Euratom) Nr. 1700/2003 vom 22. September 2003 (ABl. L 243 vom 27.9.2003, S. 1), ist diese Datei der Öffentlichkeit zugänglich. Soweit erforderlich, wurden die Verschlussachen in dieser Datei in Übereinstimmung mit Artikel 5 der genannten Verordnung freigegeben.

COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE

COM(78) 616 def.

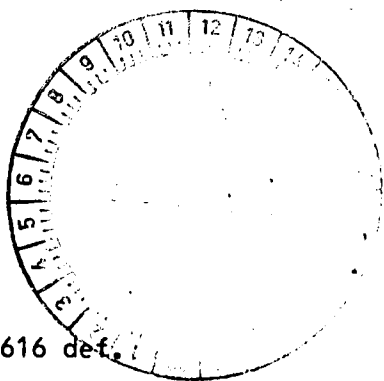
Bruxelles, 21 novembre 1978

Proposta
per un
PROGRAMMA DI RICERCA E D'INSEGNAMENTO (1979-1983)
PER LA COMUNITA' EUROPEA DELL'ENERGIA ATOMICA
NEL SETTORE
DELLA FUSIONE TERMONUCLEARE CONTROLLATA

(presentata dalla Commissione al Consiglio)

Il programma proposto dalla Commissione riguarda praticamente tutta l'attività europea nel campo della fusione. Tale programma è stato impostato sulla base delle raccomandazioni del "Gruppo di Collegamento" (assistito da "Gruppi Consultivi" ed Esperti"), tenendo conto del parere preliminare del "Comitato Consultivo per la Fusione". Le consultazioni con le organizzazioni associate sono avvenute anche tramite il "Comitato dei Direttori".

La Commissione ringrazia i membri di questi comitati per averla aiutata a raggiungere un compromesso tra le ambiziose proposte tecniche e la considerazione realistica delle limitazioni finanziarie.



COM(78) 616 def.

INDICE

	pagina
A) MOTIVAZIONE	2 - 61
I. Introduzione	
I.1. La fusione come fonte di energia	2
I.2. Natura comunitaria del programma	3
I.3. Motivazione dell'iniziativa della Commissione	3
I.4. Motivazione della presente proposta di programma	4
II. Situazione della ricerca sulla fusione termonucleare	
II.1. Generalità	5
II.2. Situazione scientifica e tecnica	6
II.3. Contesto mondiale	8
II.4. Situazione in Europa	10
II.5. Sintesi dei principali risultati ottenuti nei primi tre anni dell'attuale programma	20
III. Programma proposto	
III.1. Informazioni derivanti dagli studi di programmazione a lungo termine	23
III.2. Obiettivi del programma quinquennale	23
III.3. Confinamento magnetico	26
III.4. Tecnologia della fusione	36
III.5. Confinamento inerziale	44
III.6. Riassunto del programma proposto	46
IV. Realizzazione	
IV.1. Situazione finanziaria del programma 1976-1980	49
IV.2. Proposta di programma per il 1979-1983	50
IV.3. Organizzazione	59
B) Proposta di decisione del Consiglio che adotta un programma di ricerca e d'insegnamento (1979-1983) della CEEA nel settore della fusione termonucleare controllata	62
C) Parere del Comitato Scientifico e Tecnico	68
Parere del Comitato Consultivo per la Fusione	70
D) Scheda finanziaria	71

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

I.1. LA FUSIONE COME FONTE DI ENERGIA

Il problema delle fonti di energia è ben lungi dall'essere risolto a lungo termine sul piano mondiale. La fusione termonucleare è una delle poche fonti che potrebbero risolvere tale problema o dare un contributo sostanziale alla sua soluzione. E' superfluo rilevare anche in questa sede la gravità del problema energetico in Europa. I benefici potenziali che l'Europa può trarre dall'energia di fusione risultano più evidenti se si tiene conto dell'alto livello di consumo energetico per unità di superficie, della latitudine e del clima.

Lo sviluppo dei reattori di potenza a fusione è un'impresa lunga, complessa e costosa e alla luce delle conoscenze attuali il suo successo non è garantito. Ma se si tiene conto dell'obiettivo finale, i costi e i rischi non sono sproporzionati. D'altronde il costo annuo dell'attuale programma fusione è comparabile a quello del consumo comunitario di petrolio di una giornata.

Sulla base di tali considerazioni, nel 1958 la Comunità europea ha iniziato un programma "fusione termonucleare controllata e fisica dei plasmi" per stabilire se è possibile produrre energia utile a prezzi competitivi dalle reazioni tra nuclei leggeri. Tale programma dovrà condurre alla costruzione in comune di reattori prototipo destinati ad essere industrializzati e commercializzati. E' necessaria una valutazione continua delle potenzialità dell'energia di fusione e delle risorse da essa richieste in modo da disporre di una base per le decisioni di programmazione nel quadro più generale della R & S sull'energia.

Visti i progressi fatti negli ultimi anni è ragionevole attendersi che la fattibilità scientifica dei reattori a fusione sia dimostrata entro il prossimo decennio. Per raggiungere questo primo obiettivo dovrebbe essere sufficiente proseguire con un lieve potenziamento l'attuale impegno. Le fasi successive dovrebbero essere la dimostrazione della fattibilità tecnica e, quindi, della possibilità di produrre energia economicamente. Alcuni studi di programmazione, svolti indipendentemente in tutto il mondo da diversi gruppi di esperti, indicano che un reattore dimostrativo

potrebbe essere già costruito per la fine del secolo. A tal fine è tuttavia essenziale che i progressi in materia di fattibilità tecnica intervengano immediatamente e ciò richiede ulteriori sforzi nella tecnologia della fusione.

I.2. NATURA COMUNITARIA DEL PROGRAMMA

Il programma è per decisione del Consiglio un progetto di collaborazione a lungo termine che comprende tutte le attività svolte all'interno degli Stati membri sulla fusione e sulla fisica dei plasmi ed è finanziato in parte dalla Commissione. In passato la Comunità è riuscita a superare le difficoltà nell'impostazione di un programma comune europeo di fisica dei plasmi, ma ora è necessario avviare un consistente programma di tecnologia della fusione per il quale un'integrazione europea, sebbene più difficile da raggiungere, è ancora più necessaria che per la fisica. La decisione iniziale del Consiglio di condurre su base europea la R&S orientata sui reattori a fusione è stata il risultato di trattative di vasta portata; gli interessi nazionali specifici nel campo della fusione dovrebbero ancora essere considerati in questo contesto. Si dovrebbe accentuare l'aspetto comunitario dell'intero programma per garantire uno sviluppo efficace ed economico del reattore. Tale tendenza è ampiamente illustrata nella recente creazione dell'impresa comune JET, che sarà il punto focale del programma europeo negli anni futuri. Il fatto che l'Europa abbia preparato in pochi anni un progetto avanzato dell'importanza di JET è la conseguenza di uno sforzo paziente di integrazione svolto in precedenza dalle associazioni.

I.3. MOTIVAZIONE DELL'INIZIATIVA DELLA COMMISSIONE

Dalla sua creazione l'Euratom ha fornito finanziamenti e personale per promuovere le attività dei laboratori degli Stati membri e la loro integrazione in un programma comune nell'ambito delle associazioni.

Le principali motivazioni di tale iniziativa della Commissione sono:

- l'ampiezza delle risorse finanziarie e umane richieste che induce a non svolgere tali attività su base nazionale;
- l'esistenza di un'esigenza collettiva comune a tutti gli Stati membri;
- la durata delle attività (sino alla fine del secolo) da svolgere per giungere al reattore;
- in caso di successo, l'apertura di un vasto mercato comunitario per il reattore europeo.

I.4. MOTIVAZIONE DELLA PRESENTE PROPOSTA DI PROGRAMMA

Nel 1975 la Commissione ha proposto il principio del "programma a cicli sovrapposti" (adozione di un nuovo programma quinquennale dopo tre anni d'esecuzione del programma precedente) per garantire la continuità del programma stesso ed il suo eventuale riorientamento in funzione dell'evoluzione della situazione scientifica e tecnica.

Il 25 marzo 1976 il Consiglio dei Ministri ha deciso che "la Commissione presenterà al Consiglio, nel 1978, una proposta di revisione volta a sostituire al presente programma un nuovo programma quinquennale a decorrere dal 1° gennaio 1979" (1).

Nel parere sul programma quinquennale fusione 1976-1980 il Comitato Scientifico e Tecnico (CST) ha "considerato positiva l'intenzione della Commissione di procedere ad una revisione a metà quinquennio e di prevedere un programma a cicli sovrapposti" e "ha chiesto alla Commissione di rivolgere, al momento della revisione, un'attenzione particolare alla fusione per confinamento inerziale e ai problemi tecnologici".

I motivi che hanno indotto la Commissione a proporre il presente programma sono i seguenti:

- a) i progressi compiuti nella fisica dei Tokamak consentono di intraprendere nuovi esperimenti specifici che sono indispensabili per compiere ulteriori progressi;
- b) i metodi di riscaldamento recentemente sviluppati e provati con successo possono essere applicati alle macchine di confinamento già costruite o in costruzione: ed è necessario un salto quantitativo in questo campo;
- c) poiché la costruzione del JET è già stata decisa, i lavori preliminari della nuova fase devono iniziare immediatamente se si vuole dare il via alla progettazione nel corso del prossimo programma quinquennale; è necessario pertanto aggiustare gli obiettivi a breve termine del programma e il suo contenuto;
- d) sono stati individuati i problemi chiave della tecnologia della fusione per la filiera Tokamak ed è iniziata una collaborazione internazionale su due di questi problemi (grandi bobine superconduttrici e effetti del bombardamento neutronico sui materiali): ora è possibile ed auspicabile organizzare un programma tecnologico per la soluzione dei problemi che caratterizzano la nuova fase.

(1) GU n. L 90 del 3.4.1976

CAPITOLO II

SITUAZIONE DELLA RICERCA SULLA FUSIONE TERMONUCLEARE

II.1. GENERALITA'

II.1.1. Fisica

Per ottenere un bilancio energetico positivo mediante i processi di fusione, la temperatura del plasma (o più esattamente la temperatura degli ioni) deve superare un valore tipico di 10 keV; anche la qualità del confinamento del plasma deve superare un dato limite. Il valore che misura la qualità del confinamento del plasma è il prodotto $n\tau$ della densità del plasma "n" e del tempo di confinamento " τ ". Un reattore a fusione richiederà un $n\tau$ superiore a 10^{14} ioni per cm^3 secondo. Il primo problema della ricerca sulla fusione è quindi come raggiungere questi valori minimi (fattibilità fisica) poi come costruire una macchina risolvendo tutti i problemi tecnici che si incontrano in un reattore (fattibilità tecnica) e infine come progettare un reattore che produca energia a costi competitivi (fattibilità economica). In realtà, queste tre fasi non sono indipendenti: per es. programmando gli esperimenti per dimostrare la fattibilità fisica è ovviamente molto importante considerare la possibilità di eventuali estrapolazioni verso futuri reattori.

II.1.2. Confinamento magnetico e inerziale

Per raggiungere il valore richiesto di $n\tau$ si può ricorrere a due estremi:

- usare un valore relativamente basso della densità e mantenerlo per "lunghi" tempi di confinamento (dell'ordine di 1 minuto); questa è la soluzione del confinamento magnetico, in cui il plasma di grandi dimensioni (alcuni m^3) è mantenuto all'interno di un volume fisso (il più delle volte di forma toroidale) mediante l'azione di campi magnetici creati da forti correnti che circolano in bobine esterne e, nel caso dei Tokamaks, anche all'interno del plasma stesso;
- usare un'altissima densità del plasma per brevi periodi (inferiori ad un milionesimo di secondo); questa è la soluzione del confinamento inerziale in cui il combustibile (deuterio e tritio),

.../...

- inizialmente contenuto in una piccola sfera cava (di diametro 1 cm) viene compresso e riscaldato molto rapidamente da intensi fasci di luce (laser) oppure di elettroni o di ioni. Nel combustibile avviene quindi la reazione di fusione durante la libera esplosione del "bersaglio". La durata è limitata soltanto dall'inerzia, da cui il nome di "confinamento inerziale";
- le ricerche già eseguite hanno dimostrato che le soluzioni intermedie non sembrano particolarmente promettenti.

II.2. SITUAZIONE SCIENTIFICA E TECNICA

II.2.1. Confinamento magnetico

La situazione è illustrata (figure 1-A,B,C) dall'evoluzione, che si è prodotta negli ultimi anni, di alcuni parametri fondamentali del plasma nei Tokamak (un tipo particolare di macchina toroidale). Le figure indicano anche i valori minimi (già menzionati) per raggiungere il dominio del reattore. Va sottolineato che progressi di notevole importanza sono stati annunciati nella linea Tokamak:

1. Temperature ioniche di 60 milioni di gradi (prossime a quelle necessarie a un reattore) ad una densità di 2.10^{13} ioni per cm^3 , sono state ottenute a Princeton nella macchina PLT. Questo risultato importante rivela che il timore degli effetti negativi provenienti dall'alta temperatura ionica (III.3.1.3) era infondato.
2. La validità della vantaggiosa legge di scala (III.3.1.1) del tempo di confinamento τ (τ proporzionale alla densità del plasma ed al quadrato del raggio minore del plasma) è stata confermata, in un dominio di parametri più largo, essenzialmente da FT (Frascati), che lavora a 600 kAmp e 80 kGauss, e da PLT (Princeton), che lavora ad alta temperatura.
3. I valori di Beta medio (III.3.1.2) ai quali si è pervenuti sono dell'ordine del 2% nelle macchine T-11 (USSR) e Tosca (Culham). Inoltre, per un dato campo magnetico toroidale, è stato possibile aumentare notevolmente la corrente di plasma in diverse macchine: Diva (Giappone), Alcator (USA), TFR (Fontenay-aux-Roses) e T-11 (URSS).

.../...

La maggior parte di questi progressi provengono direttamente dall'impiego di potenti sistemi di riscaldamento ausiliario. Una semplice estrapolazione del ritmo di sviluppo mostra che vi sono buone speranze di raggiungere il dominio del reattore poco dopo il termine del programma quinquennale utilizzando le macchine della futura generazione. Ciò non significa che una di queste macchine costituirà il reattore stesso ma esse consentiranno l'accesso a nuovi regimi del plasma a temperature più alte che potrebbero eventualmente modificare le leggi di scala attualmente ipotizzate. Dato che il comportamento dei plasmi contenenti tritio, che producono notevole quantità di energia termonucleare, è ancora sconosciuto, saranno certamente necessarie ampie indagini. Inoltre lo sviluppo delle tecnologie dovrà essere completato prima che si possa dimostrare la fattibilità tecnica.

II.2.2. Confinamento inerziale

I risultati recenti sono particolarmente promettenti: sono state ottenute implosioni simmetriche del bersaglio, con conseguenti rapporti di compressione elevati (circa 1000) del plasma e ritmi accelerati della reazione termonucleare (10^9 per scarica). Notevoli progressi nella tecnologia della fusione mediante laser (cfr. figura 1.D) e nei generatori di fasci di elettroni dovrebbero portare ad un rapido miglioramento del rendimento di questi sistemi. Più specificamente:

1. Fusione Laser. Due sistemi a fasci multipli funzionano ora ad un livello di potenza superiore a 10 TW: Shiva (neodimio) a Livermore e Helios (CO_2) a Los Alamos. In un futuro prossimo implosioni sistematiche di granuli dovranno essere effettuate a piena potenza. Antares, un sistema Laser CO_2 di 100 TW, è in costruzione a Los Alamos e dovrebbe essere ultimato nel 1982.
2. Fasci di elettroni. I notevoli progressi compiuti nelle tecniche del trasporto dei fasci, permettono di progettare dei sistemi a fasci multipli. EBFA, una macchina di 30 TW a 20 fasci dovrebbe entrare in funzione presso la Sandia (USA) nel 1980. Una macchina di 100 TW è in costruzione presso l'Istituto Kurchatov (Mosca).

Risultati fisici di estrema importanza dovrebbero dunque essere raggiunti nei prossimi anni. Esperimenti di "Breakeven" che dovrebbero dimostrare la fattibilità fisica, sono previsti per la metà degli anni '80.

II.3. CONTESTO MONDIALE

II.3.1. Bilanci

In tre anni (1975-1978) il bilancio annuo americano per la fusione è più che raddoppiato, superando il limite di 400 milioni di dollari nel 1978 (per il confinamento magnetico ed inerziale). Le attività giapponesi sono notevolmente aumentate (di 12 volte tra il 1970 e il 1976) raggiungendo ora quasi la metà delle attività europee. Nell'URSS, dove è difficile disporre di cifre assolute, sembra che le attività siano paragonabili a quelle degli USA.

II.3.2. Grandi Tokamak

Dati i progressi ottenuti con i Tokamak, macchine a confinamento magnetico, lo sviluppo di questa linea è stato molto più rapido delle altre. Oltre a progetti di dimensione intermedia ogni programma comprende la preparazione e la costruzione di un grande Tokamak per l'inizio del prossimo decennio (JET in Europa, TFTR negli USA, JT-60 in Giappone, T-10 M nell'URSS). Inoltre i problemi tecnologici connessi con i futuri reattori vengono analizzati soprattutto sulla base di progetti Tokamak.

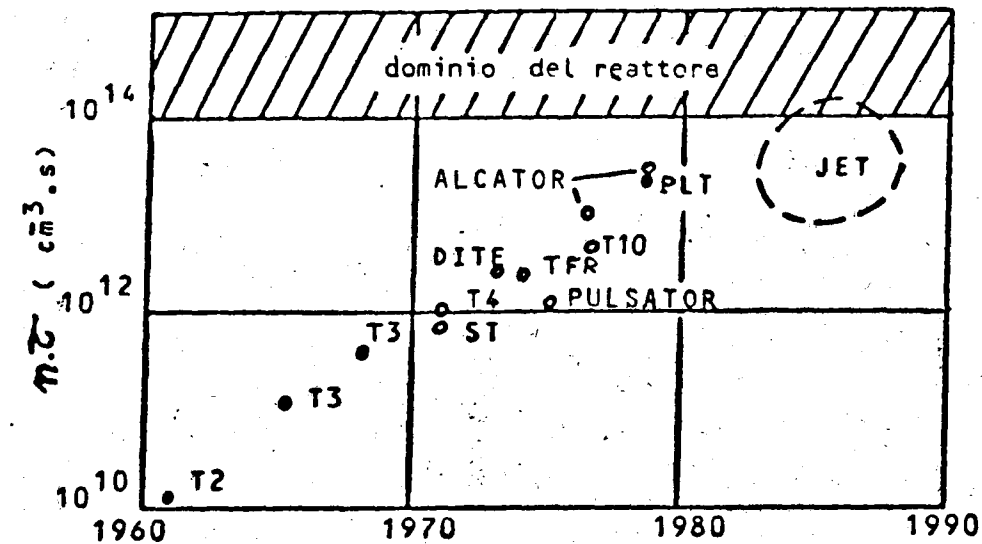
II.3.3. Altre soluzioni a confinamento magnetico

In termini relativi negli ultimi anni sono diminuite le attività sugli specchi magnetici, Stellarator e configurazioni ad alto beta. Tuttavia gli americani hanno ottenuto notevoli successi con gli specchi e stanno proseguendo le attività in questo campo, mentre hanno abbandonato le esperienze di grandi dimensioni sugli Stellarator. L'Europa ha seguito la strada opposta abbandonando gli specchi per concentrarsi sugli Stellarator (Wendelstein VII A, a Garching, è il più grande Stellarator esistente) e sulle configurazioni ad alto beta, cosicché i programmi europeo ed americano sono complementari per queste linee ausiliarie.

