

COMMISSIONE EUROPEA

LA RICERCA SULLA FUSIONE

**Una scelta energetica per il
futuro dell'Europa**

Europe Direct è un servizio a vostra disposizione per aiutarvi a trovare le risposte ai vostri interrogativi sull'Unione europea

Nuovo numero verde unico:

00 800 6 7 8 9 10 11

Né la Commissione europea né le persone che agiscono in suo nome sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute nella presente pubblicazione.

I pareri espressi nella presente pubblicazione non impegnano che il loro autore e non riflettono necessariamente il punto di vista della Commissione europea.

Numerose altre informazioni sull'Unione europea sono disponibili su Internet via il server Europa (<http://europa.eu.int>).

Una scheda bibliografica figura alla fine del volume.

Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, 2004

ISBN 92-894-7716-4

© Comunità europee, 2004

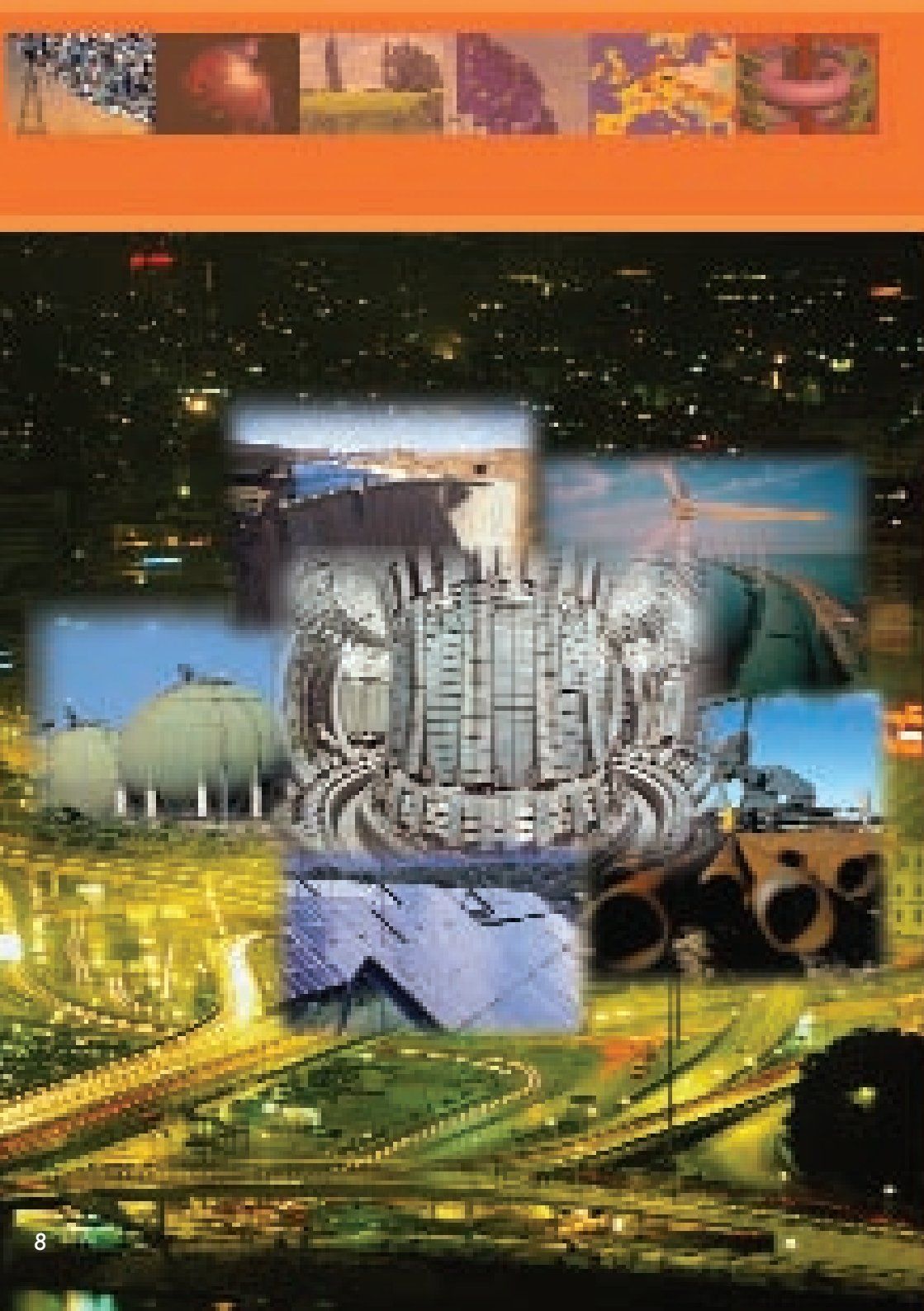
Riproduzione autorizzata con citazione della fonte.