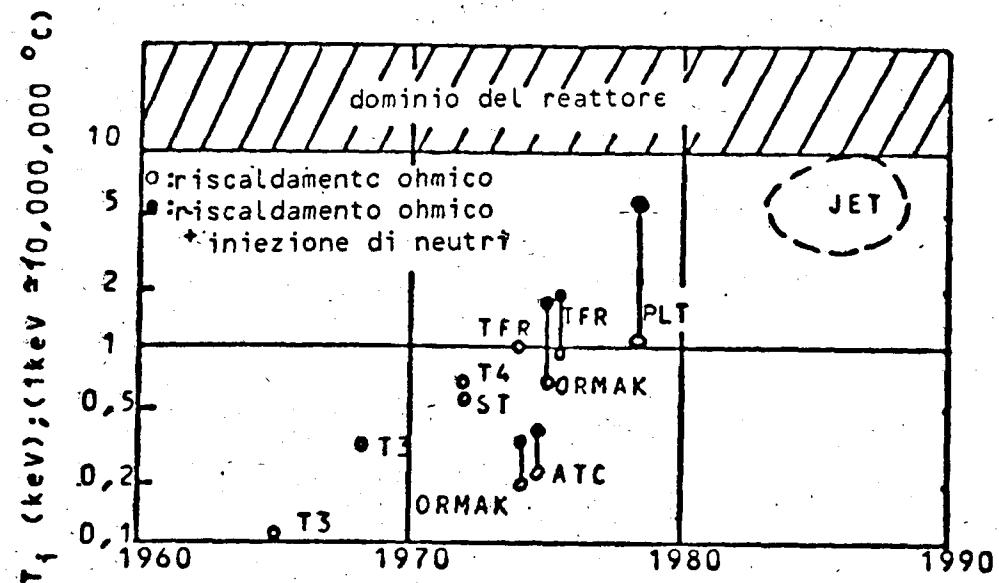
II.3.4. Confinamento inerziale

Questa linea di ricerca rappresenta una valida alternativa ai Tokamak. Sebbene nuova (l'attività su vasta scala è stata avviata solo nel 1971) questa linea si sta rapidamente espandendo negli USA, nell'URSS e in Giappone (da una frazione trascurabile delle attività americane nel 1972 ha raggiunto il 30% circa del bilancio fusione degli USA nel 1978). In questa linea rimangono ancora da

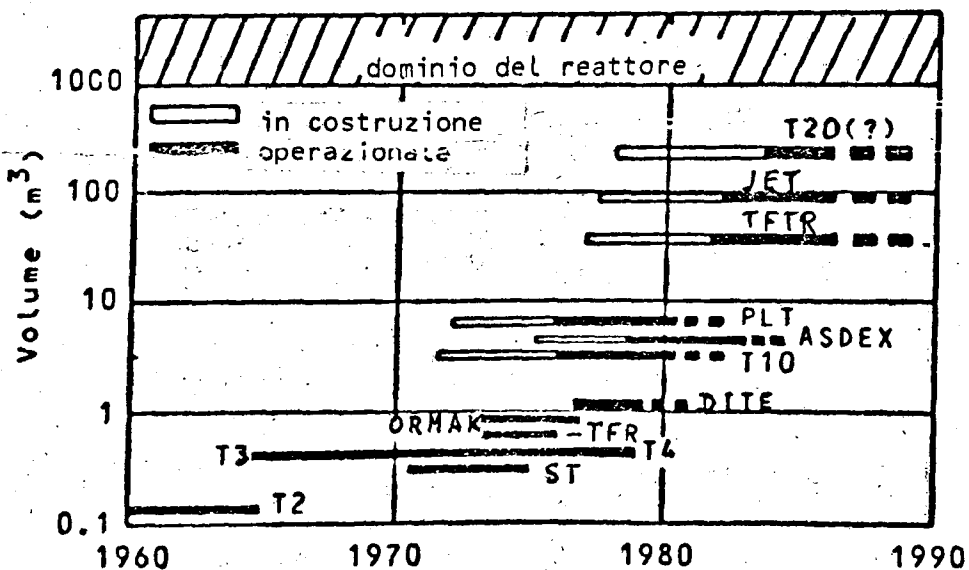
.../...



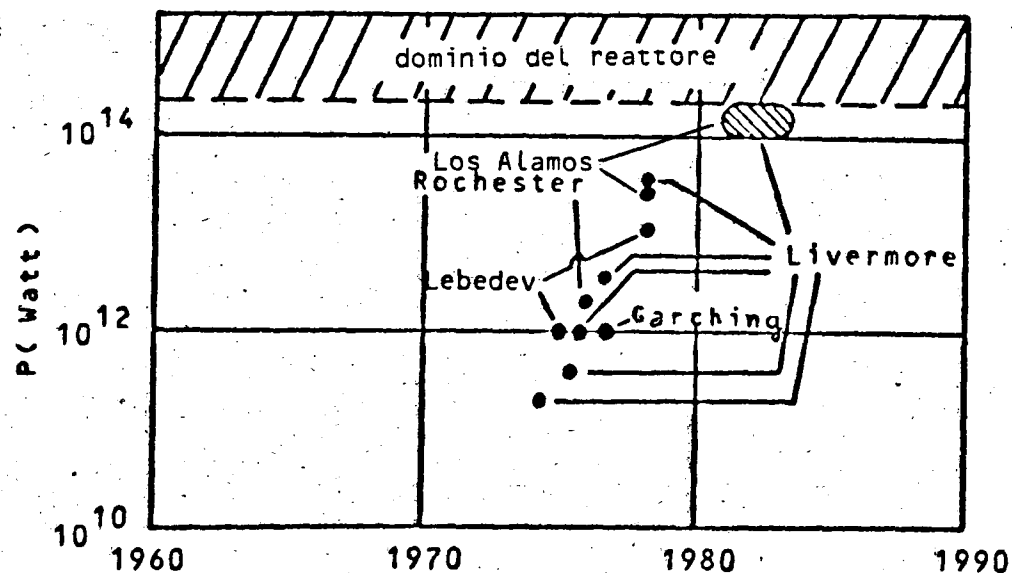
A - QUALITA' DEL CONFINAMENTO NEI TOKAMAK



B - TEMPERATURA DEGLI IONI NEI TOKAMAK



C - VOLUME DEL PLASMA NEI TOKAMAK



D - POTENZA DEI FASCI LASER

FIG.1. EVOLUZIONE DI ALCUNI IMPORTANTI PARAMETRI DAL 1960

"risolvere numerosi problemi (per esempio la scelta tra laser e fasci di elettroni o di ioni). Ciò nonostante sono previsti esperimenti cruciali verso l'inizio degli anni '80; per esempio SHIVA-NOVA, l'esperimento a raggi laser da 10^{14} watt di Livermore, dovrebbe diventare operativo prima di JET e potrebbe permettere di raggiungere le condizioni di "break-even".

II.3.5. Collaborazione internazionale

- Lo scambio di informazioni senza formalità è stato per molti anni particolarmente soddisfacente a livello mondiale soprattutto nel campo del confinamento magnetico. Sarebbe opportuno sottolineare che i laboratori associati potranno partecipare a questo scambio di informazioni soltanto finché il programma comunitario in materia di fusione contribuirà in maniera sostanziale ai risultati mondiali. Può già essere rilevato un certo squilibrio dovuto a uno sforzo maggiore degli Stati Uniti negli ultimi anni. La cooperazione ufficiale ha luogo nel quadro di due organizzazioni: l'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (AIEA) e l'Agenzia Internazionale per l'Energia (AIE).
- La Commissione è rappresentata nel Consiglio Internazionale della Ricerca sulla Fusione della AIEA attraverso il quale fornisce il proprio contributo all'organizzazione delle conferenze mondiali nel campo della fisica dei plasmi e sulle ricerche in materia di fusione nucleare controllata, nonché alla pubblicazione della rivista "Nuclear Fusion" e ad altre attività specifiche di cooperazione, per esempio la conferenza annuale sui grandi Tokamak.
- Nel quadro dell'AIE, la Commissione è "l'organizzazione principale" per la ricerca in materia di fusione termonucleare e agisce per conto dei suoi associati nel quadro del programma comunitario sulla fusione, per la conclusione di accordi specifici. Negli ultimi due anni sono stati conclusi tre accordi di attuazione, preparati dal Comitato di coordinamento per l'energia da fusione dell'AIE: sulla sorgente intensa di neutroni, sul progetto grandi bobine e sull'interazione plasma-parete (Textor). Inoltre è in corso da tre anni uno scambio periodico di informazioni sulle macchine sperimentali molto grandi (TFTR negli USA, JET nella Comunità e JT-60 in Giappone), completato da una serie di riunioni su problemi specifici di costruzione.

II.4. SITUAZIONE IN EUROPA

II.4.1. Introduzione

- Questo è il quinto programma quinquennale proposto al Consiglio e

la proposta viene presentata per la prima volta mentre il programma precedente è in corso da meno di tre anni, conformemente alla decisione del Consiglio del 25 marzo 1976. Anche se tre anni possono rappresentare un periodo breve nel campo della ricerca, numerosi temi, come esposto qui di seguito, hanno registrato notevoli progressi dalla presentazione dell'ultimo programma, giustificando "a posteriori" l'utilità del concetto di "programma mobile".

- Il principale obiettivo degli ultimi due programmi era lo sviluppo in Europa della ricerca sui Tokamak in modo da raggiungere un livello di competitività sul piano internazionale. Questo obiettivo è stato pienamente realizzato: la costruzione di JET è effettivamente iniziata e un gruppo complementare di macchine di medie dimensioni ha consentito all'Europa di svolgere negli ultimi anni una funzione di primo piano su scala mondiale nelle ricerche sui Tokamak. Altre macchine sono in fase di costruzione o di messa a punto.
- Nel quadro del confinamento magnetico le alternative ai Tokamak (Stellarator, configurazioni ad alto beta,...) sono attualmente allo studio a un livello adeguato; nel quadro delle attività globali, il loro peso relativo sta diminuendo.
- Sono stati sviluppati, con particolare successo, i metodi di riscaldamento del plasma. La messa a punto del riscaldamento assorbe una forte quota, in continuo aumento, del programma fusione.
- Il confinamento inerziale rappresenta una piccola parte dello sforzo globale.
- Esiste un programma di tecnologia di portata relativamente limitata, dedicato al tipo attuale di macchine e alla generazione successiva di esperimenti, con il reattore a fusione come obiettivo finale. Questo programma è attualmente in fase di espansione in particolare a causa dell'interesse crescente nel campo della superconduttività.

II.4.2. JET

La preparazione dell'"Impresa comune JET" si è conclusa nel 1977 con la scelta del sito di Culham. Al termine della fase provvisoria (giugno 1978) è cominciata la fase di costruzione. Secondo le previsioni la macchina dovrebbe entrare in funzione con le prestazioni di base nel 1983 o anche prima (vedere paragrafo III.3.2.1). Al termine della fase provvisoria del progetto l'organico JET comprende circa 50 persone ed è stata costituita la struttura interna di gestione del gruppo. Sono stati conclusi con le Associazioni circa 150 contratti su attività

.../...

specifiche per l'attuazione del programma. Per le attività svolte da terzi (principalmente industrie) sono stati firmati circa 100 contratti riguardanti essenzialmente prove e costruzione di componenti della macchina. In particolare sono stati ordinati la camera a vuoto, le bobine del campo toroidale e l'alimentazione di energia elettrica (gruppi motore-generatore-volano). Infine è stato firmato un contratto di consulenza per gli edifici specifici di JET e i servizi connessi.

II.4.3. Altri Tokamak

Un dispositivo Tokamak è caratterizzato essenzialmente dalle sue dimensioni e dai campi magnetici di confinamento. Idealmente il plasma contenuto dovrebbe essere denso, caldo, pulito, confinato per un lungo periodo " τ " e avere un alto beta (beta è il rapporto tra la pressione del plasma e la pressione esercitata dal campo magnetico e rappresenta una misura dell'efficienza della macchina). Il solo JET non è sufficiente per affrontare tutti i problemi che sono da risolvere prima di poter avviare la nuova generazione dei Tokamak, né è stato concepito per tale scopo. I principali Tokamak già in funzione nella Comunità, TFR (Fontenay), Pulsator (Garching) e Dite (Culham), hanno contribuito in maniera essenziale ai progressi generali. TFR è rimasto il Tokamak più potente ($I=400$ kA) del mondo fino al 1976, quando cioè sono entrate in funzione le macchine T-10 e PLT; TFR ha raggiunto di recente temperature di 2 keV. Pulsator ha fornito un eccellente contributo allo studio delle instabilità del plasma e, malgrado la dimensione relativamente piccola e il debole campo magnetico, ha prodotto plasma ad alta densità n e ad alto valore del prodotto $n\tau$. Dite, il primo Tokamak munito di divertore (sistema magnetico per eliminare le impurezze del plasma), viene attualmente utilizzato in importanti esperimenti di riscaldamento del plasma mediante iniezione di particelle neutre veloci. Tosca (Culham) è un piccolo Tokamak nel quale si studiano la forma delle sezioni e la compressione adiabatica. Erasmus (Bruxelles), una macchina piccola ma molto compatta e Petula e Wega (Grenoble) servono essenzialmente per lo studio del riscaldamento del plasma mediante radiofrequenza. FT (Frascati), una macchina a forte campo magnetico, è tecnologicamente l'impresa più ambiziosa decisa in Europa nel corso del terzo programma; entrata in funzione alla fine del 1977 potrebbe essere tra i primi Tokamak nel mondo a raggiungere all'interno del plasma una corrente di 1 mega-ampère. Oltre alla modifica recentemente apportata a TFR per ottenere prestazioni più elevate, sono in fase di completamento due nuove grandi macchine: Asdex (Garching) che sarà un Tokamak con "divertore poloidale" e forte riscaldamento mediante iniezione di neutri, e Textor

.../...

(Jülich) che è l'oggetto di un accordo internazionale di attuazione per la cooperazione con gli americani, sarà dedicato principalmente al problema importante dell'interazione plasma-parete.

II.4.4. Riscaldamento

- Il riscaldamento ohmico è intrinsecamente presente in un Tokamak in quanto, tale configurazione è definita essenzialmente come la combinazione fra una corrente toroidale trasportata dal plasma e un campo toroidale sovrapposto. Si può tuttavia dimostrare, con l'eventuale eccezione delle macchine a campo molto forte, che mediante il riscaldamento ohmico non si raggiungeranno mai le temperature di fusione. Inoltre, per un determinato campo toroidale l'efficienza del riscaldamento ohmico diminuisce con l'aumento delle dimensioni della macchina. Pertanto, nelle macchine più grandi attualmente completate o in costruzione, è necessario un riscaldamento ausiliario per conseguire alte prestazioni. Negli ultimi anni è stata riconosciuta l'importanza di un potente riscaldamento supplementare. Si ritiene che, nella maggior parte dei futuri Tokamak, i sistemi di riscaldamento ausiliario potrebbero costare quanto la macchina stessa.
- Due metodi sono attivamente sviluppati: l'iniezione di fasci di particelle neutre ad alta intensità, un sistema già in funzione a livelli di potenza considerevoli (in megawatt), e la radiofrequenza che, sebbene meno avanzata, sembra più promettente per le future grandi macchine e reattori. La Commissione ha tentato con successo di coordinare le attività di R & S in materia di riscaldamento: i laboratori di Culham e Fontenay-aux-Roses sono responsabili dello sviluppo del sistema mediante iniezione di neutri, mentre Grenoble e Bruxelles si stanno specializzando nella radiofrequenza. Sono inoltre in corso studi di base sul riscaldamento turbolento e a fasci di elettroni.
- Livelli di potenza comparabili a quelli di riscaldamento ohmico sono stati raggiunti di recente con il riscaldamento mediante iniezione di neutri nel TFR (600 kW) e Dite senza alterare la qualità del confinamento. Contemporaneamente sono in fase di messa a punto iniettori da 1 megawatt a Culham e Fontenay-aux-Roses sulla base di contratti JET. Questi iniettori potranno essere applicati anche a macchine come Textor, Asdex o TFR-604. Il recente successo nella messa a punto del riscaldamento mediante iniezione di neutri può essere considerato uno dei migliori risultati conseguiti dai laboratori associati.

.../...

- In merito al sistema di riscaldamento a radiofrequenza è stata raggiunta un'esperienza ad alto livello. L'Europa è effettivamente competitiva in questo settore e dispone di alcune macchine toroidali destinate specificamente allo studio di questo tipo di riscaldamento. Sono stati ottenuti risultati promettenti con Petula e Wega presso il laboratorio di Grenoble, che ha la responsabilità principale in questo campo e collabora con l'E.R.M. di Bruxelles, che dovrebbe fornire un contributo mediante Erasmus.

II.4.5. Stellarator

Si tratta di macchine toroidali in cui il campo magnetico è prodotto essenzialmente da bobine situate all'esterno della camera del plasma. Sebbene più complessi dei Tokamak sotto il profilo della progettazione, essi dovrebbero essere più flessibili e in linea di massima poter funzionare in regime continuo. Le macchine attuali Wendelstein VII-A e Cleo hanno già funzionato con riscaldamento ohmico, prodotto mediante corrente e sono state raggiunte temperature degli ioni di 300 eV e $n\tau$ di 10^{12} . Rispetto ai Tokamak paragonabili non presentano alcuna distruzione dell'equilibrio, hanno densità limite più elevata e proprietà di confinamento che aumentano con il diminuire della corrente di riscaldamento ohmico. Le difficoltà tecniche hanno finora impedito l'installazione della grande camera prevista per il W VII-A. L'esperienza Isar T-1, uno Stellarator "ad alto beta", è stata chiusa dopo aver dimostrato la possibilità di ottenere l'equilibrio in tale configurazione.

II.4.6. Configurazioni ad alto beta

I Tokamak non hanno ancora raggiunto i valori di beta richiesti da un reattore economico. Inoltre le previsioni teoriche sul valore massimo di beta sono incerte e devono ancora essere controllate sperimentalmente. Il comportamento dei plasmi ad alto beta è attualmente allo studio in numerose macchine: nei Tokamak pulsati ad alto beta, come Spica (Jutphaas), Belt Pinch (Garching, ora chiuso) e Tenq (Jülich, ora chiuso), negli Stellarator ad alto beta e nelle macchine a magnetostrizione a campo inverso. La maggior parte dell'attività ad alto beta nella Comunità è concentrata sulla magnetostrizione a campo inverso in un programma di cooperazione tra Culham (HBTX) e Padova (Eta-Beta). Sulla base della teoria ideale dei fluidi, le magnetostrizioni a campo inverso possono essere stabili per valori di beta fino al 40%. Valori di beta tra il 10 e il 40% sono stati osservati in via sperimentale benché a temperature relativamente basse. A Culham è stata completata la progettazione del grande esperimento RFX la cui gamma di parametri è comparabile con quella degli attuali Tokamak.

II.4.7. Confinamento inerziale

In Europa la situazione generale non è soddisfacente. La Commissione a causa di un'eventuale interesse militare di alcuni aspetti del confinamento inerziale non ha potuto coordinare tutta l'attività di fusione in questo campo. E non è ancora possibile favorire l'espansione dell'attività sul confinamento inerziale come sarebbe giustificato sia dai risultati pubblicati di recente da altri paesi, che dalle attuali politiche degli USA, dell'URSS e del Giappone.

- Nel campo della fusione a laser, l'associazione Euratom-IPP è ad un livello leggermente inferiore l'associazione Euratom-CNEN, svolgono limitate indagini sperimentali con un certo appoggio in campo teorico da parte delle associazioni Euratom-Etat Belge e Euratom-NSBESD (Svezia). Queste attività sono troppo modeste per competere con quelle svolte fuori d'Europa. Qualche anno fa sono stati avviati al di fuori del programma fusione Euratom alcuni nuovi programmi nazionali (Rutherford Laboratory, Ecole Polytechnique) che si stanno sviluppando rapidamente. Infine fra i laboratori che svolgono attività più o meno segrete, si sa che gli sforzi sono particolarmente intensi a Limeil e più limitati a Aldermaston.
- Nel campo della fusione mediante fasci di elettroni o di ioni non esiste in pratica alcuna attività in Europa.
- Nel campo meno delicato del "plasma focus", il coordinamento è più soddisfacente. Le associazioni Euratom-UKAEA e Euratom-CNEN stanno lavorando in stretto contatto con alcune università tedesche (in particolare Stoccarda). Un'attività indipendente è in corso a Limeil. In queste macchine vengono raggiunte per tempi brevi densità elevate e temperature termonucleari e produzione di un grande numero di reazioni di fusione. Le prestazioni della macchina di Frascati da 1 megajoule sono attualmente limitate a 10^{12} neutroni per impulso (contro 10^{13} previsti dalle leggi di scala) a causa delle interazioni plasma-parete attualmente all'esame.

II.4.8. Diagnostica

Nonostante i notevoli progressi nella ricerca sui Tokamak, l'accumulo delle osservazioni sperimentali resta il principale compito dei fisici in questo campo. La diagnostica del plasma è quindi d'importanza

.../...

essenziale ed è in corso: uno sforzo notevole in tutti i laboratori per applicare a determinate macchine le tecniche note o per sviluppare nuovi metodi di diagnostica. Le misure locali della densità e della temperatura degli elettroni vengono ora effettuate con metodi ben collaudati. La determinazione della temperatura degli ioni e della composizione "chimica" del plasma (tenore d'impurezze) è molto meno sviluppata, mentre le misure della distribuzione della corrente del plasma e delle interazioni plasma-parete sono in una prima fase di sviluppo.

Nel campo del confinamento inerziale anche l'applicazione della diagnostica nota a situazioni specifiche richiede notevoli sforzi a causa delle altissime risoluzioni spazio-temporali necessarie (valori tipici: un millesimo di mm e 1 miliardesimo di secondo).

II.4.9. Teoria e calcolo

Il recente sviluppo degli studi teorici è stato caratterizzato da una crescente interazione con il programma sperimentale e da un rapido aumento dei calcoli numerici. Il principale sforzo teorico è stato dedicato alla comprensione dei limiti del Tokamak (fenomeni disruptivi, diffusione termica anomala e dinamica delle impurezze) e all'applicazione della teoria della propagazione delle onde elettromagnetiche allo studio del riscaldamento mediante radiofrequenza.

Sono stati elaborati potenti codici di calcolo numerico per lo studio del comportamento del plasma e di problemi di ingegneria del Tokamak, che sono d'uso corrente nei vari laboratori. L'interpretazione dei risultati sperimentali (sistemi di acquisizione di dati) è un altro settore in cui sta rapidamente crescendo l'impiego dei calcolatori elettronici.

II.4.10. Tecnologia della fusione

Il programma di tecnologia è stato stabilito con lo scopo di valutare la possibilità di attuare nel corso del programma quinquennale successivo un consistente programma tecnologico che sia orientato verso la realizzazione dell'obiettivo finale.

Attualmente le attività di tecnologia della fusione sono essenzialmente le seguenti:

1. Per quanto riguarda la collaborazione nel quadro dell'AIE sono in corso tre accordi di attuazione:

- sorgenti intense di neutroni: esiste una notevole incertezza nella

.../...

scelta della proposta di progetto per la costruzione di un generatore di neutroni da 14 MeV

- interazione plasma-parete: TEXTOR-Jülich (vedi II.4.3.)
 - progetto di grandi bobine: LCP-Oak Ridge (USA). Il contributo europeo consiste nella costruzione di almeno una bobina Nb-Ti da provare sull'installazione americana in una grande configurazione magnetica toroidale.
2. Nel luglio 1977 il Consiglio dei Ministri (1) ha assegnato al Centro Comune di Ricerca, nel quadro della sua attività pluriennale (1977-1980) un programma di tecnologia della fusione termonucleare con i seguenti orientamenti (2)
- proseguimento e ampliamento della partecipazione del CCR agli studi europei di progettazione di reattori a fusione, già in corso da alcuni anni in cooperazione con Frascati e Napoli (gruppo FINTOR)
 - contributo all'analisi dei problemi relativi alla sicurezza e agli aspetti ambientali della fusione
 - partecipazione allo studio dei materiali per la fusione e in particolare dei danni da radiazioni e alla valutazione delle tecniche e delle apparecchiature per tali indagini.
3. In quasi tutti i laboratori associati sono stati svolti studi di sistemi, non soltanto sui Tokamak, ma anche sugli RFX (Culham), Internal Ring (Jülich, Stoccolma), Belt/Screw Pinch (Petten, Jutphaas). Un gruppo che opera a Garching è responsabile dell'impostazione e dell'applicazione di un codice modulare di calcolo per lo studio di diversi progetti per la fusione.
4. L'iniezione di granuli come metodo di alimentazione del combustibile viene studiata a Risø e a Garching.
5. Oltre alla principale attività di sviluppo delle bobine superconduttrici classiche a Karlsruhe per il progetto di Grandi Bobine (LCP),

.../...

(1) GU L 200 dell'8 luglio 1977

(2) Dal punto di vista amministrativo e di bilancio questa attività viene svolta sotto la responsabilità del CCR-Ispira. Per garantire l'unità del programma comunitario nel campo della fusione questa attività è coordinata dal direttore del programma fusione; il gruppo di collegamento - di cui il CCR è membro - svolge la funzione di comitato consultivo in materia di gestione del programma per l'attività di ricerca svolta presso il CCR.

Sono iniziati lavori sui materiali superconduttori avanzati (A-15) a Frascati, Petten e Saclay. Quest'ultimo laboratorio è interessato anche alla sperimentazione dei conduttori raffreddati a elio superfluido per il TORUS II.

6. A Jülich viene svolta un'attività sperimentale sulla termodinamica dei sistemi Li-T.
7. A Jülich e a Harwell sono in corso studi sui danni da neutroni nella massa del materiale (simulazione)
8. A Garching e Culham sono all'esame i danni superficiali prodotti da particelle energetiche.
9. Studi di neutronica sono svolti a Harwell, Jülich e Karlsruhe.

II.4.11. Attuazione del programma

L'importanza della ricerca sulla fusione termonucleare giustifica più che mai un'azione coordinata da parte della Comunità. Le attività già svolte sono state sufficientemente promettenti da indurre paesi che non appartenevano alla Comunità a chiedere l'associazione al programma comunitario sulla fusione. Un primo accordo è stato concluso con la Svezia nel 1976 e dovrebbe essere seguito da un accordo analogo con la Svizzera nel 1978. Tali accordi sono seguiti dalla conclusione di contratti di associazione.

Durante il precedente programma quinquennale il contratto per la mobilità del personale ha consentito a circa 40 fisici e ingegneri di spostarsi dal loro laboratorio ad un altro laboratorio associato, per periodi di parecchi mesi e un numero analogo di scambi ha già avuto luogo durante la prima metà del presente programma. In tali occasioni si ha spesso anche un trasferimento di materiale scientifico (per esempio apparecchiatura di diagnostica). Lo studio delle interazioni plasma-parete nel TFR (gruppi di Garching e Jülich distaccati a Fontenay) e il programma di collaborazione su Wega (gruppo di Garching distaccato a Grenoble) sono tra gli esempi più significativi di questi ultimi anni. Questa stretta cooperazione al di là delle frontiere nazionali sostiene il confronto con i migliori esempi di collaborazione anche all'interno degli Stati membri.

.../...

Per l'attuazione del programma fusione la Comunità si avvale di:

1. Un organico di 860 specialisti (a metà 1978), compreso il gruppo del JET. L'organico totale compreso il sostegno tecnico e amministrativo è di poco più di 3000 agenti. Questo totale non è una somma di gruppetti geograficamente dispersi ma rappresenta un complesso ben integrato di specialisti in grado di lavorare insieme su scala europea, come è stato dimostrato durante la fase di progettazione di JET.
2. 19 laboratori specializzati con apparecchiature moderne. I nomi e le associazioni corrispondenti sono riportati nella tabella I.
3. Strutture di gestione create su iniziativa della Commissione e attraverso le quali l'attività di ogni laboratorio è integrata in un vero ambito europeo. Grazie a tali strutture gli Stati membri della Comunità si trovano in una situazione competitiva rispetto ad altri programmi sulla fusione nel mondo.

TABELLA I

Associazioni e Organizzazioni	Paesi	Date	Laboratori
EUR-CEA	Francia	1959	Fontenay-aux-Roses Grenoble
EUR-CNEN-CNR	Italia	1960	Frascati e in seguito Padova e Milano
EUR-IPP	Germania	1961	Garching
EUR-FOM	Olanda	1962	Jutphaas, Amsterdam
EUR-KFA	Germania	1962	Jülich
EUR-EB	Belgio	1968	ERM e ULB
EUR-UKAEA	Regno Unito	1973	Culham
EUR-Risø	Danimarca	1973	Risø
EUR-NSBESD	Svezia	1976	Stockholm, Göteborg, Studsvik
EUR-CH	Svizzera	1978 (?)	Losanna
JET		1977	vicino a Culham
JRC		1977	Ispira

.../...

II.5. SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI NEI PRIMI TRE ANNI DELL'ATTUALE PROGRAMMA

II.5.1. Tokamak

Per quanto riguarda la qualità del confinamento, i progressi più recenti vengono dagli USA con valori di $n \tau$ sull'asse di $2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$ (ALCATOR), valore ottenuto anche nel PLT dove si è inoltre raggiunta una temperatura degli ioni di 2,5 keV. Questi risultati sono di appena un ordine di grandezza inferiori a quelli richiesti dal criterio di Lawson, per $n \tau$, e meno di tre volte inferiori per la temperatura degli ioni. Temperature degli ioni superiori ai 2 keV sono invece state ottenute in Europa nel 1976 nel TFR, superando così per la prima volta la temperatura degli elettroni. Enormi progressi sono stati ottenuti recentemente nella Comunità nel campo della purezza del plasma. All'inizio del programma 1976-1980 questo parametro costituiva un problema molto arduo ($Z_{\text{eff}} \gg 3$), mentre ora si possono produrre plasmi puliti ($Z_{\text{eff}} \sim 1$) nel TFR, nel DITE e nel FT, utilizzando nuove tecniche di eliminazione delle impurezze dalle scariche e sfruttando i rapidi progressi nella diagnostica di produzione e di diffusione delle impurezze, nonché nella loro identificazione e controllo. E' stato utilizzato per la prima volta (DITE) un divertore non assimetrico e si è maggiormente precisato il concetto di "mantello freddo" (Jutphaas, Stoccolma).

In alcune macchine (Cleo-Tok, TFR 600, TOSCA), si dispone, per il controllo dell'equilibrio del plasma di tecniche di feedback di recente sviluppo. Adesso la programmazione dell'evoluzione nel tempo della densità media del plasma, effettuata per la prima volta sull'ALCATOR e sul PULSATOR, è possibile in quasi tutti gli esperimenti.

La conoscenza della fisica dei Tokamak è notevolmente progredita, in particolare in seguito agli studi del bilancio energetico effettuati sul TFR e sul DITE.

II.5.2. Altre macchine

Gli esperimenti effettuati su Stellarator (CLEO, W VII A) a riscaldamento ohmico hanno mostrato che tali configurazioni miste presentano migliori caratteristiche di confinamento dei Tokamaks equivalenti.

I notevoli progressi nel campo della strizione a campo magnetico inverso, sul quale si concentrano le attività della filiera ad alto beta, hanno portato alla costruzione di due macchine di medie dimensioni (ETA-BETA, HBTX-IA) ormai quasi pronte.

.../...

II.5.3. Riscaldamento

Nel campo dell'iniezione di neutri i risultati dell'attuale programma sono già eccellenti. Soltanto 4 anni fa la prima applicazione in un Tokamak (CLEO) è avvenuta a 50 kW, molto al di sotto della potenza sviluppata dal riscaldamento ohmico. Ora si è raggiunto il megawatt, superando notevolmente il riscaldamento ohmico senza effetti sul confinamento del plasma (TFR, DITE). Lo sviluppo di unità da 1 MW per il JET è in fase avanzata e sono in costruzione sistemi della potenza di alcuni megawatt (DITE, ASDEX, TFR 604).

Nel campo del riscaldamento ad alta frequenza la Comunità (Grenoble) ha fornito un contributo essenziale alle prove e agli studi del riscaldamento alla risonanza ibrida inferiore. L'esperimento sul "Transit Time Magnetic Pumping", effettuato su PETULA è stata la prima applicazione (senza degradazione del confinamento) di tale metodo coronata da successo. Nel TFR sono stati recentemente ottenuti incoraggianti risultati preliminari con il riscaldamento a risonanza ciclotronica degli ioni.

II.5.4. Confinamento inerziale

I rapidissimi progressi ottenuti in questo campo in tutto il mondo non hanno trovato riscontro nel modesto impegno europeo che ha portato allo sviluppo di un laser allo iodio della potenza di un Terawatt (Garching), ad una migliore comprensione dell'interazione luce-plasma ed all'inizio di alcune attività sperimentali a Frascati.

II.5.5. Tecnologia della fusione

Sono stati definiti i principali problemi del settore. Inoltre:

- per quanto riguarda la sicurezza, gli studi dei sistemi e i materiali, in seguito all'inclusione di tali argomenti nel programma CCR (1977-1980) sono iniziati nuovi lavori a Ispra, dove in collaborazione con Frascati (gruppo JETTOR), venivano già svolte attività di concezione. Continuano inoltre le prove preliminari di simulazione dei danni da irradiazione;
- per quanto riguarda la tecnologia delle bobine superconduttrici, in seguito alla conclusione di un accordo di esecuzione AIE, relativo al contributo comunitario (IPP-Karlsruhe),

.../...

di una bobina superconduttrice per il Large Coil Project (Oak Ridge), il progetto della bobina è giunto nella fase in cui si comincia a prendere in considerazione la costruzione da parte dell'industria. Continuano le prove di raffreddamento con elio superfluido (CEA-Saclay).

II.5.6. Conclusioni

Da quanto precede risulta che rispetto alla situazione di tre anni fa i plasmi dei Tokamak sono meglio confinati, meglio riscaldati ed hanno un tenore d'impurezze molto inferiore. Ci si è pertanto avvicinati molto alle caratteristiche richieste da un reattore a fusione e quindi vi sono maggiori speranze di poter dimostrare la fattibilità fisica del reattore.

CAPITOLO III

PROGRAMMA PROPOSTO

III.1. INFORMAZIONI DERIVANTI DAGLI STUDI DI PROGRAMMAZIONE A LUNGO TERMINE

Alcuni studi esplorativi a lungo termine condotti nel quadro del programma comunitario e in altre parti del mondo, basandosi sull'ipotesi che il futuro reattore sia di tipo Tokamak, hanno messo in luce le varie strategie possibili che dovrebbero consentire di giungere a un reattore dimostrativo. Ciascuna strategia ha un suo calendario ed un suo costo, che è funzione soprattutto del livello di rischio accettato (per dare un ordine di grandezza lo sviluppo di un reattore dimostrativo potrebbe richiedere 25 anni e 10.000 milioni di UCE). Ma pur diversificandosi in un secondo tempo tutte le strategie hanno una caratteristica comune: la o le macchine da costruire dopo il JET (ed i suoi equivalenti stranieri) cioè le macchine nelle quali la reazione di fusione si manterrebbe per lungo tempo, dovrebbero essere dei bruciatori di deuterio-tritio. La Comunità europea è in condizioni di stabilire chiaramente gli obiettivi fisici e tecnologici dei prossimi anni per il suo programma fusione. Negli studi di programmazione a lungo termine si rivaluteranno periodicamente i vantaggi potenziali a lungo termine delle diverse strategie man mano che si raggiungeranno nuovi risultati sperimentali. Le conclusioni verranno riformulate in occasione di ogni revisione del programma e contribuiranno a definire nuovi obiettivi a medio termine.

III.2. OBIETTIVI DEL PROGRAMMA QUINQUENNALE

III.2.1. Confinamento magnetico

I costanti progressi ottenuti con i Tokamak hanno già condotto ad una progressiva concentrazione degli sforzi in tale direzione, concentrazione che continuerà nel programma 1979-1983. Le ricerche sugli Stellarator a basso beta e sulle configurazioni ad alto beta, che potrebbero condurre a soluzioni alternative, verranno svolte soltanto in alcuni laboratori con il 10% circa dell'impegno complessivo.

Non si prevedono invece attività sulle configurazioni a specchi magnetici.

.../...

Gli obiettivi principali del programma sono:

- completare la costruzione del JET ed avviarne il funzionamento. La Commissione ha già inviato al Consiglio numerosi documenti⁺⁾ che hanno portato all'approvazione della fase di costruzione del progetto JET ed alla decisione di includere tale progetto nel programma fusione. Tale azione prioritaria non sarà dunque descritta nuovamente in dettaglio nella presente proposta di programma;
- accumulare le conoscenze, sia nel campo della fisica che in quello della tecnologia, che consentano di definire nel corso del programma le caratteristiche della o delle macchine post-JET la cui costruzione potrebbe iniziare nel corso del programma successivo. La ricerca dovrebbe servire a definire il campo magnetico e le dimensioni ottimali delle macchine post-JET, a decidere se debba rigenerare tritio e generare elettricità. Dovrebbero inoltre fornire dati sperimentali sull'opportunità di utilizzare bobine superconduttrici.

Cio' significa che si dovrà:

- costruire JET, che dovrebbe entrare in fase operativa nel 1983 o prima (vedere paragrafo III.3.2.1), e prepararne il programma sperimentale;
- ottenere molti dati fisici importanti da macchine toroidali di dimensioni intermedie, del tipo Tokamak o di altro tipo;
- sviluppare potenti sistemi ausiliari di riscaldamento, in particolare in vista della loro applicazione a JET;
- svolgere un programma tecnologico più consistente, soprattutto nel campo dei materiali, della superconduttività, della manipolazione del tritio, della manipolazione a distanza e degli studi dei sistemi;
- qualora si ottengano buoni risultati delle prove preliminari su bobine raffreddate ad elio superfluido, costruire un Tokamak superconduttore di medie dimensioni per studi sui profili e sul riscaldamento del plasma;
- qualora gli studi preliminari indichino un ragionevole equilibrio tra i rischi e i costi, costruire un Tokamak di dimensioni medie a campo magnetico molto intenso, per studiare per la prima volta alcuni problemi specifici del plasma "in combustione";

⁺⁾ In particolare: R/820/78 (ATO 17) del 10 aprile 1978.

- iniziare studi di progetto delle macchine post-JET.

Un altro obiettivo del programma è di valutare fino a che punto altre configurazioni a confinamento magnetico (Stellarator, strizione a campo inverso) siano delle valide alternative ai Tokamak.

III.2.2. Confinamento inerziale

La situazione europea è attualmente insoddisfacente e lo sarà probabilmente ancora per qualche tempo. Mentre i risultati già ottenuti altrove hanno in breve tempo ridotto i tempi d'attuazione dei programmi americano, russo e giapponese, motivi politici determinati dalla coincidenza di alcuni interessi civili e militari nel settore hanno fatto sì che la Commissione presentasse, pur essendo contraria a una tale limitazione, un programma minimo appena sufficiente per :

- valutare criticamente i risultati ottenuti altrove;
- contribuire efficacemente alla risoluzione di alcuni problemi chiave, condizione basilare per uno scambio fruttuoso di informazioni con laboratori stranieri;
- mantenere un nucleo di scienziati competenti per focalizzare gli sforzi di ricerca europei distribuiti nei vari laboratori civili e permettere la costruzione, nel corso del prossimo programma e a condizione che vengano prese le necessarie decisioni politiche, di un grande apparato sperimentale che verifichi la fattibilità della fusione su questa linea.

Se gli esperimenti chiave effettuati all'estero produrranno i risultati attesi, come per esempio le condizioni necessarie all'ignizione nel 1983, sarà necessario cambiare la politica europea.

Ad ogni modo, nonostante l'impegno oltremodo ridotto, la Commissione cercherà di garantire un'efficace collaborazione con altri laboratori civili, come è già stato fatto nel passato per il Plasma Focus.

III.3. CONFINAMENTO MAGNETICO

III.3.1. Principali problemi

1. Qualità del confinamento. Si è visto che il parametro fondamentale è dato dal prodotto della densità per il tempo di confinamento ($n\tau$). Uno degli obiettivi del programma è il miglioramento della conoscenza e della qualità del confinamento, soprattutto per:

- definire le leggi empiriche di τ e in particolare la sua dipendenza da "n", non ancora ben nota;
- analizzare le limitazioni imposte dalle violente instabilità "disruptive".

Con la serie di esperimenti che si prevede di completare nel corso del presente programma (JET incluso), si spera di raggiungere valori prossimi a $10^{14} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$, cioè valori di un ordine di grandezza superiore a quelli ottenibili attualmente.

2. Valori di beta. Per essere economicamente fattibile, un reattore del tipo Tokamak, richiede valori di beta dell'ordine del 5-10%circa, (valori medi di beta del 2% sono già stati ottenuti su certi dispositivi). Si tratta di un aspetto importante, giacchè la qualità del contenimento potrebbe cambiare sostanzialmente portando la pressione cinetica a valori apprezzabili rispetto alla pressione magnetica. Nel corso del programma si spera di raggiungere valori di beta di qualche per cento nelle grandi macchine, effettuando prove sugli effetti di sezioni trasversali non circolari e della forma dei profili del plasma.