Stampato in Belgio

STAMPATO SU CARTA SBIANCATA SENZA CLORO

Contenuto

INTRODUZIONE ALLA FUSIONE	
La necessità di energia sicura e sostenibile	9
La fonte di energia delle stelle	10
Produzione di energia di fusione	11
Il confinamento del plasma	12
Le caratteristiche di sicurezza della fusione	13
Un ridotto impatto sull'ambiente	15
IL PROGRAMMA EUROPEO SULLA FUSIONE	
La strategia europea per lo sviluppo della fusione	16
Il programma europeo per le ricerche sulla fusione	18
LA FUSIONE, COME FUNZIONA?	
La fusione a confinamento magnetico	20
Principali componenti del reattore	22
Il riscaldamento del plasma	24
Diagnostiche e modelli di simulazione per plasmi	25
EVOLUZIONE DELLA RICERCA SULLA FUSIONE	
I recenti avanzamenti nel campo della fusione magnetica	26
La produzione di energia di fusione	27
ITER, la strada verso la fusione	28
Attività tecnologiche a lungo termine	30
Attività europee per l'istruzione, la formazione e l'informazione	32
Ricadute delle attività di ricerca e sviluppo della fusione in altre aree di alta tecnologia	34
Referenze	35
"La fabbrica delle stelle"	38
DVD	39





La necessità di energia sicura e sostenibile

L'economia, la stabilità e il benessere dell'Unione europea dipendono da un affidabile approvvigionamento di energia. Oggi la domanda è soddisfatta principalmente dai combustibili fossili (petrolio, carbone e gas naturale) che coprono l'80% del consumo totale di energia e che sono in gran parte importati (67%). In totale, i combustibili fossili importati soddisfano attualmente circa il 50% del fabbisogno energetico europeo. Secondo le previsioni, entro il 2030 questa percentuale raggiungerà il 70%, specialmente a causa di una maggiore importazione del petrolio.

Fonti di energia sicure e sostenibili sono necessarie al mantenimento del nostro standard di vita. In Europa, i ricercatori stanno sviluppando diverse tecnologie per produrre energia in modo sostenibile, sicuro e accettabile dal punto di vista ambientale. La fusione è una di queste.

Nel lungo termine la fusione potrà diventare una fonte di energia su larga scala con un basso impatto ambientale. Inoltre, è sicura e può contare su riserve di combustibile vaste e ampiamente disponibili.

Questo libretto presenta il lavoro dei ricercatori europei il cui scopo è quello di rendere disponibile l'energia da fusione a beneficio della società.



La fonte di energia delle stelle

La fusione è il processo che fornisce l'energia al sole e alle altre stelle. I nuclei degli atomi a basso numero atomico "si fondono" tra loro e liberano energia. Nel centro del sole l'enorme pressione dovuta alla forza di gravità permette di realizzare questo processo a temperature di circa 10 milioni di gradi centigradi.

Sulla terra, le pressioni che si riescono ad ottenere sono molto più basse (10 miliardi di volte inferiori rispetto al sole), pertanto, per produrre quantità significative di energia di fusione sono necessarie temperature di oltre 100 milioni di gradi centigradi.

Un gas riscaldato a tali temperature si trasforma in "plasma", dove gli elettroni sono completamente separati dal nucleo dell'atomo (ioni). Il plasma è il quarto stato della materia ed ha proprietà particolari. Lo studio di queste proprietà è al centro delle ricerche nel campo della fisica dei plasmi. Sebbene non si trovi sulla Terra, più del 99% dell'universo è costituito da plasma.