3. Temperatura. L'accensione (che si raggiunge quando il riscaldamento nucleare supera le perdite di energia del plasma) richiede temperature degli ioni superiori a quelle raggiunte attualmente. La tecnologia già disponibile, consente di ottenere tali temperature a condizione che le caratteristiche del confinamento non siano troppo peggiorate dagli effetti dell'alta temperatura degli ioni. La temperatura minima da raggiungere, che dipende dalla qualità del confinamento e dalla purezza del plasma, è superiore a 5 keV.

4. Le impurezze erano recentemente considerate una dei problemi più seri poichè provocano un aumento delle perdite per irraggiamento. Recentemente sono stati compiuti dei progressi, ma numerose questioni sono ancora senza risposta. I bassi tenori d'impurezze raggiunti recentemente devono essere confermati da tempi di scarica più lunghi e presenza di un'intensa iniezione di neutri. Devono essere ulteriormente studiate le fonti di impurezze, la loro dinamica e le possibilità di controllo. Tale problema è strettamente connesso con l'interazione plasma-parete e nel caso di un reattore con l'alimentazione e con lo scarico.
5. Scarico e alimentazione. Nel funzionamento ad impulsi di lunga durata (oppure in continua) è necessario impiegare sistemi di scarico dei prodotti della reazione e sistemi di alimentazione. Nel DITE si continueranno gli studi sullo scarico mediante "divertori"; tali studi sono tra le attività principali dell'ASDEX (che utilizza però un altro tipo di divertore). Si esamineranno vari metodi di pompaggio dell'elio (il principale prodotto della reazione) e metodi per il trattamento di grandi quantità di gas di scarico caldi. Continueranno anche gli studi sui vari tipi di mantelli freddi e su soluzioni alternative. Nel corso del progetto si studierà il rifornimento mediante introduzione di sferette, di aggregati e di gas (attraverso il mantello freddo).
6. Particelle Alfa. Il problema dell'elio non è soltanto connesso a quello delle impurezze, ma anche con il riscaldamento e il confinamento. La presenza di numerose particelle alfa energetiche (ioni di elio) sarà una nuova caratteristica importante del reattore DT. Il problema verrà affrontato quando il JET funzionerà col tritio e, se necessario, si effettueranno prove su un'altra macchina, attualmente in fase di definizione, denominata provvisoriamente col termine "VHFT" (Very High Field Tokamak).

III.3.2. Macchine sperimentali (cfr. tabella II)

- 1) JET. Lo sforzo principale del programma riguarda evidentemente JET, sia dal punto di vista della fisica, che come impegno finanziario e di personale. Nella proposta iniziale (1) erano previsti due stadi per la fase operativa di JET: le prestazioni di base e le prestazioni estese.

1) EUR-JET-AS, Settembre 1975.

Le prestazioni di base consistono in studi esplorativi su un plasma di idrogeno in un campo magnetico di 27.7 kG; la piattaforma del campo magnetico dura 20 secondi, la corrente nel plasma raggiunge 3,8 MA (nel plasma a forma di D) e l'iniezione di neutri è di 10 MW. Fin dall'inizio, le strutture sono progettate in modo da assicurare la possibilità di procedere più tardi ad uno stadio di prestazioni estese. In tale regime il campo magnetico sarà portato a 34.5 kG, con una piattaforma ridotta a 10 secondi ed una corrente nel plasma aumentata a 4,8 MA. Per questo secondo stadio saranno necessarie nuove alimentazioni sia per il campo toroidale che per il riscaldamento ausiliario, la cui potenza deve essere portata a 25 MW. Il plasma sarà di Deuterio. Se questo stadio dà risultati soddisfacenti, l'utilizzazione successiva di un miscuglio D-T dovrebbe permettere un elevato autoriscaldamento termonucleare, dell'ordine di 10 MW.

- Finora è stato previsto il calendario seguente: il periodo 1979-1983 corrisponde press'a poco alla durata di cinque anni della costruzione dato che la fabbricazione di tutte le principali componenti della macchina dovrebbe concludersi verso la metà del 1981. A tale epoca la sala di montaggio dovrebbe essere pronta mentre la sala del toro dovrebbe essere pronta all'inizio del 1982, e l'intero dispositivo dovrebbe essere completato circa un anno dopo. Altri sei mesi saranno allora necessari per le prove e le consegne, prima di cominciare il programma sperimentale verso la fine del presente programma quinquennale. Gli obiettivi principali della prima parte della fase operativa sono lo studio dell'evoluzione del comportamento di un plasma avente parametri prossimi a quelli di un reattore, lo studio dell'interazione plasma-parete in tali condizioni e lo studio del riscaldamento del plasma. Nel quadro di questo calendario, il secondo stadio dovrebbe cominciare intorno al 1985.
- Tuttavia parecchi risultati molto incoraggianti sono stati recentemente ottenuti nel campo dei Tokamak (II.2.1): buon comportamento dei plasmi ad alta temperatura ($T_i > 5$ keV) nel regime senza collisioni; leggi di scala soddisfacenti del tempo di confinamento dell'energia del plasma in funzione delle dimensioni (varia come il quadrato del raggio minore del plasma); aumento del tempo di

Tabella II - Principali macchine a confinamento magnetico

Esperimenti	Località	Obiettivi e caratteristiche principali
JET (2)	Culham	Leggi di scala, interazione plasma-parete, riscaldamento del plasma, particelle alfa
Tokamak di medie dimensioni		
TFR (1)	Fontenay	Leggi di scala, profili, riscaldamento
DITE (1)	Culham	Divertore non assisimetrico, iniezione di neutri, impurezze
FT (1)	Frascati	Campo magnetico intenso, alta densità del plasma, correnti intense
Asdex (2)	Garching	Divertore poloidale, alta temperatura degli ioni
Textor (2)	Jülich	Interazione plasma-parete, impurezze
Torus II (3)	(CEA)	Profilo, riscaldamento, magneti superconduttori (?)
VHFT (3)	Garching	Campi molto intensi, compressione adiabatica, Ignizione (?)
Altri Tokamak		
Petula (1)	Grenoble	Riscaldamento RF
Erasmus (1)	Bruxelles	Riscaldamento RF
TCA (2)	Losanna	Riscaldamento RF
Wega (1)	Grenoble	Riscaldamento RF
Torture (1)	Jutphaas	Riscaldamento turbolento
Thor (1)	Milano	Elettroni di fuga, riscaldamento RF
Ringboog (1)	Jutphaas	Mantello freddo
Dante (1)	Risø	Ablazione progressiva dei pellets
Spica (1)	Jutphaas	Funzionamento ad alto beta
Tosca (1)	Culham	Alto beta (sezione trasversale non circolare)
Altri apparecchi toroidali		
W-VII A (1)	Garching	Stellareor con riscaldamento NI
Cleo (1)	Culham	Stellareor con riscaldamento RF
HBIX-IA (2)	Culham	Strizione a campo inverso
ETA-BETA (1)	Padova	Strizione a campo inverso
RFX (3)	Culham	Strizione a campo inverso con maggiori prestazioni
F-IV (2)	Stoccolma	Mantello freddo
(1) In esercizio (2) In costruzione (3) In preparazione		

confinamento con T_e e con la densità; indipendenza del tempo di confinamento dell'energia dall'intensità del campo magnetico e dalla corrente nel plasma; successo nella produzione di plasmi puliti; risultati positivi sia sperimentali che teorici sul massimo valore raggiungibile nei beta. Tali fatti insieme alla considerazione dei programmi di altre grandi macchine - TFTR (USA) dovrebbe entrare in funzione all'inizio del 1982 e potrebbe essere dotata di 45 MW, di iniezione di neutri nel 1983; JT 60 (Giappone) prevede il funzionamento per la fine del 1982 - hanno condotto il gruppo JET a riesaminare il calendario del progetto. E' in preparazione una proposta tendente ad accelerare la fase di costruzione (JET dovrebbe essere pronto a funzionare alle prestazioni di base alla fine del 1982). In più il gruppo JET sta esaminando la possibilità di procedere, in tempi più ravvicinati di quelli originariamente previsti, alla realizzazione delle prestazioni estese, anche durante la fase di costruzione. Ciò potrebbe implicare:

1. La disponibilità di 25 MW di riscaldamento ausiliario all'inizio della fase operativa e quindi la necessità di installare 125 MW di alimentazioni (adatti ad entrambi i metodi di riscaldamento).
 2. La sperimentazione attiva dei principali metodi di riscaldamento ad alta frequenza sui più grandi Tokamak disponibili, al fine di poter prendere una decisione per JET in tempo opportuno.
 3. L'installazione di alimentatori complementari per la produzione del campo magnetico più elevato.
 4. Uno sforzo maggiore sullo sviluppo della telemanipolazione e dell'equipaggiamento per il tritio.
- Estrapolando i risultati recentemente annunciati, la realizzazione delle prestazioni estese potrebbe condurre ai seguenti parametri del plasma: $T_i \simeq 15$ keV, $n \simeq 10^{14}$ cm⁻³, $\beta \simeq 6\%$. Il tempo di confinamento dell'energia dovrebbe situarsi tra 0.5 e 5 sec, e, usando una miscela D-T, potrebbero essere prodotti circa 100 MW di potenza da fusione.
- 2) Altri Tokamak in esercizio o costruzione. Il JET da solo non potrebbe fornire tutte le informazioni necessarie per proseguire verso la realizzazione del programma fusione. Esso è pertanto integrato in un programma di esperimenti complementari di minore portata, più adatti allo studio di problemi specifici.

Alcune delle macchine in questione sono già in esercizio, altre saranno terminate nel corso del programma (quelle progettate per studi di riscaldamento verranno prese in considerazione nel paragrafo III.3.3). Questo insieme coerente di macchine è organizzato in modo da coprire il più possibile tutti i problemi posti dalla filiera Tokamak. Esso fa perno su alcuni apparecchi principali: Dite (Culham), FT (Frascati), TFR (Francia) Asdex (Garching) e Textor (Jülich, dopo il 1981), ciascuno dei quali è specializzato nello studio di alcuni dei problemi indicati al paragrafo III.3.1. In tutti i casi con un'adeguata potenza di riscaldamento si possono aumentare le prestazioni del plasma. I Tokamak di dimensioni più piccole servono per compiti specifici: Ringboog (Jutphaas) per gli studi sul mantello freddo in collaborazione con il laboratorio di Stoccolma (esperimenti su modelli), Dante (Risø) per studi sull'ablazione dei pellet in collaborazione con Garching e Culham. Tosca (Culham) e l'esperimento Spica di tipo Tokamak (Jutphaas), servono a valutare la fattibilità di configurazioni Tokamak ad alto beta.

3) Nuovi Tokamak. Dai risultati degli studi preliminari teorici e sperimentali attualmente in corso dipenderà l'inizio della costruzione di due nuove macchine (Torus II e VHFT). Il loro obiettivo specifico sarà di dimostrare due aspetti essenziali per la fase dopo JET che non possono essere esaminati sulle macchine esistenti:

- la possibilità d'impiego delle bobine superconduttrici su veri Tokamak;
- l'autoriscaldamento del plasma DT e gli effetti delle particelle alfa sul confinamento del plasma.

Il Torus II, un Tokamak superconduttore di medie dimensioni, è giunto alla fase finale di progetto nel quadro dell'associazione Euratom-CEA.

Sono in corso prove sul raffreddamento delle bobine mediante elio superfluido. La decisione finale sulla costruzione dovrebbe intervenire nel 1979. Questa macchina, che presenta un notevole interesse tecnologico, dovrebbe consentire lo studio del riscaldamento supplementare ad alta potenza (eventualmente a radiofrequenza) e di altri importanti problemi sulla profilatura del plasma.

Il VHFT (Very High Field Tokamak), attualmente ancora in fase di studio preliminare, dovrebbe consentire di estendere i risultati conseguiti recentemente con alte densità e con forti campi magnetici.

.../...

La fase di definizione dovrebbe concludersi alla fine del 1978 e quella di progettazione dovrebbe iniziare nel 1979. Se l'estrapolazione del tempo di confinamento sperimentale a temperatura più alta si dimostra valida, l'impiego di un intenso riscaldamento ohmico (ad alta densità di corrente), eventualmente combinato con altri metodi di riscaldamento (iniezione di neutri, compressione adiabatrica) dovrebbe portare all'accensione di una miscela di deuterio-tritio. L'esperimento sarebbe costruito a Garching con la collaborazione di Frascati. Tale collaborazione potrebbe essere estesa a livello internazionale..

- 4) Altre macchine toroidali. Continuano attività che possono essere considerate alternative e complementari alla filiera Tokamak, in particolare sullo stellarator e sulla strizione a campo magnetico inverso.

Il tipo Stellarator è rappresentato da due apparecchi: W-VII A (Garching) e Cleo (Culham). Gli Stellarator a basso beta possono contribuire alle conoscenze delle caratteristiche del trasporto nei Tokamak. I già citati effetti positivi dei campi esterni elicoidali sulla stabilità del plasma rivestono un certo interesse, ma la loro origine e la loro potenzialità alle dimensioni dei reattori non sono ancora noti completamente. Vi sarà un forte impegno per cercare di raggiungere un funzionamento a corrente globale nulla. Configurazioni diverse dallo Stellarator classico (cioè campo magnetico principale toroidale più campo magnetico prodotto da avvolgimenti elicoidali) vengono studiati in esperimenti di compressione rapida, che potrebbero essere utilizzati anche in una variante del W-VII. Per il momento non è in progetto alcuna nuova macchina del tipo Stellarator. L'attività sulle configurazioni a strizione a campo inverso continua con due apparecchi: HBTX IA (Culham) e Eta Beta (Padova) nel quadro di una stretta collaborazione tra i due laboratori. La prossima fase dovrebbe essere il grosso esperimento RFX proposto a Culham, come parte del programma di collaborazione con Padova.

- 5) Gruppi di programmazione. Nel 1979 dovrebbe iniziare l'attività di un gruppo incaricato di definire le fasi successive al JET ed in particolare se gli apparecchi post JET debbano essere uno o due e se debbano o no avere un bilancio elettrico positivo.

.../...

L'attività di definizione del reattore DEMO verrà intensificata a partire dal 1979 con il gruppo Fintor (gruppo di lavoro comune Frascati-Ispira-Napoli) come nucleo. Questi due gruppi si manterranno in stretto contatto tra loro e con il gruppo di Programmazione a Lungo Termine, che continuerà con il suo nucleo di Bruxelles.

III.3.3. Sin dall'inizio del programma fusione Euratom il riscaldamento del plasma è stato individuato come uno dei problemi principali dell'attività di ricerca sulla fusione termonucleare. Alla luce di recenti risultati la sua importanza è aumentata: per raggiungere le massime prestazioni possibili nel JET e in apparecchi di dimensioni medie si deve ricorrere ad un intenso riscaldamento complementare. Poiché cominciano ad essere disponibili metodi di riscaldamento efficaci è necessario ed opportuno proporre un importante ampliamento di questa parte del programma. L'iniezione di neutri ottenuta con sorgenti di ioni positivi rappresenta una buona soluzione per macchine delle dimensioni del JET, ma è di difficile applicazione in macchine più grandi. Sono allo studio due metodi alternativi: il riscaldamento a radiofrequenza e l'iniezione di neutri con sorgenti di ioni negativi. Nel corso dei prossimi anni si cercherà di valutare le potenzialità relative di queste due soluzioni.

Lo sviluppo scientifico e tecnologico si è andato progressivamente concentrando in alcuni laboratori che svolgono anche il ruolo di consulenti e di eventuali fornitori degli altri laboratori della Comunità. Così l'iniezione dei neutri è affidata ai due laboratori di Fontenay e di Culham. Per il riscaldamento a radiofrequenza la maggior parte degli specialisti è invece concentrata presso il CEA (e presso l'ERM).

1. Riscaldamento ad iniezione di neutri. Consiste nell'iniezione di un fascio di atomi neutri ad alta energia ottenuti per neutralizzazione di ioni accelerati.

.../...

Le sorgenti utilizzate attualmente forniscono ioni positivi particolarmente adatti all'attuale livello di energia. Tuttavia, per i livelli energetici più elevati, come quelli richiesti da macchine di maggiori dimensioni, l'efficienza del processo di neutralizzazione degli ioni positivi si riduce ad un punto tale da rendere preferibile l'impiego di sorgenti di ioni negativi, che per il momento sono però molto meno sviluppate. Nel corso del presente programma quinquennale, sarebbe pertanto necessario uno sforzo nello studio delle sorgenti e degli acceleratori di ioni negativi per essere pronti a costruire all'inizio del nuovo programma una linea di iniezione di ioni negativi di 1 MW di energia. La schermatura degli iniettori dopo l'accensione del plasma potrebbe consentire di applicare tale metodo in un reattore ma sono necessari altri studi. Per il momento, la collaborazione tra Culham e Fontenay-aux-Roses è orientata verso la produzione di unità da 1 MW 80 keV di H^0 con sorgenti di ioni positivi. Tale attività non è soltanto necessaria per il JET, che richiede l'iniezione di 10 MW di neutri per poter funzionare alle prestazioni di base e di circa 25 MW per le prestazioni estese, ma anche per le macchine già esistenti di medie dimensioni: Dite, TFR 604, Torus II, Asdex, Textor e Wendelstein VII A. Sono già stati firmati contratti tra associazioni per la consegna di sistemi di iniezione di neutri. Si potrà ottenere un sensibile miglioramento dell'efficienza totale di tali sistemi grazie allo sviluppo dei metodi di recupero attualmente allo studio. Si prevede di estendere le tecniche esistenti alla realizzazione di unità da 1 MW 160 keV di D^0 .

2. Riscaldamento a radiofrequenza. Tale metodo non ha raggiunto il livello di sviluppo dell'iniezione di neutri. Si sta studiando attivamente la fisica dell'effetto riscaldante delle interazioni tra le onde elettromagnetiche e il plasma e si svolgono ricerche su tutta una serie di schemi possibili, caratterizzati dalla frequenza di funzionamento. Nel presente programma s'intende concentrare progressivamente i lavori sugli schemi più promettenti, sviluppandoli ad un livello comparabile a quello attualmente raggiunto dall'iniezione di neutri (circa 1 MW). Prima della fine del programma dovrebbe essere possibile scegliere il metodo più adatto al JET e al Post-JET, e confrontarne le caratteristiche con quelle dell'iniezione di neutri.

.../...

Le linee principali del programma proposto sono le seguenti:

- Nel campo delle basse frequenze (circa 100 kHz), Petula (Grenoble), ed eventualmente la sua versione successiva, dovrebbero fornire le informazioni necessarie per una estrapolazione al Torus II e al JET.
- Nel campo delle medie frequenze (1-100 MHz) verranno effettuate importanti prove sul TFR. Erasmo e TCA (Losanna) forniranno dati complementari.
- Il campo delle alte frequenze (circa 1 GHz) sarà studiato da Wega (Grenoble), un esperimento comune Garching-Grenoble svolto con la collaborazione dell'ERM. FT ed eventualmente Asdex daranno un ulteriore contributo. In un secondo momento si prevede una prova sul JET. E' comunque necessario lo sviluppo industriale di potenti klystron.
- Nel campo delle altissime frequenze (≥ 30 GHz) è richiesto un impegno particolare per lo sviluppo della tecnologia. Le prime prove sono previste a Culham e a Milano (girotroni da 50 GHz per Cleo, girotroni da 23 GHz per Thor e Tosca). Se avrà successo lo sviluppo dei girotroni in un campo di frequenze più alte (80-100 GHz), tale metodo potrà essere applicato ai Tokamak esistenti (Dite, TFR).

3. Riscaldamento ohmico e altri metodi. I buoni risultati ottenuti sull'Alcator (USA), un esperimento compatto ad alto campo magnetico, inducono a controllare i limiti del riscaldamento ohmico in campi magnetici molto alti. A Garching è stato costituito un gruppo di studio incaricato di valutare con la collaborazione di Frascati la potenzialità e i rischi di tale esperimento, denominato Very High Field Tokamak "VHFT" (cfr. par. III.3.1)

Un altro efficiente metodo di riscaldamento, la compressione adiabatica ampiamente sperimentato nel passato, ha una durata intrinsecamente limitata e può essere utilizzato sul JET. Applicando tale metodo al VHFT si potrebbe facilitare il raggiungimento delle temperature di accensione fino all'intervento del riscaldamento a particelle alfa.

A livello esplorativo verranno studiati altri metodi di riscaldamento a impulsi turbolenti (Gutphaas), e a guaine conduttrici in implosione come pure il riscaldamento mediante laser o fasci di elettroni relativistici (Amsterdam).

III.3.3. Studi teorici e di calcolo numerico

Tutti i settori di ricerca precedentemente citati richiedono studi sperimentali e teorici. Questi ultimi sono indispensabili per comprendere le osservazioni effettuate sul confinamento e sul riscaldamento e per poter quindi valutare correttamente i risultati sperimentali ottenuti in Europa e altrove. Sarà così possibile fare estrapolazioni accurate per le nuove condizioni riscontrate nel progresso verso il reattore.

Per giungere a una conoscenza più profonda dei fenomeni e per fare previsioni è necessario ricorrere sempre di più a metodi di calcolo numerico. Sono in corso discussioni tecniche per migliorare il coordinamento dei calcoli numerici sulla fusione in Europa al fine di giungere ad un più agevole scambio dei programmi di calcolo e all'accesso reciproco alle attrezzature dei diversi laboratori. E' stato richiesto uno studio per completare le proposte in materia.

III.3.4. Altre attività

Le ricerche teoriche e sperimentali di carattere fondamentale sulla fisica del plasma sono in gran parte affidate alle università. Tale collaborazione dovrebbe avere il vantaggio di creare una riserva di giovani scienziati e ingegneri da utilizzare in caso di espansione del programma.

III.4. TECNOLOGIA DELLA FUSIONE

III.4.1. Introduzione

Gli obiettivi principali della parte tecnologica del programma quinquennale sono la definizione e l'acquisizione delle conoscenze tecnologiche necessarie per la fase post JET. Il programma proposto riguarda le seguenti aree principali:

- studi di sistemi
- sicurezza e impatto sull'ambiente
- tecnologia delle bobine superconduttrici
- tecnologia del tritio e del mantello
- tecnologia dei materiali.

Il programma tecnologico proposto inizialmente dai "gruppi di esperti" era notevolmente più ampio e più ambizioso di quello qui presentato. Pur riconoscendo il grande interesse di un programma di così vasta portata, la Commissione è stata costretta a ridurne drasticamente il bilancio. Ciò è stato fatto limitando le attività di ricerca ai problemi più urgenti ed in particolare a quelli di diretto interesse per il progetto e per la costruzione delle macchine post JET.

.../...

Di conseguenza, settori di ricerca quali la sorgente intensa di neutroni da 14 MeV, il progetto di bobine superconduttrici per correnti variabili col tempo, o la costruzione di un circuito di prova per moduli di un mantello generatore di tritio, verranno reconsiderati nel 1981 in occasione della revisione del programma, oppure prima come parte del programma del CCR qualora venisse esteso. D'altra parte i programmi di ricerca attualmente in corso in campi diversi dalla fusione ma con obiettivi simili (ad esempio sviluppo di materiali in reattori superconvertitori veloci) potrebbero essere orientati in modo da divenire programmi di collaborazione che tengano conto delle esigenze della tecnologia della fusione.

E' necessario notare che il presente programma quinquennale non include lavori di sviluppo su argomenti quali i magneti a forte campo raffreddati ad acqua o a raffreddamento criogenico, e i grandi generatori di energia elettrica, giacché attualmente tali argomenti sono sviluppati nel quadro di progetti per la costruzione di macchine, come ad esempio il JET.

III.4.2. Studi di sistemi

Gli studi di sistemi consentono di elaborare progetti preliminari di centrali a fusione, di indicare obiettivi o ottimizzazioni ingegneristiche e di effettuare un'analisi di sensibilità dei relativi parametri. Gli studi di sistemi saranno inoltre utili per la definizione dei parametri relativi a fasi intermedie. Nella preparazione della lista dei sistemi sui quali devono essere effettuati gli studi è necessario tener conto delle scelte fondamentali del programma europeo per cui attualmente non sono previsti studi sui sistemi a specchi e sui sistemi a confinamento inerziale. Lo sforzo maggiore verrà diretto invece verso la configurazione Tokamak (configurazione pulsata o a regime quasi stazionario) con una certa attenzione per altri sistemi quali i sistemi ibridi fissione-fusione, i reattori a magnetostrizione inversa a "belt-screw pinch", e lo studio delle applicazioni termiche dei reattori a fusione.

Negli studi concettuali per Demo, nei quali il CCR svolgerà un ruolo guida si terrà conto dei risultati dei laboratori associati in una definizione continua ed aggiornata del reattore di potenza. E' importante che nel progetto preliminare di reattore a fusione siano previsti i sistemi di telemanipolazione per tutte le operazioni di intervento diretto e di riparazione.

E' in via di sviluppo, nel quadro del progetto JET, un attivo programma sull'impiego dei manipolatori. Il programma tecnologico prevede anche un piccolo sforzo supplementare per lo sviluppo di manipolatori per usi generali.

III.4.3. Studi sulla sicurezza e sull'impatto sull'ambiente

I principali studi sulla sicurezza e sull'impatto sull'ambiente dell'energia da fusione riguarderanno la definizione e una rivalutazione permanente dei concetti di sicurezza per i principali reattori, la valutazione degli effetti ecologici e le implicazioni derivanti dai requisiti per la concessione delle licenze. Gli studi comprenderanno la stima delle scorte di tritio e degli scarichi in condizioni di esercizio normali, la valutazione degli eventi connessa ad un eventuale incidente e l'eliminazione dei componenti attivi. Sarà necessario valutare per ciascun tipo di progetto gli incidenti più importanti che possono provocare una perdita di confinamento e quindi una fuoriuscita di radioattività nell'ambiente.

III.4.4. Tecnologia delle bobine superconduttrici

Il concentramento degli sforzi previsto in questo settore dovrebbe garantire alla Comunità una posizione competitiva quando nel corso del programma quinquennale verranno prese le decisioni più importanti riguardo alle future apparecchiature superconduttrici di grandi dimensioni. Inoltre, la dimostrazione del funzionamento di un sistema di bobine superconduttrici, eventualmente in un esperimento di fusione, riveste grande importanza essendo molto probabile che i futuri reattori a fusione di grandi dimensioni (a confinamento toroidale) vengano dotati di sistemi di questo tipo.

1. Progetto di grande bobina (LCP). LCP è un'attrezzatura di prova che verrà costruita a Oak Ridge e sarà composta da una serie toroidale di sei bobine con campo magnetico a forma di D. Le dimensioni delle bobine (4,7x2,5 m) consentiranno di estrapolare i risultati alle grosse macchine post-JET. La prima bobina europea, prodotta dalla KFK (Karlsruhe), che usa come materiale superconduttore NbTi, dovrebbe essere consegnata a Oak Ridge entro la fine del 1981. Altre tre bobine sono fornite dagli Stati Uniti, una dal Giappone e un'altra (in corso di approvazione) dalla Svizzera.

.../...

2. Superconduttori Al5. L'impiego di composti Al5 consente ai magneti di funzionare con campi più alti (da 5 a 8 T sull'asse del plasma), aumenta la stabilità ed il margine di sicurezza della temperatura in condizioni di funzionamento reali. Entrambi i parametri sono importanti per quello che sarà lo sviluppo probabile del programma di fusione a magneti. Si propone quindi di iniziare un programma dinamico per obiettivi e più in particolare di costruire una seconda bobina comunitaria per l'apparecchio di prova LCP con conduttori Al5.

Il composto Al5 più promettente, ma non ancora disponibile in quantità sufficienti in Europa per la costruzione di bobine di grande dimensioni, è il Nb₃Sn. Un impegno molto maggiore è richiesto per lo sviluppo di bobine contenenti tale composto in una seconda bobina di prova per il LCP. Si tratterebbe di un obiettivo molto importante, da raggiungere entro tre anni dalla consegna della bobina al NbTi.

3. Raffreddamento a elio superfluido (Torus II). I due principali vantaggi del raffreddamento a elio superfluido (He II a 1,8 K) sono l'aumento dei parametri critici del superconduttore e un notevole aumento del coefficiente di trasferimento del calore per impulsi di breve durata. Ciò è ovviamente importante per le bobine relativamente piccole proposte per il Torus II (raggio esterno 2,15 m, campo magnetico sull'asse 1,5 T). Alcuni esperimenti preliminari, condotti su una bobina modello a Saclay, hanno fornito risultati promettenti ai fini della costruzione del Torus II.

Sono inoltre necessarie altre attività complementari sui sistemi di bobine superconduttrici per le macchine future. In particolare la presente proposta di programma include i seguenti due settori.

4. Bobine del campo poloidale. Le bobine del campo poloidale, che sono sede di correnti variabili nelle macchine attuali, non sono state ancora prese in considerazione per i superconduttori. Prima dell'impiego si dovranno superare le difficoltà connesse alla presenza, nelle bobine superconduttrici, di correnti variabili nel tempo. Poiché si è data la priorità ad altre attività sui superconduttori non si potranno effettuare prove su larga scala prima della revisione del programma.

5. Attività complementari al programma superconduttori. Per la fabbricazione definitiva dei sistemi di bobine superconduttrici è richiesta una vasta attività di sviluppo, soprattutto sui metodi di stabilizzazione, sul trasferimento del calore, sul raffreddamento nonché sugli effetti di cicli termici sull'isolamento elettrico e termico.

III.4.5. Tecnologia del tritio e del mantello

La tecnologia del tritio per il funzionamento sicuro di un reattore a fusione post-JET è legata al flusso del combustibile e al sistema globale di protezione radiologica. Al fine di dimostrare che è possibile manipolare in condizioni di sicurezza e di affidabilità i quantitativi di tritio utilizzati in una tale macchina, ossia circa 10 g/giorno in un sistema che contiene in permanenza un quantitativo tra i 100 e i 200 g, si propone la costruzione di un laboratorio europeo del tritio. A tal fine si dovrà accedere alle conoscenze tecnologiche acquisite fuori dei laboratori di fusione della Comunità.

Per inserire un mantello per l'assorbimento dei neutroni con una capacità parziale di rigenerazione in un reattore a DT sono richieste prove dimostrative sulla sicurezza e sull'affidabilità del funzionamento di un modulo di mantello. Verso la fine del programma e in connessione con il programma sui materiali sarà pertanto necessario effettuare alcune prove tecnologiche su un modulo del mantello e delle prove d'irraggiamento. In particolare, si dovranno sviluppare e provare, per le applicazioni post-JET, i seguenti componenti o sistemi.

1. Sistemi di deposito e di erogazione del tritio. Il tritio può essere immagazzinato sotto forma di idruro metallico oppure allo stato gassoso. Le tecniche attuali sembrano adeguate, ma prima di far funzionare un reattore a fusione a DT è necessario effettuare delle prove ed è richiesta una certa esperienza operativa.
2. Trasferimento del tritio e sistemi di scarico. Per le valvole sono richieste in generale guarnizioni metalliche e alle pressioni comprese tra 10^{-6} a 10^{-8} torr le pompe criogeniche e quelle turbomolecolari sono compatibili col tritio, tuttavia sono necessarie alcune attività di sviluppo per risolvere problemi specifici d'impiego come il pompaggio dell'elio.

.../...

3. Trattamento dei gas di scarico. La miscela di scarico DT deve essere liberata dalle impurezze chimiche quali l'O, N e He e deve essere riportata alla composizione isotopica dell'idrogeno originale, alterata dalle diverse reazioni di fusione e dall'iniezione. Per ciascuno dei due stadi di trattamento esistono numerosi metodi, ma per una scelta definitiva è necessario effettuare prove e ottimizzare la concezione degli apparecchi.
4. Contenimento e decontaminazione. Il contenimento e lo scarico accidentale del tritio sono disciplinati da regolamenti e dalle procedure per la concessione delle licenze in tutti i paesi della Comunità e sono strettamente connessi ad altri problemi di sicurezza dei reattori per cui devono essere considerati nel quadro globale. La valutazione pratica del metodo scelto è un argomento che rientra nel programma sperimentale affidato al laboratorio del tritio. Nella concezione attuale è previsto il montaggio di tutto l'impianto all'interno di un involucro attraversato da un flusso continuo di gas inerte, che verrà successivamente trattato per estrarne il tritio. Inoltre l'intero edificio contenente il reattore di fusione sarà stagno e connesso ad un impianto di trattamento e di circolazione del tritio, che fungerà da contenimento secondario. La tecnologia richiesta è in linea di massima disponibile, ma sarà fondamentale dimostrare l'affidabilità del sistema di contenimento, anche soltanto su scala ridotta. E' questo uno degli obiettivi principali del laboratorio del tritio.
5. Recupero del tritio dal mantello. Le tecniche di recupero del tritio dipenderanno dalla scelta del materiale rigeneratore: litio metallico liquido oppure composti solidi o liquidi del Li. Nel caso del litio liquido, sono allo studio numerosi metodi di separazione del tritio. Ad esempio, sono noti alcuni incoraggianti risultati sperimentali sulla distillazione, che dovranno essere confermati in laboratorio in un esperimento su scala pilota. Il recupero dai composti del litio allo stato solido è ostacolato dalla difficoltà di impedire fughe di tritio nel refrigerante primario.

III.4.6. Tecnologia dei materiali

Il programma sui materiali dovrebbe avere una notevole influenza diretta sul progetto delle macchine post-JET, soprattutto nella scelta dei materiali e nell'identificazione, definizione e studio di problemi particolari.

Inoltre, considerata la lunga durata dei processi, alcuni importanti studi esplorativi richiesti per il reattore dimostrativo, devono iniziare immediatamente.

I principali problemi posti dai materiali utilizzati in un impianto a fusione derivano da: tensioni meccaniche continue e cicliche, corrosione in presenza di litio o di composti del litio e di impurezze, danni da irraggiamento dei materiali e delle superfici. I problemi più gravi sono comunque dovuti a una combinazione di tali effetti che è difficile valutare date le scarse conoscenze attuali.

Gli argomenti principali da inserire nel programma tecnologico dovrebbero essere i seguenti:

1. Scelta e standardizzazione dei materiali. A breve termine si dà la preferenza a materiali già noti, come gli acciai austenitici e le leghe a base di nichel. Considerato il lungo tempo richiesto dalle prove su nuovi materiali, è necessario effettuare studi preliminari su materiali alternativi (scelti tra quelli già industrialmente disponibili). Un criterio importante da considerare a tal proposito è la minimizzazione dell'attivazione del materiale.
2. Caratteristiche meccaniche dei materiali non irraggiati (scorrimento viscoso e fatica; fragilità e rottura; problemi metallurgici di fabbricazione). Alcune delle condizioni nelle quali si troveranno i materiali dei reattori a fusione sono poco conosciute dagli ingegneri, ad esempio gli sforzi ciclici e i carichi termici, con circa 10^6 cicli all'anno. Dovrebbe essere studiato il comportamento allo scorrimento viscoso e alla fatica, in tali condizioni, dei materiali più comuni.
3. Compatibilità (corrosione da litio liquido e composti del litio, corrosione per contaminazione da elio, permeabilità agli isotopi dell'idrogeno).

La corrosione si produce in tutti i materiali strutturali. La presenza di materiali non convenzionali (litio o composti del litio) e di impurezze (quali l'idrogeno e gli isotopi dell'idrogeno) rende tale problema ampiamente speculativo, sebbene si cominci a disporre di risultati sperimentali. La conoscenza della permeabilità è importante al fine di prevedere la concentrazione degli isotopi dell'idrogeno nel reattore, sia per i loro effetti sui materiali (infragilimento) che per la sicurezza.

.../...

4. Danni di irraggiamento (simulazione mediante bombardamento elettronico o con ioni leggeri e pesanti; mediante irraggiamento in reattori a fissione; mediante irraggiamento con neutroni da 14 MeV; mediante irraggiamento di materiali isolanti). Nei materiali dei reattori a fusione l'irraggiamento produce rigonfiamento, scorrimento viscoso, infragilimento e determina altre variazioni delle caratteristiche meccaniche ed elettriche. Il danno è dovuto ai neutroni di alta energia che danno origine a dislocazioni e a trasmutazioni e dipende dalle condizioni di irraggiamento del materiale. I due principali tipi di simulazione esistenti sono: l'irraggiamento con particelle cariche e l'irraggiamento con neutroni veloci in reattori a fissione. Il primo sistema può essere utilizzato per simulare gli effetti delle dislocazioni prodotte dai neutroni e la produzione di gas, purchè si possono ottenere alti livelli di dose. Sorgenti intense di neutroni di forma particolare, tra cui quelle basate sulla reazione (DT), possono creare condizioni d'irraggiamento che somigliano molto da vicino a quelle di un reattore a fusione; consentono pertanto la taratura e la verifica dei metodi di simulazione. Poiché l'argomento si presta particolarmente ad una collaborazione internazionale si è proposto di sviluppare un contributo europeo a tale collaborazione, iniziando alcune attività preliminari quali il confronto di vari tipi di sorgenti intense di neutroni e l'elaborazione di "conceptual designs" (progetti di massima) delle più interessanti.
5. Danno superficiale. L'interazione plasma parete è importante sia sotto il profilo della fisica del plasma che degli effetti sulle caratteristiche dei materiali. Per quanto riguarda questi ultimi i tipi di danni superficiali da studiare comprendono: la variazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali della prima parete per effetto dell'erosione superficiale e delle inclusioni di combustibile; prove di materiali atti a minimizzare le perdite per irraggiamento da impurezze; cattura e liberazione di combustibile nella prima parete (cfr. anche par. III.3.1.).

.../...

III.5. CONFINAMENTO INERZIALE

III.5.1. Fusione a laser

I problemi posti dalla fusione a laser possono essere così compendati:

- sviluppo di laser ad alta potenza;
- studi sulle interazioni luce-plasma e sul trasporto dell'energia;
- idrodinamica della compressione e della combustione termonucleare;
- progettazione e fabbricazione dei pellet;
- teoria fondamentale;
- studi di reattori.

Nei prossimi anni il programma europeo sul confinamento inerziale rappresenterà soltanto qualche percento dei programmi sovietico e statunitense. Per raggiungere gli obiettivi esposti nel paragrafo III.2.2. tale programma dovrebbe contenere un numero molto ristretto di argomenti con i quali cercare di dare un contributo sulla scena mondiale. Inoltre, per limitare lo sforzo complessivo è importante che i programmi dei singoli laboratori siano complementari tra di loro e sufficientemente interconnessi per un'efficiente collaborazione. Infine i programmi dei vari associati dovrebbero essere convergenti così da preparare la base per la futura realizzazione (se opportuna) di un grosso esperimento comune di compressione (almeno $5 \cdot 10^{13}$ watt, costo minimo 50 milioni di UCE).

Tenuto conto delle esperienze e delle attrezzature disponibili presso i vari associati, viene proposto il seguente programma:

1. Sviluppo di un laser ad alta potenza

- Ottimizzazione del laser a iodio da 1 TW già sviluppato e trasferimento del know-how all'industria, con l'obiettivo di produrre in un prossimo futuro moduli da 1 TW - 0,3 nsec (Garching). Eventuale sviluppo di moduli di potenza più elevata.
- Sviluppo di una linea laser a CO_2 di 250 J - 1 nsec e realizzazione di 4 di questi moduli in modo da poter disporre di un sistema da 1 TW (Frascati).
- Studi sui nuovi laser ad alto rendimento (Garching).

2. Interazione luce-plasma e trasporto dell'energia

- Indagini sperimentali mediante fasci laser allo iodio e al neodimio focalizzati per lo più su bersagli piani (Garching).
- Studi teorici e calcoli numerici (Garching, Bruxelles, Göteborg).

.../...

3. Studi di compressione

- Studi sulla stabilità idrodinamica dell'implosione di pellet a grande rapporto di aspetto a due diverse lunghezze d'onda (1 e 10 micron), utilizzando dapprima un sistema a neodimio da 2 x 100 J - 2 nsec e successivamente un sistema a CO₂ da 4 x 250 J - 1 nsec.

In tali esperimenti si utilizzeranno pellet riempite di DT, ma l'obiettivo non è la produzione del massimo numero di neutroni possibile (Frascati).

- Realizzazione di un esperimento di compressione di media grandezza utilizzando 2 moduli laser a iodio da 1 TW al fine di conseguire una certa esperienza con le tecniche, la diagnostica e i calcoli relativi (Garching).