La produzione di energia di fusione



Le reazioni di fusione tra due isotopi dell'idrogeno - deuterio (D) e trizio (T) - sono alla base dello sviluppo della prima generazione dei reattori a fusione, dato che le reazioni alternative richiedono temperature più elevate. Ogni reazione D-T produce un nucleo di elio, un neutrone e una elevata quantità di energia che può essere usata per rigenerare il vapore nel ciclo di una centrale elettrica. La fusione richiede quantità limitate di combustibile: ad esempio, il carico di un camion produrrebbe elettricità sufficiente a soddisfare il fabbisogno di una città con una popolazione di circa un milione di persone per un anno.

Il deuterio è un isotopo non radioattivo che si trova in natura e può essere estratto dall'acqua (in media 35 g per ogni metro cubo). Il trizio non esiste in natura ed è invece prodotto, all'interno del reattore dal litio, un metallo leggero abbondante sulla terra. Quando un neutrone ad alta energia, proveniente da una reazione di fusione, colpisce un atomo di litio, il trizio è prodotto liberando ulteriore energia ed è poi inviato verso il plasma per essere usato come combustibile.

Il confinamento del plasma



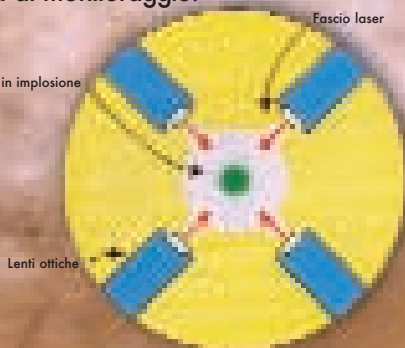
Fusione a confinamento magnetico

Per raggiungere una temperatura di 100 milioni di gradi centigradi è necessario un forte riscaldamento del plasma. Occorre inoltre isolare il plasma dalle pareti del reattore per evitare perdite e limitare il raffreddamento. A tale scopo, il plasma viene posto in una "gabbia" di forma toroidale, creata da forti campi magnetici che impediscono alle particelle cariche elettricamente di uscire. Al contrario, i neutroni generati nella reazione di fusione, non restano imprigionati perché non possiedono una carica elettrica. Questo metodo si chiama "fusione a confinamento magnetico toroidale". E' la tecnologia più avanzata ed è alla base del programma fusione europeo.

La cosiddetta "fusione a confinamento inerziale" usa un metodo diverso. In questo caso, con un laser ad alta potenza o con fasci di ioni, si comprime e riscalda una minuscola pallina di D-T aumentandone la densità fino a 10000 volte finché si ottengono reazioni di fusione. In questo campo il programma fusione europeo svolge solo un'attività di monitoraggio.

Bersaglio di combustibile in implosione

Fusione a confinamento inerziale



Fascio laser

Lenti ottiche



Le caratteristiche di sicurezza della fusione

In un reattore a fusione, il gas viene bruciato man mano che è immesso, come avviene in un comune fornello a gas. Nella camera di reazione il gas è molto rarefatto: in ogni momento vi è circa 1 g di miscela D-T in un volume di 1000 m^3 . Nel caso che la mandata di combustibile sia interrotta, le reazioni di fusione possono continuare solo per pochi secondi. Un malfunzionamento della macchina farebbe quindi raffreddare il plasma e bloccare le reazioni.

I combustibili di base della fusione, deuterio e litio, come anche il prodotto di reazione, l'elio, non sono radioattivi. Il prodotto intermedio della reazione, il trizio, è radioattivo ed è generato e utilizzato, in un ciclo chiuso, solo in quantità sufficienti a sostenere le reazioni di fusione che avvengono nel plasma. Perciò, in una centrale a fusione, non c'è bisogno di un costante trasporto da e verso l'esterno di combustibile radioattivo.