4. Studi fondamentali

Continuazione degli attuali studi teorici (Bruxelles, Göteborg) sui coefficienti del trasporto e sui fenomeni non lineari, per poterli applicare a situazioni specifiche incontrate nel corso della realizzazione del programma sperimentale.

5. Collaborazione

Un'efficiente collaborazione è particolarmente auspicabile nei seguenti settori: calcoli numerici, fabbricazione dei pellet (che verranno inizialmente acquistati all'estero, ma tale situazione non è assolutamente soddisfacente), diagnostica e studi di reattori. Si cercherà di ampliare quanto più possibile i contatti tra gli associati e gli altri laboratori civili (Rutherford, Politecnico, Università), ad esempio includendo tali laboratori tra quelli accessibili mediante il contratto di mobilità.

III.5.2. Altri metodi

- Nonostante la sua potenzialità e il rapido sviluppo registrato all'estero, la ricerca sulla fusione mediante fasci ionici od elettronici non può essere iniziata presso i laboratori associati nel quadro del programma particolarmente limitato proposto per il confinamento inerziale.
- Per il momento l'attività sul Plasma Focus si limiterà all'impiego del grosso apparecchio da 1 Megajoule di Frascati, in collaborazione con Culham e in stretto contatto con varie università tedesche. Per il 1980 è prevista un'analisi generale delle ricerche svolte in questo settore.

III.6. RIASSUNTO DEL PROGRAMMA PROPOSTO

Oltre alla costruzione di JET il programma proposto riguarda in gran parte la continuazione dell'attività in corso. In più prevede un certo ampliamento e l'inizio di nuove attività.

III.6.1. Continuazione dell'attività in corso

Si tratta essenzialmente della costruzione di JET e dell'inizio del suo funzionamento alle prestazioni di base come pure dello sfruttamento delle macchine già esistenti e di quelle in costruzione, che per la maggior parte sono Tokamak progettati per risolvere problemi specifici (cfr. Tabella II) d'importanza essenziale per passare al "next step". E' quindi evidente la necessità di ottenere da tali macchine il massimo delle informazioni. Altri dispositivi toroidali appartenenti alle linee alternative dovrebbero fornire le informazioni necessarie per poter decidere se continuare o interrompere lo sviluppo di queste linee e dovrebbero consentire lo studio di alcuni problemi della linea Tokamak: il disaccoppiamento del riscaldamento dal confinamento (Stellarators) e l'esame delle proprietà dei plasmi ad alto beta (macchine ad alto beta).

Nel campo della iniezione di neutri lo sviluppo delle linee di iniezione di idrogeno a tensione intermedia con sorgenti di ioni positivi può essere considerato concluso ed è iniziata l'applicazione su vasta scala nelle macchine di confinamento. Lo sviluppo di linee a tensione superiore, di iniettori di deuterio, di sistemi di recupero e di sorgenti di ioni negativi è concentrato in due associazioni e deve essere continuato per far fronte alle esigenze di JET e del "next step".

Nel campo del riscaldamento a radiofrequenza lo sviluppo del riscaldamento con risonanza alla frequenza ibrida inferiore è il più avanzato e sta ora entrando nella fase d'applicazione. Per quanto riguarda gli altri metodi, il loro numero è stato ridotto nel corso degli ultimi programmi ed è necessario continuare lo sviluppo a livelli di potenza più elevati, per preparare la scelta di quelli più adatti alle esigenze di JET e del "next step".

Di recente sono state avviate alcune attività nel settore della tecnologia della fusione e non esiste alcun dubbio sulla necessità di proseguirle. Si tratta del progetto di grande bobina (LCP), degli esperimenti di superconduttività con materiali raffreddati ad elio superfluido, degli studi concettuali di progettazione, sulla sicurezza e sull'ambiente, e della simulazione dei danni provocati dalle radiazioni.

Nel campo del confinamento inerziale l'attività svolta finora nei laboratori associati ha riguardato essenzialmente, per la parte tecnologica, lo sviluppo di un laser allo iodio da 1 TW, nonché lo sviluppo preliminare di un laser a CO₂ da 250 Joule e, per la fisica, lo studio dell'interazione luce-plasma. I progressi compiuti e l'ampliamento delle attività svolte al di fuori della Comunità sono così rapidi da rendere essenziale l'estensione dell'attività in corso al fine di non perdere il contatto in maniera irreversibile.

III.6.2. Estensione

- A seconda dei risultati delle indagini che sono state recentemente stimulate dai risultati molto positivi ottenuti nel 1978 sulla linea Tokamak, si potrebbe proporre di abbreviare la fase di costruzione del JET e di realizzare le prestazioni estese durante la fase di costruzione. La fattibilità tecnologica e l'opportunità scientifica di tale operazione non è stata ancora stabilita dagli organi competenti dell'Impresa Comune.
- A seconda dei risultati degli studi preliminari di progettazione e di sperimentazione attualmente in corso, il programma potrebbe comprendere la costruzione di due nuovi Tokamak: una macchina a campo molto intenso (VHFT) per l'accensione di un plasma deuterio-tritio e un Tokamak superconduttore (Torus II) per studi sul riscaldamento e sulla sagomatura del profilo del plasma. L'importanza per la preparazione del "next step" di un primo esperimento di accensione e dell'applicazione della superconduttività ad un vero e proprio Tokamak, è evidente. La possibilità di costruire i due nuovi esperimenti precedentemente descritti non è stata ancora stabilita e, a maggior ragione, non è certo che si costruiranno entrambi.
- Nel campo del riscaldamento del plasma è invece possibile e necessario un ampliamento dell'attività. La maggior parte delle macchine esistenti ha funzionato o funzionerà ben presto alle prestazioni di

base. Per raggiungere le prestazioni massime, occorrerà una notevole potenza per il riscaldamento supplementare. Numerosi impianti per l'iniezione di neutri per una potenza globale dell'ordine di almeno 25 MW dovranno essere fabbricati e utilizzati in JET e in altri Tokamak come Asdex, TFR 604, Dita, Textor e Torus II. Una notevole potenza di riscaldamento a radiofrequenza alla frequenza di risonanza ibrida inferiore dovrà essere applicata in particolare nell'FT.

- Nel settore della tecnologia della fusione dovrebbe essere intensificata l'attività degli studi dei sistemi e dovrebbe essere avviato lo sviluppo di una bobina superconduttrice Al5 per LCP.
- L'ampliamento proposto nel campo del confinamento inerziale, necessario per conseguire gli obiettivi minimi del programma in questo settore, comprende la produzione industriale di moduli laser allo iodio di 1 TW, lo sviluppo e la costruzione di 4 laser a CO₂ da 250 Joule e l'avviamento degli esperimenti di compressione.

III.6.3. Nuove attività

Per preparare la macchina Post-JET è necessaria la conoscenza della tecnologia del tritio richiesta dalla fusione. La tecnologia del tritio che è già disponibile negli Stati membri dovrebbe essere messa a disposizione del programma fusione, ma rimarrà comunque la necessità di un laboratorio europeo che si occupi in modo specifico della tecnologia del tritio delle macchine per la fusione. Tale esigenza è già stata riconosciuta negli Stati Uniti dove deve essere costruito a Los Alamos un impianto sperimentale per il tritio. Qualora l'Europa dovesse collaborare efficacemente con gli Stati Uniti in questo campo, si dovrebbe formare un'esperienza adeguata all'interno della Comunità. Tenendo conto del tempo necessario per poter far fronte nella Comunità ai requisiti severi in materia di licenze, l'azione dovrebbe iniziare al più presto. Inoltre verso la fine del programma quinquennale dovrebbero essere avviati gli esperimenti sui moduli del mantello.

Il problema dei materiali, già importante per JET, è fondamentale per la fase successiva e cruciale per il reattore. L'attuale stato delle conoscenze è appena sufficiente per identificare i settori nei quali si dovrà lavorare. A causa dei lunghi tempi tecnici richiesti per alcuni procedimenti sperimentali, si dovrebbe avviare fin d'ora una notevole attività esplorativa, soprattutto per quanto riguarda i danni provocati dalle radiazioni.

CAPITOLO IV

REALIZZAZIONE

IV.1. SITUAZIONE FINANZIARIA DEL PROGRAMMA 1976-1980

Il contributo della Commissione al finanziamento del programma delle associazioni per il periodo 1976-1980, deciso dal Consiglio il 25 marzo 1976 (1) era di 120 milioni di UC, cui avrebbe dovuto corrispondere uno stanziamento complessivo per tale programma di circa 410 milioni di UC (applicando la quota del 25% per il finanziamento delle spese generali e quella del 45% per il finanziamento di azioni prioritarie) qualora l'intera somma fissata dal Consiglio come limite massimo per il finanziamento delle azioni prioritarie (39 milioni di UC) fosse stata utilizzata per tale scopo.

Nell'adottare la decisione sul programma, la Commissione ha dichiarato (2) che il corrispondente stanziamento risultava sensibilmente ridotto rispetto alla cifra inizialmente proposta e che di conseguenza si sarebbero incontrate difficoltà nella gestione del programma. La Commissione affermava inoltre che se necessario avrebbe presentato al Consiglio nel corso dell'esecuzione del programma una proposta intesa ad adattare lo stanziamento alla situazione economica.

Nel luglio 1977, per fronteggiare almeno in parte le difficoltà di finanziamento dei bilanci generali delle associazioni e in vista della revisione del programma per il 1978, si è raggiunto l'accordo, col parere positivo del Comitato Consultivo per la Fusione (3), di ridurre i fondi destinati a finanziamenti preferenziali da 39 a 27 milioni di UC e di aumentare di 12 milioni di UC i fondi destinati ai finanziamenti delle spese generali. Ciò avrebbe consentito alla Commissione di finanziare, ai tassi decisi dal Consiglio, un programma del costo totale di 430 milioni di UC. Il Comitato Consultivo per la Fusione ha approvato inoltre (3) la proposta della Commissione di chiedere al Consiglio, in occasione della revisione che verrà effettuata nel 1978, di rivalutare il proprio stanziamento tenendo conto del cambiamento della situazione economica dopo il 1° gennaio 1976. Lo sblocco definitivo dei fondi necessari alla partecipazione della Commissione al finanziamento dell'intero programma quinquennale è stato deciso dal Consiglio nel novembre 1976 (4) ed i contratti di associazione per il periodo 1976-1980 non poterono essere conclusi prima della metà del 1977.

(1) GU n. L 90 del 3 aprile 1976: 120 milioni di UCE = .24 (dotazione totale) - 4 milioni di UCE (amministrazione + mobilità)

(2) Doc. R/781/76 (ATO 42) 1976-1980

(3) Doc. R/1980/77 (ATO 89)

(4) Doc. T/919/76 (ATO)

Lo sviluppo della situazione economica tra il gennaio 1976 e la metà del 1977 (un'inflazione media del 17% circa) ha indotto la Commissione a concludere tali contratti per un impegno finanziario globale di 500 milioni di UC circa, con la consueta quota del 25% di partecipazione per il sostegno generale. L'aumento di 70 milioni di UC del volume finanziario totale da 430 a 500 milioni di UC corrisponde ad un aumento della partecipazione della Commissione di 7,5 milioni di UC (= 25% di 70 milioni di UC) per l'intero periodo 1976-1980. E' opportuno sottolineare che questa somma rappresenta soltanto il completamento necessario alla Commissione per poter rispettare gli obblighi presi nei confronti delle associazioni (25% delle spese generali) nel 1977. La parte di questa somma richiesta effettivamente per i primi tre anni del programma 1976-1980, non compresi nel nuovo programma quinquennale 1979-1983 è di circa 10 milioni di UC (3/5 di 17,5 milioni di UC). Gli impegni di spesa della Commissione per i tre anni 1976, 1977 e 1978 ammontano dunque a circa 84 milioni di UC (= 10 milioni di UC + 3/5 della dotazione totale di 124 milioni di UC). La differenza di 40 milioni di UC (= 124-84 milioni di UC) restante dal programma 1976-80 è pertanto disponibile per finanziare parzialmente il programma 1979-1983.

IV.2. PROPOSTA DI PROGRAMMA PER IL 1979-1983

IV.2.1. Personale

Il personale specializzato complessivo richiesto per il programma fusione, comprendente il personale distaccato presso JET e il personale Euratom che lavora nelle associazioni e nel CCR, era di circa 860 unità verso la metà del 1978. Una ripartizione approssimativa di questi 860 specialisti è la seguente:

- ricercatori qualificati alle dipendenze delle associazioni degli Stati membri (compresi 60 funzionari Euratom)	700
- servizi generali (direzione, amministrazione, servizi tecnici, ecc.) (compresi 9 funzionari Euratom)	75
- gruppo JET	48
- associazione Euratom-NSBESD (Svezia)	25
- CCR (Ispra)	12
Totale	860

Più difficile da valutare è l'organico complessivo (comprendente anche i non laureati) poiché in talune associazioni i servizi ausiliari sono comuni ad altri laboratori non impegnati nelle attività sulla fusione. Una stima approssimativa porta ad un totale di almeno 3.000 persone.

Per quanto riguarda la composizione del personale laureato è necessario fare due osservazioni:

- poiché le macchine sperimentali diventano sempre più grandi e tecnicamente più complesse, si riscontra in generale la mancanza di ingegneri e di tecnici specializzati per la progettazione e la costruzione, mentre è sufficiente il numero dei fisici per la progettazione, l'esercizio e l'interpretazione dei risultati delle macchine;
- poiché l'assunzione di giovani laureati si è ridotta praticamente a zero negli ultimi anni, l'età media del personale continua ad aumentare ad un ritmo corrispondente quasi ad un anno all'anno. Per un programma destinato a durare ancora qualche decennio, questo invecchiamento del personale è un fenomeno pericoloso.

Per l'attuazione di quella parte del programma tecnologico sviluppato al di fuori dei laboratori associati, si intende stipulare un certo numero di subcontratti tra i laboratori associati ed altri laboratori esterni al programma fusione di cui la maggior parte svolge attività nel campo della fissione. Non sembra pertanto necessario, attualmente, un ampio reclutamento di esperti in tecnologia nei laboratori che lavorano sulla fusione, anche se le associazioni richiederanno un numero limitato di specialisti per la supervisione dei subcontratti indicati in precedenza.

Non sono previsti notevoli aumenti di personale delle associazioni durante il periodo quinquennale 1979-1983. L'organico totale assegnato al programma fusione aumenterà leggermente a causa essenzialmente della formazione del gruppo JET e anche del possibile ampliamento delle attività sulla fusione presso il CCR.

Malgrado l'ampliamento proposto per il programma, la Commissione non intende chiedere alcun aumento del proprio personale per l'attuazione del programma quinquennale. Tale organico resterà quindi di 113 funzionari comunitari come deciso dal Consiglio il 25 marzo 1976. Il personale in attività a Bruxelles presso la Direzione del programma fusione è stato recentemente portato a 20 unità, numero che non dovrebbe subire variazioni, durante l'attuazione del programma proposto a parte restante del personale Euratom rimarrà presso i laboratori associati o sarà distaccato presso il JET.

IV.2.2. Spese complessive dei laboratori associati

Il programma proposto è il risultato di un compromesso tra la necessità di intensificare l'attività ad un livello giustificato dall'importanza dell'obiettivo finale per la Comunità e la consapevolezza dell'impegno finanziario limitato che è lecito chiedere per la sua realizzazione.

Un più ampio campo di ricerca, come quello del programma fusione sovietico, oppure un più ambizioso programma con scadenze più ravvicinate come quello americano, sarebbero auspicabili, ma richiederebbero uno sforzo finanziario molto più grande. In tal senso, l'importo massimo delle spese per le attività di ricerca in questo campo dovrebbe essere ben superiore alla cifra proposta. Il limite inferiore, al contrario, è chiaramente definito poiché è strettamente funzione del personale presente nei laboratori associati. Qualora non venissero più effettuati investimenti, i progressi conseguiti con la ricerca si arresterebbero abbastanza rapidamente, ma il livello delle spese non potrebbe essere ridotto sostanzialmente senza ridurre il personale.

Il volume finanziario globale trattato qui di seguito riguarda il programma descritto al capitolo III e riassunto al paragrafo III.6 sotto i titoli: continuazione delle attività in corso, ampliamento, nuove attività. Non comprende la parte del programma da eseguire presso il CCR in Svezia ed eventualmente in Svizzera.

1. Continuazione della attività in corso

L'importo dei bilanci previsionali dei laboratori associati per l'anno 1978 (espresso nelle rispettive valute nazionali e convertito quindi in UCE ai tassi dell'inizio del 1978) corrisponde a circa 104 milioni di UCE. Questa cifra moltiplicata per 5 porterebbe ad un totale di 520 milioni di UCE per il programma 1979-1983 alle

.../...

condizioni economiche del gennaio 1978. Il tasso d'inflazione della Comunità è attualmente del 7,5% circa all'anno (più esattamente, era del 7,5% tra l'aprile 1977 e l'aprile 1978). Ciò porta ad un bilancio quinquennale di circa 560 milioni di UCE alle condizioni economiche del gennaio 1979. Inoltre, ad organico costante, il costo del personale stimato sulla base dell'esperienza passata aumenta almeno del 6% all'anno nella Comunità; questo aumento inevitabile si ripercuote sul 40% circa del bilancio totale per la fusione e comporta uno stanziamento supplementare di 28 milioni di UCE per gli anni dal 1980 al 1983. Il proseguimento delle attività a livello attuale richiede pertanto un bilancio quinquennale di 588 milioni di UCE. Questa somma comprende un'estrapolazione degli investimenti effettuati nel 1978 che erano modesti dato che la maggior parte degli investimenti erano stati intrapresi all'inizio del programma 1976-1980. Questa estrapolazione consente pertanto nuovi investimenti limitati corrispondenti al proseguimento delle attività in corso, escludendo invece l'avviamento di qualsiasi nuova azione importante.

- Volume (alle condizioni economiche del gennaio 1978)	520 milioni di UCE
- Inflazione gennaio 1978 - gennaio 1979 (7,5%)	40 milioni di UCE
- Aumento del costo del personale (ad organico costante)	<u>28 milioni di UCE</u>
<u>Continuazione al livello attuale</u>	<u>588 milioni di UCE</u>

2. Ampliamento delle attività in corso. Il programma riassunto al paragrafo III.6.2. corrisponde ai seguenti impegni finanziari:

- Investimenti per i nuovi Tokamak: Torus II e VHFT. Il costo di ciascuno di queste macchine dell'ordine di 20-30 milioni di UCE	50 milioni di UCE
- Riscaldamento supplementare (escluso JET)	23 milioni di UCE
- Confinamento inerziale	10 milioni di UCE
- Tecnologia della fusione:	
. Studi sui sistemi e sull'ambiente, gruppi di pianificazione e definizione: 5 milioni di UCE	} 20 milioni di UCE
. Superconduttività (essenzialmente bobina A 15 per LCP): 15 milioni di UCE	
<u>Totale</u>	<u>103 milioni di UCE</u>

3. Nuove attività (cfr. par. III.6.3.)

- Tecnologia del tritio	15 milioni di UCE
- Materiali	30 milioni di UCE

Totale: 45 milioni di UCE

E' opportuno notare che queste cifre corrispondono al programma descritto al capitolo III ad eccezione dei materiali. In quest'ultimo caso l'attuazione del programma definito dagli esperti e delineato al paragrafo III.4.6. richiederebbe un impegno finanziario ben più esteso. Con il finanziamento qui indicato l'avviamento del programma è possibile ma la velocità di sviluppo sarà notevolmente limitata.

In conclusione la spesa generale dei laboratori associati (compresi i sub-contratti per la tecnologia) per il periodo quinquennale 1979-1983 è valutata nella maniera seguente:

Continuazione delle attività in corso	588 milioni di UCE
Ampliamento delle attività in corso	103 milioni di UCE
Nuove attività	45 milioni di UCE

Totale generale: 736 milioni di UCE

IV.2.3. Sostegno preferenziale

Sulla base della descrizione tecnica riportata nel capitolo III e nel quadro della spesa globale proposta al paragrafo IV.2.2. gli investimenti richiesti per l'attuazione del programma 1979-1983 sono valutati a 120 milioni di UCE alle condizioni economiche dell'inizio del 1979.

I massimali parziali proposti per gli investimenti dei laboratori associati che dovrebbero essere finanziati dalla Comunità al tasso preferenziale del 45% sono i seguenti:

	<u>Milioni di UCE</u>
Tokamak e sostegno a JET	64
Altre macchine toroidali	15
Riscaldamento a iniezione	35
Tecnologia della fusione	30
Confinamento inerziale	6

.../...

Nella linea Tokamak circa 10 milioni di UCE sono stanziati per attività (per esempio la messa a punto di diagnostiche, metodi di riscaldamento, contratti di studio ecc.) che verranno svolte dai laboratori associati per JET. Nella stessa linea è previsto uno stanziamento (50 milioni di UCE) per la costruzione eventuale di Torus II e VHFT.

E' da rilevare che la somma di questi massimali (150 milioni di UCE) è superiore al massimale globale proposto per le azioni prioritarie (120 milioni di UCE) a causa del fatto che i massimali indicati non possono essere raggiunti simultaneamente in tutte le linee.

Come nei precedenti programmi quinquennali la Commissione concederà l'appoggio preferenziale soltanto ad azioni che siano state giudicate prioritarie dal Gruppo di Collegamento.

IV.2.4. Mobilità

Il "contratto di mobilità" per lo scambio di personale tra i diversi laboratori che contribuiscono all'attuazione del programma è stato utilizzato in ampia misura durante gli ultimi due programmi quinquennali con ottimi risultati, ed è risultato il miglior metodo per il trasferimento del know-how scientifico e tecnico oltre a un mezzo eccellente per migliorare l'impiego del personale e dell'esperienza disponibile. I fondi destinati alla mobilità del personale dovrebbero essere pertanto mantenuti almeno allo stesso livello. Nel programma 1976-1980 era stato stanziato un importo massimo di due milioni di UC e lo stesso massimale (2 milioni di UCE) viene proposto per il programma 1979-1983.

IV.2.5. Gestione e amministrazione

Il personale della direzione fusione di Bruxelles è stato aumentato negli ultimi due anni conformemente al programma 1976-1980 ed ha raggiunto un totale di 20 funzionari, cifra che dovrebbe essere mantenuta nel corso del programma 1979-1983. Durante tale periodo l'organico medio sarà pertanto superiore a quello del periodo 1976-1980. Vi è stato un aumento del costo del personale con l'introduzione delle imposte comunitarie sugli stipendi del personale nelle tariffe a carico del bilancio della Comunità europea e con il passaggio dalle unità di conto alle unità di conto europee.

L'espansione del programma fusione e in particolare la nuova attività di tecnologia della fusione si traducono in un aumento delle spese d'organizzazione delle riunioni, dei seminari ecc. e dei contratti con gli esperti.

Nel programma 1979-1983 deve essere pertanto previsto un considerevole aumento della spesa di gestione e amministrazione, soprattutto per il costo del personale. Per tale voce la dotazione della Commissione dovrebbe pertanto comprendere un massimale di circa 7 milioni di UCE.

IV.2.6. JET

Situazione attuale

Come approvato dal Consiglio (R/2404/77 - ATO 116), il costo del progetto JET nella fase di costruzione è stato calcolato a 7.500 milioni FB ai prezzi del gennaio 1977, ossia 184,6 milioni di UCE al tasso dell'UCE del 3 gennaio 1977 (1 UCE = 40,6207 FB).

Conformemente con gli statuti dell'impresa comune JET adottati dal Consiglio del 30 maggio 1978 (1), la spesa dell'impresa comune sarà sostenuta all'80% dall'Euratom.

La parte del costo totale del progetto nella fase di costruzione che verrà sostenuta dall'Euratom è pertanto di 147 milioni di UCE (= 1'80% di 184,6 milioni di UCE).

I fondi necessari per la partecipazione dell'Euratom alla spesa per il progetto durante gli anni 1976-77 e 78 ammontano a 16 milioni di UCE (= 80% di 20 milioni di UCE). Tali fondi sono stati prelevati dalla dotazione di 102,4 milioni di UCE assegnata dal Consiglio con decisione del 30 maggio 1978 (2). La Commissione propone di abrogare tale decisione a decorrere dal 1° gennaio 1979, quando il nuovo programma 1979-1983 dovrebbe entrare in vigore. I fondi necessari alla partecipazione dell'Euratom alle spese dell'Impresa Comune per il periodo dall'inizio del 1979 alla metà del 1983 sono valutati a 131,7 milioni di UCE (= 147,7-16 milioni di UCE). Tale somma deve pertanto essere inclusa nella dotazione della Commissione per il programma fusione 1979/83.

Durante la seconda metà del 1983, JET sarà nella fase operativa. E' stato stimato che il bilancio medio annuale di JET non dovrebbe

(1) GU n. L 151 del 7.6.1978, pag. 11

(2) GU n. L 158 del 7.6.1978, pag. 8

cambiare sensibilmente nel passaggio dalla fase di costruzione alla fase operativa. Su questa base, durante il secondo semestre del 1983, occorreranno circa 18 milioni di UCE per JET. I fondi necessari alla partecipazione dell'Euratom ammonteranno dunque a circa 14,5 milioni di UCE (80% di 18 milioni di UCE). Tale somma non è compresa nella dotazione della Commissione richiesta nel presente documento.

Con la decisione del 30 maggio 1978 (1) il Consiglio ha attribuito al programma fusione 1976-1980, per l'attuazione del progetto JET, 150 agenti temporanei ai sensi dell'articolo 2 (a) delle condizioni d'impiego degli altri agenti delle Comunità europee. Questa attribuzione dovrebbe essere confermata nella decisione del Consiglio riguardante il programma fusione 1979-1983 ed eventualmente riveduto in occasione della revisione da effettuare nel 1981.

Evoluzione possibile

La Commissione ha già dichiarato che parte delle spese necessarie a permettere il raggiungimento delle prestazioni estese dovranno essere impegnate durante la seconda metà della fase di costruzione (2). Tale impegno di spesa è stato valutato a circa 50 milioni di UCE e la Commissione aveva l'intenzione di domandarne al Consiglio l'80% in occasione della revisione prevista per il 1981. In seguito ai recenti progressi scientifici, un'accelerazione della costruzione di JET e una realizzazione anticipata delle prestazioni estese sembrerebbe opportuna (III.3.2.1.). Se ciò apparisse possibile, secondo le stime preliminari fatte dal gruppo JET, gli impegni supplementari potrebbero essere valutati a 62 milioni di UCE (ai prezzi del luglio 1978 e includendo gli imprevisti ed il personale supplementare) e potrebbero essere impegnati in parte nel 1980. Tali impegni riguarderebbero principalmente le alimentazioni necessarie per portare il campo magnetico a 35 kGauss, la potenza di riscaldamento ausiliario necessaria a raggiungere un totale di 25 MW e l'equipaggiamento di telemanipolazione e per il tritio, per il funzionamento D-T.

Questo problema dovrà essere esaminato dagli organi dell'Impresa Comune JET. La Commissione informerà il Consiglio dei Ministri in tempo utile e, se opportuno, presenterà una proposta in proposito.

(1) GU n. L 151 del 7.6.1978, pag. 8

(2) R/820/78 (ATO 17)

IV.2.7. Dotazione della Commissione

1) Programma delle associazioni

La ripartizione della dotazione della Commissione richiesta per il programma 1979-83, senza JET, alle condizioni economiche del gennaio 1979, è la seguente:

	Volume globale	%	Partecipazione della Commissione
Sostegno generale	616	25	154
Sostegno preferenziale	120	45	54
Mobilità del personale	2	100	2
Gestione e amministrazione	7	100	7
Totale	745 milioni di UCE		217 milioni di UCE

Dal punto di vista del bilancio, la nuova dotazione necessaria al finanziamento del programma 1979-83 delle associazioni, è valutata a 177 milioni di UCE (217-40 milioni di UCE), tenendo presente che 40 milioni di UC restano disponibili dal programma 1976-80.

Una riduzione di questo stanziamento comporterebbe nuove difficoltà per la gestione del programma. Come convenuto all'CCF sarebbe opportuno evitare che lo stanziamento della Commissione sia insufficiente per coprire le spese sostenute dalle associazioni alle percentuali del 25% e del 45%.

2) JET

I fondi necessari alla partecipazione dell'Euratom alle spese per la fase di costruzione del JET durante il programma 1979-83 ammontano a 131,7 milioni di UCE alle condizioni economiche del gennaio 1977.

Tale somma non comprende:

- i fondi necessari alla partecipazione dell'Euratom alle spese durante la fase operativa del progetto nel 1983, valutati a circa 18 milioni di UCE o più se la fase operativa dovesse iniziare prima della metà del 1983.
- i fondi necessari alla partecipazione dell'Euratom alle spese relative ad una eventuale accelerazione del progetto intesa a realizzare in anticipo le prestazioni estese (vedere paragrafo VI.2.6).

3) Dotazione complessiva

La nuova dotazione richiesta è dunque:

	Milioni di UCE	
Per la partecipazione al programma delle associa- zioni	217	alle condizioni econo- miche del gennaio 1979
Per la partecipazione al JET	131.7	alle condizioni econo- miche del gennaio 1977
Totale	<u>348.7</u>	<u>milioni di UCE</u>

Va notato che la dotazione per la partecipazione al JET è stata già approvata dal Consiglio.

IV.3. Organizzazione

L'organizzazione del programma comunitario in materia di fusione è basata sui contratti bilaterali di associazione tra l'Euratom e gli istituti degli Stati membri e della Svezia che sono attivi nel campo della fusione. Ogni associazione ha un Comitato di Gestione composto da un piccolo numero di rappresentanti della Commissione e dell'istituzione associata che si riunisce 2 o 3 volte all'anno ed è responsabile essenzialmente dei programmi e dei bilanci delle associazioni.

Nel programma fusione della Comunità, tre comitati svolgono un ruolo consultativo e di coordinamento a vari livelli:

- 1) il Gruppo di Collegamento composto da responsabili scientifici degli enti associati e della Commissione ha la responsabilità di fornire la consulenza scientifica e tecnica alla Commissione ed alle Associazioni sui nuovi programmi e di consigliare la Commissione sull'assegnazione del sostegno preferenziale al tasso del 45%.

Sulla base della decisione del Consiglio del 25 marzo 1976 (1) tale sostegno preferenziale può essere concesso dalla Commissione

(1) GU n. L 90 del 3.4.1976, pag. 13

soltanto per operazioni che sono state giudicate prioritarie dal Gruppo di Collegamento. Inoltre il Gruppo di Collegamento svolge la funzione di "comitato consultivo in materia di gestione dei programmi" per la parte fusione del programma CCR (1) e si riunisce circa 3 volte all'anno. Questo organismo è assistito attualmente da 6 gruppi consultivi, uno per ogni linea principale del programma: Tokamak, Screw Pinch e Stellarator ad alto Beta, Stellarator a basso Beta, Riscaldamento e Iniezione, Altissima densità e Tecnologia. I gruppi consultivi sono composti da esperti provenienti da tutti i laboratori associati e si riuniscono circa 4 volte all'anno.

2. Il Comitato dei Direttori (CdD), composto dai direttori dei laboratori associati e dal direttore del programma fusione alla Commissione è responsabile della preparazione delle decisioni sui programmi, delle condizioni d'intervento da parte della Commissione, delle modalità e dello scambio del personale e dei vari problemi riguardanti la collaborazione anche al di fuori dei laboratori associati e della Comunità. Inoltre il CdD può essere invitato ad agire quale comitato tecnico per il CCF e si riunisce in genere ogni due mesi.

Gruppi ad hoc e Comitati di Coordinamento sono costituiti dal CdD in settori specializzati (acquisizione dei dati, calcolo, ecc.). Per la preparazione della nuova parte del programma in materia di tecnologia sulla fusione il CdD ha costituito nel gennaio 1978 quattro gruppi di esperti: "Sviluppo dei materiali per la fusione", "Sviluppo delle bobine", "Tecnologia del tritio e del mantello" e "Studi di sicurezza e di sistemi". Le proposte di programma elaborate da questi gruppi nei rispettivi settori di competenza sono state presentate per parere al Gruppo consultivo in materia di tecnologia della fusione e al Gruppo di Collegamento.

3. Il comitato consultivo per la fusione (CCF), istituito mediante decisione della Commissione del 26 marzo 1976, è composto da funzionari degli Stati membri e della Svezia responsabili della ricerca nucleare e dell'energia

(1) GU N° C 192 dell'11.8.1977, pag. 1

e ha il compito di consigliare la Commissione (i suoi pareri sono trasmessi anche al Consiglio) sui problemi riguardanti:

- l'attuazione e lo sviluppo del programma compreso il progetto JET;
- le modifiche di orientamento che dovessero risultare necessarie;
- l'elaborazione del programma futuro;
- la determinazione del volume totale delle attività di ricerca sulla fusione nel quadro europeo;
- la maggiore concentrazione e integrazione dell'attività svolta negli Stati membri.

La struttura di gestione del progetto JET è definita negli statuti dell'Impresa Comune JET ed è formata essenzialmente dal Consiglio JET, dal Comitato esecutivo JET e dal Direttore del Progetto.

L'organizzazione del programma comunitario sulla fusione ha continuato ad evolvere in passato in funzione delle esigenze del programma. Nel prossimo futuro potrebbero essere introdotti due miglioramenti:

- un'eventuale riduzione del numero dei Gruppi Consultivi e una ridefinizione dei loro compiti tenendo conto dell'evoluzione del programma dovrebbe essere decisa dal Gruppo di Collegamento previa approvazione del programma 1979-1983 da parte del Consiglio
 - per il coordinamento e l'attuazione del programma in materia di tecnologia si dovrebbe costituire un sottocomitato del CdD. A seconda delle esigenze questa organizzazione potrebbe valersi del parere di gruppi di esperti simili a quelli costituiti per l'elaborazione della nuova parte del programma in materia di tecnologia.
-

B. PROPOSTA DI DECISIONE DEL CONSIGLIO

.....

che adotta un programma di ricerca e d'insegnamento (1979-1983) per la Comunità europea dell'energia atomica nel settore della fusione termonucleare controllata

IL CONSIGLIO DELLE COMUNITA' EUROPEE,

Visto il trattato che istituisce la Comunità europea dell'Energia Atomica, in particolare l'articolo 7,

Vista la proposta presentata dalla Commissione previa consultazione del Comitato Scientifico e Tecnico,

Visto il parere del Parlamento europeo⁽¹⁾,

Visto il parere del Comitato Economico e Sociale⁽²⁾,

Considerando che il Consiglio, con la decisione 76/345/Euratom⁽³⁾, modificata dalla decisione 78/470/Euratom⁽⁴⁾, ha adottato un programma di ricerca e d'insegnamento (1976-1980) nel settore della fusione e della fisica dei plasmi e che l'articolo 3 di tale decisione prevede che la Commissione presenti al Consiglio, nel 1978, una proposta di revisione intesa a sostituire al programma 1976-1980 un nuovo programma quinquennale a decorrere dal 1° gennaio 1979 ;

Considerando che, dati i rilevanti sforzi necessari per raggiungere lo stadio di applicazione della fusione termonucleare controllata, da cui la Comunità potrebbe trarre beneficio in particolare nel contesto più generale della sicurezza dell'approvvigionamento di energia a lunga scadenza, è opportuno proseguire in comune, nelle varie fasi del loro sviluppo, i lavori sinora intrapresi in questo settore

Considerando che i progressi scientifici compiuti in questo settore nel corso degli ultimi anni nella Comunità e nel mondo pongono in evidenza la necessità di costruire, in particolare per i dispositivi

(1) G.U. n.

(2) G.U. n.

(3) G.U. n. L 90 del 3/4/1976, pag. 12

(4) G.U. n. L 151 del 7/6/1978, pag. 8

di tipo Tokamak, apparecchiature di maggiori dimensioni e più complesse e di consacrare un impegno particolare allo sviluppo delle tecniche di riscaldamento dei plasmi e allo studio di taluni problemi tecnologici con la collaborazione del CCR ;

Considerando che è necessario dotare la Comunità di una grande macchina del tipo Tokamak (JET : Joint European Torus) ;

Considerando che le ricerche proposte dalla Commissione costituiscono un mezzo adeguato per proseguire l'azione e che pertanto è interesse comune adottare un programma pluriennale nel settore della fusione termonucleare controllata la cui esistenza è d'altronde una condizione per la partecipazione della Comunità al rafforzamento della collaborazione su scala mondiale in questo settore ;

Considerando che occorre che la Comunità continui ad incoraggiare, da un lato, la realizzazione di alcuni impianti inerenti ad azioni considerate prioritarie mediante la concessione di un tasso preferenziale di partecipazione di grandi progetti in comune da parte di tutti o di alcuni laboratori associati ;

Considerando inoltre che è opportuno favorire la mobilità del personale fra gli organismi che collaborano all'attuazione del programma,

DECIDE :

Articolo 1

Per un periodo di cinque anni a decorrere dal 1° gennaio 1979 viene adottato un programma di ricerca e di insegnamento nel settore della fusione termonucleare controllata, definito in allegato.

Articolo 2

Il fabbisogno complessivo per l'intera durata del programma senza JET è valutato a 217 milioni di UCE e ad un organico di 113 agenti.

Il fabbisogno complessivo per la fase di costruzione del JET durante il programma, è valutato a 131,7 milioni di UCE e ad un organico di 150 agenti temporanei, ai sensi dell'Articolo 2, lettera a), del regime applicabile agli altri agenti delle Comunità europee.

Tali cifre hanno un valore puramente indicativo.

L'unità di conto europea è definita nell'Articolo 10 del regolamento finanziario del 25 aprile 1973 applicabile al bilancio generale delle Comunità europee ⁽⁵⁾.

Articolo 3

La Commissione presenterà al Consiglio, nel 1981, una proposta di revisione intesa a sostituire al presente programma un nuovo programma quinquennale a decorrere dal 1° gennaio 1982.

Articolo 4

Le decisioni 76/345/Euratom e 78/470/Euratom sono abrogate. La presente decisione entra in vigore il 1° gennaio 1979.

Fatto a Bruxelles, il

Per il Consiglio

Il Presidente

(5) G.U. n. L 356 del 31/12/1977, pag. 1.

A L L E G A T O

FUSIONE TERMONUCLEARE CONTROLLATA

1. Il programma che sarà svolto verterà su :

- a) la fisica dei plasmi inerente al settore considerato e in particolare gli studi di carattere fondamentale relativi al confinamento mediante dispositivi adatti e i metodi di produzione e di riscaldamento dei plasmi ;
- b) lo studio del confinamento in configurazioni chiuse di plasmi di densità e di temperatura variabili entro una vasta gamma, raggiungendo possibilmente le condizioni di ignizione ;
- c) la produzione e lo studio di plasmi ad alta ed altissima densità, ed in particolare lo studio della fusione a laser ;
- d) lo sviluppo e l'applicazione ai dispositivi di confinamento di sistemi di riscaldamento del plasma di potenza adeguata ;
- e) il miglioramento dei metodi di diagnostica ;
- f) lo studio dei problemi tecnologici connessi con le ricerche in corso e dei problemi relativi all'utilizzazione delle reazioni termonucleari ;
- g) la realizzazione del progetto JET.

I lavori di cui ai punti a), b), c), d), e) e f) verranno eseguiti tramite contratti di associazione o contratti di durata limitata intesi ad ottenere i risultati necessari per la realizzazione del programma e tenendo conto dei lavori svolti dal CCR soprattutto nel campo tecnologico di cui al punto f).

La realizzazione del progetto JET di cui al punto g) è stata affidata all'Impresa comune "Joint European Torus (JET), Joint Undertaking", costituita con la decisione 78/471/Euratom⁽⁶⁾.

⁽⁶⁾ G.U. n. L 151 del 7/6/1978, pag. 10.

2. Il programma definito al punto 1 costituisce un elemento di collaborazione a lunga scadenza comprendente la totalità delle attività svolte negli Stati membri nel settore della fusione termonucleare controllata. Esso dovrà condurre, a tempo debito, alla realizzazione in comune di prototipi ai fini della industrializzazione e commercializzazione.
3. I bisogni complessivi per la durata del programma senza JET sono valutati a 217 milioni di UCE e ad un organico di 113 agenti. L'importo indicato dovrà coprire :
 - le spese per le attrezzature delle azioni considerate prioritarie e talune altre spese di finanziamento delle attività di supporto a JET ;
 - le spese per la mobilità del personale ;
 - le altre spese per le azioni da svolgere nell'ambito del programma, JET escluso.
4. L'assegnazione stanziata per il programma senza JET può essere suddivisa come segue :
 - a) circa 25 % destinato al finanziamento al tasso preferenziale dei progetti ; come menzionato al paragrafo 5 ;
 - b) circa 4 % destinato alle spese di gestione e alle spese per assicurare al personale la mobilità necessaria per lavorare negli organismi che collaborano alla realizzazione del programma ;
 - c) l'importo che non sarà stato assegnato alle azioni e spese di cui alle lettere a) e b) costituirà il massimale della partecipazione finanziaria delle Comunità alle altre spese delle associazioni. Tale partecipazione avverrà in base ad un tasso uniforme del 25 % circa.

5. Il gruppo di collegamento, dopo un esame tecnico, potrà accordare una priorità ai progetti facenti parte dei seguenti settori :

- Tokamak e supporto JET
- Altre macchine toroidali
- Riscaldamento e iniezione
- Tecnologia della fusione
- Confinamento inerziale.

La Commissione potrà finanziare questi progetti a un tasso preferenziale e uniforme di circa il 45 %.

Quale contropartita, tutti gli associati potranno partecipare agli esperimenti effettuati con tali attrezzature.

6. Il fabbisogno complessivo per la fase di costruzione del progetto JET durante il programma è valutato a 131,7 milioni di UCE e ad un organico di 150 agenti temporanei. L'importo indicato è destinato al finanziamento della fase di costruzione del progetto JET con un tasso di partecipazione dell'80 %.

PARERE DEL COMITATO SCIENTIFICO E TECNICO (CST) SUL PROGETTO DI PROPOSTA DI PROGRAMMA QUINQUENNALE 1979-1983 RELATIVA ALLA FUSIONE TERMONUCLEARE CONTROLLATA

- Il CST nella sua riunione del 16 ottobre 1978 ha esaminato il progetto di proposta di programma quinquennale 1979-83 presentato dalla Commissione.
- Il Comitato ha preso atto con soddisfazione dei recenti progressi realizzati nel campo del confinamento magnetico. Questi progressi aumentano la fiducia nelle possibilità di JET di raggiungere gli obiettivi previsti e lasciano presagire che la dimostrazione della "fattibilità scientifica" (1) della fusione mediante Tokamak potrà essere raggiunta verso la metà degli anni '80: essi giustificano un aumento dello sforzo consacrato alla fusione. Per conseguenza il Comitato considera che il programma generale (2) proposto è giustificato.
- Il Comitato constata che, in conformità al parere da lui espresso in precedenza, la Commissione realizza progressivamente una notevole concentrazione di sforzi su due obiettivi ben definiti: Tokamak e riscaldamento. Per quanto riguarda le alternative possibili nell'ambito del confinamento magnetico, il CST raccomanda di tendere verso una concentrazione di sforzi su una sola alternativa che dovrebbe essere sostenuta con mezzi adeguati. La dispersione degli sforzi dovrebbe essere evitata e dovrebbero essere invece sfruttate le possibilità offerte dalla collaborazione internazionale.
- Il CST ricorda che nel suo parere precedente, aveva chiesto di dedicare un'attenzione particolare, al momento della revisione del programma, alla fusione mediante confinamento inerziale e ai problemi tecnologici. In conseguenza
 - Il CST auspica che i problemi di base relativi al confinamento inerziale possano essere chiariti al più presto in modo da permettere di prendere posizione in materia. Nel frattempo l'esecuzione del programma minimo proposto sembra opportuna.

(1) Fattibilità scientifica: condizioni in cui l'energia prodotta dalla fusione è maggiore di quella consumata nel riscaldamento del plasma

(2) Programma generale: programma proposto dalla Commissione ad esclusione della realizzazione e utilizzazione di JET

Il Comitato, cosciente dell'importante sforzo tecnologico necessario per la preparazione della fase post-JET, considera favorevolmente le azioni proposte dalla Commissione nel campo della tecnologia, ma domanda che esse siano intraprese con prudenza. Raccomanda che sia aumentato il lavoro sullo studio dei sistemi, che dovrà servire da guida nell'elaborazione dell'insieme del programma tecnologico.

- Il Comitato insiste sul fatto che JET fa parte integrante del programma fusione. Sottolinea, come già fatto dalla Commissione nella proposta di programma, l'obbligo per le associazioni, di contribuire efficacemente al successo di JET. E' stato informato che, a seguito dei recenti progressi, sono in programma delle azioni per accelerare la costruzione di JET e la preparazione della sua fase di utilizzazione. Per queste azioni i mezzi finanziari necessari non sono stati ancora definiti con precisione e non sono compresi nella proposta della Commissione. Una parte di questi fondi potrebbe essere necessaria a partire dal 1981.
- Il CST conferma i vantaggi del concetto di programma scorrevole: possibilità di revisione periodica di obiettivi e mezzi, sicurezza di continuità nella gestione del programma, possibilità di tener conto di eventuali variazioni delle condizioni economiche.

P A R E R E

del Comitato Consultivo per la Fusione
sul progetto di proposta di programma quinquennale 1979-1983
nel campo della fusione termonucleare controllata
adottato durante la riunione del 25 ottobre 1978

=====

- Il CCF ha esaminato il progetto di proposta di programma quinquennale 1979-83 presentato dalla Commissione.
- Il Comitato tiene a sottolineare l'importanza e la necessità del concetto di programma scorrevole.
- Il Comitato unanime ritiene necessaria una rapida decisione finale del Consiglio sul programma (a metà 1979 al più tardi). Il documento presentato dalla Commissione costituisce una buona base per la parte generale del programma quinquennale (1).
- Il CCF, sapendo che in seguito ai recenti progressi scientifici, una proposta volta ad accelerare la costruzione del JET e ad anticipare la realizzazione delle sue prestazioni potenziate è in preparazione, raccomanda alla Commissione di includere nella sua proposta di programma tutte le informazioni disponibili in proposito, nonché una stima dei finanziamenti supplementari che saranno necessari.

(1) Il programma proposto dalla Commissione ad eccezione della costruzione ed esercizio del JET.

D) SCHEDA FINANZIARIA

I) PROGRAMMA FUSIONE SENZA JET

1. LINEA DI BILANCIO INTERESSATA: 3351
2. DENOMINAZIONE DELLA LINEA DI BILANCIO: Fusione termonucleare controllata, compreso il progetto JET. Questa parte della scheda riguarda soltanto il programma fusione senza JET.
3. BASE GIURIDICA: Art. 7 del Trattato CEEA
Decisione del Consiglio 76/345 Euratom (1) e decisione prevista entro il 1^o.4.1979.
4. DESCRIZIONE, OBIETTIVO(I) E MOTIVAZIONE DELL'AZIONE:

4.1. Descrizione

L'azione intende proseguire il programma di ricerche nel settore della fusione termonucleare controllata e comprende tutte le attività nei paesi membri in questo settore; la Svezia e la Svizzera sono associate a tale programma che riguarda in particolare lo studio del confinamento magnetico e inerziale del plasma, nonché della tecnologia della fusione.

4.2. Obiettivo

- a) Gli obiettivi a breve termine del programma consistono nel:
- raccogliere conoscenze sufficienti sia in campo fisico che tecnologico per poter definire durante il programma quinquennale la (le) macchina(e) post-JET in modo che la sua (loro) costruzione possa iniziare nel corso del programma successivo. In particolare, le ricerche dovrebbero portare alla determinazione dei campi e delle dimensioni ottimali di una macchina post-JET, consentire di decidere se tale macchina deve produrre elettricità e tritio e fornire informazioni sperimentali che permettano la scelta tra le bobine superconduttrici e quelle normali;

(1) GU L 90 del 3.4.1976

- valutare fino a che punto altri sistemi di confinamento magnetico (Stellarator, strizione a campo inverso) possono essere considerati come alternative reali ai Tokamak;
- eseguire un programma minimo sul confinamento inerziale.

b) Lo scopo finale di tale programma è di determinare la possibilità di produrre energia a prezzi competitivi partendo da reazioni di fusione nucleare tra nuclei atomici leggeri ed eventualmente di procedere in comune alla costruzione di prototipi per l'industrializzazione e la commercializzazione.

4.3 Motivazione

Il problema della disponibilità a lungo termine di fonti di energia su scala mondiale è ben lungi dall'essere risolto. La fusione termoneucleare è una delle rarissime fonti che potrebbero risolvere tale problema od almeno contribuire in maniera essenziale alla sua soluzione con particolari vantaggi per l'Europa. Le principali motivazioni per lo svolgimento di ricerche in questo settore in un quadro comunitario sono:

- l'importanza delle risorse umane e finanziarie richieste, che fa ritenere che tale sviluppo non sia possibile su scala nazionale;
- l'esistenza di un fabbisogno collettivo comune a tutti gli Stati membri;
- la durata dei lavori da svolgere (che possono prolungarsi fino alla fine del secolo) per giungere alla costruzione del reattore;
- in caso di successo, l'apertura di un mercato interno importante per il reattore europeo.

5. INCIDENZA FINANZIARIA TOTALE DELL'AZIONE PER TUTTA LA DURATA PREVISTA (in UCE)

5.0 Sulle spese (periodo dal 1979 al 1983)

5.0.0 Costo a carico:

- del bilancio delle Comunità	:	217.000.000 UCE (1)
- delle amministrazioni nazionali e di altri settori a livello nazionale	:	<u>528.000.000 UCE</u>
Costo totale	:	745.000.000 UCE =====

(1) L'importo di 217.000.000 UCE si scompone nella maniera seguente:
31.463.000 UCE già impegnati sugli stanziamenti del programma 1976-80
8.537.000 UCE saldo degli stanziamenti d'impegno 1976-80
177.000.000 UCE nuovi bisogni del programma

5.1 Scadenzario pluriennale

Per tener conto dello slittamento del programma fusione, lo scadenzario presentato qui di seguito riguarda il periodo dal 1976 al 1983 comprendente il programma in corso (1976-1980) e il programma proposto (1979-1983). A tale periodo 1976-1983 corrisponde una dotazione globale di 301 milioni di UCE, e cioè 84 milioni di UCE per il periodo 1976-1978 + 217 milioni di UCE per il periodo 1979-1983.

5.1.1 Stanziamenti d'impegno (uc 1976-77, UCE - 1978-83) (arrotondati in migliaia di UCE)

Categoria delle spese	1976 (esecuzione definitiva)	1977 (esecuzione provvisoria)	1978 (bilancio 1978 + stanziamenti ri- portati dal 1977)	1979	1980	1981	1982	1983
Spese per il personale	3.240.000	3.782.000	6.157.000	6.127.000	6.561.000	6.955.000	7.372.000	7.815.000 48.009.000
Spese di funzionamento amministrativo e tecnico	135.000	170.000	171.000	231.000	247.000	264.000	282.000	302.000 1.802.000
Spese derivanti da contratti	10.658.000	82.773.000	8.377.000	20.054.000	113.327.000	8.000.000	8.000.000	- 251.189.000
Totale	14.033.000	86.725.000	14.705.000	26.412.000 (6.412.000VP + 20.000.000 NP)	120.135.000 (2.125.000VP + 118.010.000 NP)	15.219.000	15.654.000	8.117.000 301.000.000

- (1) Tutti gli impegni di spesa 1976-1978 ammontano a 115.463.000 UCE, i cui 84.000.000 UCE per lavori eseguiti nel 1976-1978 e 31.463.000 UCE per lavori da svolgere nel 1979 e negli anni successivi.
- (2) Il totale degli stanziamenti d'impegno richiesti per il 1979-1983 ammonta a 185.537.000 UCE di cui 8.537.000 UCE ancora disponibili come stanziamenti d'impegno del programma 1976-80; pertanto i nuovi stanziamenti ammontano a $185.537.000 - 8.537.000 = 177.000.000$ UCE. All'importo di 185.537.000 è necessario aggiungere 31.463.000 UCE impegnate prima del 1979 per lavori da svolgere nel 1979 e negli anni successivi: $185.537.000 + 31.463.000 = 217.000.000$ UCE.

NP = nuovo programma (1979-1983)

VP = vecchio programma (1976-1980)

5.1.2 Stanziamenti di pagamento (UC 1976-77, UCE 1978-83, arrotondati in migliaia di UCE)

74.

Categoria delle spese	1976 (esecuzione definitiva)	1977 (compresi gli stanziamenti di pagamento riportati sull'esercizio 1978)	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Spese per il personale	3.240.000	3.782.000	6.157.000	6.127.000	6.561.000	6.955.000	7.372.000	7.815.000	- 48.009.000
Spese di funzionamento amministrativo e tecnico	135.000	170.000	171.000	231.000	247.000	264.000	282.000	302.000	- 1.802.000
Spese derivanti da contratti	17.908.000	16.787.000	19.525.000	30.454.000	33.000.000	36.000.000	40.000.000	44.000.000	13.515.000 251.189.000
Totale	21.183.000	20.739.000	25.853.000	26.812.000 10.000.000 36.812.000	29.313.000 10.495.000 39.808.000	43.219.000	47.654.000	52.117.000	13.515.000 301.000.000¹⁾

(1) Pagamenti 1976-78: 67.875.000 UCE
 Pagamenti 1979-84: 233.125.000 UCE
 Totale: 301.000.000 UCE
 =====

L'importo di 233.125.000 UCE per il periodo 1979-1984 comprende un importo di 16.125.000 UCE per lavori svolti anteriormente a tale periodo:

233.125.000
 - 16.125.000

 217.000.000

5.2 Modalità di calcolo

a) Spese per il personale

L'organico proposto per tale programma comprende i seguenti agenti:

Anno	A	B	C	Totale
1979	74	35	3	112
1980-1983	75	35	3	113

I calcoli tengono conto dei parametri fissati per l'elaborazione del progetto preliminare di bilancio dell'esercizio 1979. Per il periodo dal 1980 al 1983 il costo del personale è stato maggiorato del 6% all'anno.

b) Spese di funzionamento amministrativo e tecnico

Comprendono le spese relative ai distaccamenti, alle missioni, agli esperti e all'organizzazione di riunioni e al funzionamento di un supporto amministrativo e tecnico.

c) Spese derivanti da contratti

Per il periodo dal 1979 al 1983, il costo d'esecuzione del programma fusione presso i laboratori associati della Comunità è valutato a 736 milioni di UCE, compreso il personale della Commissione assegnato a detti laboratori. La Comunità parteciperebbe al finanziamento di tali spese con una quota del 25% circa. Tale quota potrebbe essere aumentata al 45% circa per alcune azioni ritenute prioritarie dal gruppo di collegamento. La maggior parte di tali spese dovrebbe essere impegnata all'inizio del nuovo programma 1979-1983.

Le spese per la mobilità del personale non dipendente dalla Commissione sono valutate a 2 milioni di UCE per il periodo 1979-1983.

5.3 Incidenza sulle risorse

- Imposte comunitarie sugli stipendi degli agenti della Commissione.
- Contributo degli agenti suddetti al regime delle pensioni.

6. REGIME DI CONTROLLO PREVISTO

Controllo scientifico:

- Comitati di Gestione, creati sulla base dei contratti di associazione da concludere con i laboratori nazionali.
- Comitato dei Direttori creato sulla base dei contratti di associazione.
- Gruppo di Collegamento riconosciuto dal Consiglio come CCMGP (GU C 192 dello 11/8/1977, pag. 1).
- Comitato Consultivo per la Fusione istituito dalla Commissione in virtù dell'articolo 135 del Trattato Euratom.

Controllo amministrativo e finanziario:

- Comitati di Gestione
- Controllo finanziario e servizio contratti della DG XII della Commissione.
- Corte dei Conti

7. FINANZIAMENTO DELL'AZIONE

Stanziamenti da iscrivere nei futuri bilanci (1979-84).

II) PROGETTO JET

1. LINEA DI BILANCIO INTERESSATA: 3351

2. DENOMINAZIONE DELLA LINEA DI BILANCIO: Fusione termonucleare controllata, compreso il progetto JET. Questa parte della scheda riguarda esclusivamente il progetto JET.

3. BASE GIURIDICA: Articolo 7 del trattato CEEA
Decisione del Consiglio 78/470/euratom del 30.5.1978
(GU L 151 del 7.6.1978, pag. 8) e decisione del
Consiglio prevista entro il 1°.4.1979.

4. DESCRIZIONE, OBIETTIVO(I) E MOTIVAZIONE DELL'AZIONE

4.1 Descrizione

Costruzione, funzionamento e sfruttamento, come parte del programma fusione della Comunità e a favore dei partecipanti a tale programma, di una grande macchina toroidale di tipo Tokamak e dei suoi sistemi ausiliari (Joint European Torus - JET -) in modo da estendere la gamma dei parametri applicabili agli esperimenti di fusione termonucleare controllata fino alle condizioni vicine a quelle di un reattore termonucleare.

4.2 Obiettivi

Realizzare e studiare un plasma di dimensioni e condizioni vicine a quelle di un reattore termonucleare. Tale obiettivo implica quattro settori di attività principali:

- (i) l'evoluzione del comportamento del plasma quando i parametri sono vicini al dominio del reattore,
- (ii) l'interazione plasma-parete in tali condizioni,
- (iii) lo studio del riscaldamento del plasma e
- (iv) lo studio della produzione e del confinamento delle particelle alfa e del conseguente riscaldamento del plasma.

4.3 Motivazione

La realizzazione del progetto JET rappresenta una tappa essenziale nell'itinerario del programma fusione della Comunità. Per quanto riguarda lo scopo finale di tale programma e la sua motivazione si fa riferimento alla parte I, paragrafo 4.3 della scheda.

5. INCIDENZA FINANZIARIA TOTALE DELL'AZIONE PER TUTTA LA DURATA PREVISTA (in UCE)

5.1 Sulle spese (periodo dal 1976 al 1983)

5.1.1 Costo a carico:

- del bilancio delle Comunità (80%)	147.700.000 UCE
- delle amministrazioni nazionali e di altri settori a livello nazionale (20%)	<u>36.900.000 UCE</u>

Costo totale : 184.600.000 UCE
=====

Si ricorda che il costo è stato valutato ai prezzi costanti del gennaio 1977.

5.1.2 Scadenzario pluriennale

Anni	1976/77/78	1979	1980	1981	1982	1983	Totale
Impegni (in mil. di UCE)	16	54,4	35,2	25,6	12,8	3,7	147,7(1)
Pagamenti (in mil. di UCE)	9,6	32	38,4	32,8	23,2	11,7	147,7

5.2 Modalità di calcolo

Il costo del progetto JET nella fase di costruzione è stato valutato a 184,6 milioni di UCE ai prezzi del gennaio 1977 e al tasso UCE del 3 gennaio 1977 (1 UCE = 40,6207 FB). Gli stanziamenti necessari per sostenere la partecipazione all'80% della Comunità al finanziamento del progetto ammontano a 147,7 milioni di UCE.

(1) La somma degli impegni 1979-1983 è di 137,7 MUCE (= 147,7 - 16) e corrisponde allo stanziamento proposto per JET per il programma 1979-1983.

L'importo di 184,6 milioni di UCE non tiene conto:

- (a) della variazione delle condizioni economiche intervenuta dal gennaio 1977. Si ricorda a tale proposito che il progetto JET è formato essenzialmente da "hardware". L'impresa comune JET sta attualmente procedendo ad un primo aggiornamento delle valutazioni di costo del progetto. La Commissione ne informerà le autorità di bilancio.
- (b) Del costo di sfruttamento dell'impianto nel 1983.
- (c) Del costo degli investimenti necessari per consentire all'impianto di raggiungere le prestazioni potenziate. I buoni risultati ottenuti di recente negli impianti Tokamak sembrano giustificare una certa accelerazione del programma. E' pertanto probabile che gran parte delle spese relative alle prestazioni aumentate dovrà essere impegnata già durante la fase di costruzione. Ovviamente tali spese complementari potranno essere impegnate soltanto sulla base di una nuova decisione del Consiglio riguardante tale programma. Sono già in corso i lavori preparatori relativi alla definizione di tale programma.

5.3 Incidenze sulle risorse

Imposte comunitarie sugli stipendi degli agenti temporanei.

6. FINANZIAMENTO DELL'AZIONE

- Stanziamenti iscritti nei bilanci delle Comunità europee 1976/77/78.
- Stanziamenti da iscrivere nei bilanci futuri.

7. REGIME DI CONTROLLO

- (a) Controllo scientifico: - Consiglio JET
- Comitato Consultivo per la Fusione
- (b) Controllo amministrativo e finanziario : - Consiglio JET
- Corte dei Conti