Aspetti di sicurezza della fusione (continuazione)

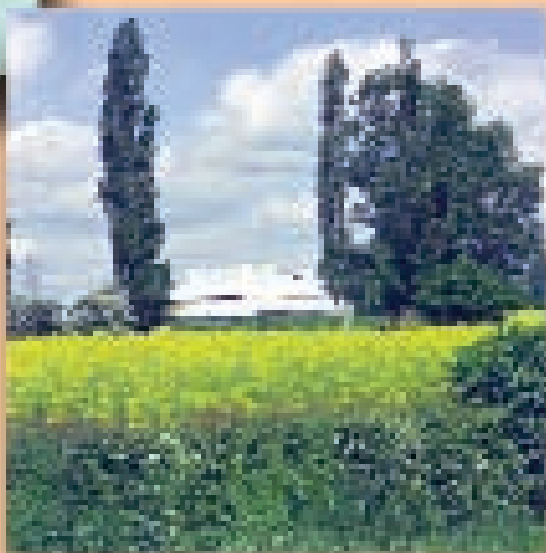


Dispositivi per manipolare il trizio

Il reattore a fusione è progettato in modo che un qualsiasi incidente all'interno del reattore non richieda l'evacuazione della popolazione limitrofa.

La radioattività del trizio si riduce abbastanza velocemente (il suo tempo di dimezzamento è di 12,6 anni); il decadimento produce elio e un elettrone (radiazione beta) di bassa energia. Nell'aria, questo elettrone può viaggiare per pochi millimetri e non può neanche attraversare un foglio di carta.

Il trizio è nocivo agli esseri umani e perciò i requisiti necessari a garantire la sicurezza sono rigorosamente tenuti in considerazione durante la progettazione delle centrali a fusione.



Il sito del tokamak europeo JET (Culham - Regno Unito)



Un ridotto impatto sull'ambiente

Le centrali a fusione differiranno da quelle attuali soprattutto nella parte più interna. In ogni caso, l'uso finale dell'energia prodotta dalle reazioni di fusione, sarà lo stesso che al giorno d'oggi, ovvero la generazione di elettricità e calore.

Il consumo di combustibile di una centrale a fusione sarà estremamente basso. Un impianto a fusione da 1 GW elettrico avrà bisogno di circa 100 kg di deuterio e di 3 tonnellate di litio naturale per funzionare per un anno intero, producendo circa 7 miliardi di chilowattora. Una centrale funzionante a carbone richiede circa 1,5 milioni di tonnellate di combustibile per generare la stessa energia!

I reattori a fusione non producono gas ad effetto serra o altri agenti inquinanti che possano nuocere all'ambiente o causare cambiamenti climatici.

I neutroni generati dalle reazioni di fusione causano l'attivazione delle strutture poste attorno al plasma perciò i componenti del reattore possono essere riciclati circa 100 anni dopo la chiusura della centrale. E' però allo studio lo sviluppo di nuovi materiali usati per questi componenti, per consentire di diminuire il periodo di stoccaggio. Per questi motivi, i residui provenienti dalle centrali a fusione non costituiranno un onere per le generazioni future.

Le centrali a fusione saranno particolarmente indicate per soddisfare le esigenze energetiche delle aree ad alto sviluppo demografico e industriali. Sono anche in grado di produrre idrogeno per sostenere un'economia basata su questo vettore.



La strategia europea per lo sviluppo della fusione

L'obiettivo a lungo termine della ricerca e sviluppo nel campo della fusione negli Stati Membri dell'Unione europea (e le nazioni associate al programma quadro Euratom) è "creare insieme reattori prototipi per centrali di potenza che possano soddisfare le necessità della nostra società: sicurezza di funzionamento, compatibilità con l'ambiente, redditività economica".

La strategia per raggiungere questo obiettivo nel lungo termine include lo sviluppo di un reattore sperimentale ("Next Step"), che è perseguito nella collaborazione internazionale per "ITER", seguito da un reattore dimostrativo ("DEMO"), capace, per la prima volta, di generare quantità significative di elettricità e di essere autosufficiente nel ciclo del trizio. La costruzione di ITER e, più tardi, di DEMO, richiederà un coinvolgimento significativo dell'industria europea. Sarà inoltre accompagnata da attività complementari nella fisica e nella tecnologia, da compiere nei laboratori di ricerca specializzati sulla fusione e nelle università.

La partecipazione (con i partners internazionali) alla progettazione di ITER è stato un elemento importante del programma europeo di ricerca sulla fusione negli ultimi anni. Le caratteristiche fondamentali di questo progetto seguono quelle della macchina europea JET (Joint European Torus, Culham, Regno Unito) che ha conseguito il record mondiale di potenza generata dalla fusione con 16 MW nel 1997 ed è tutt'ora in funzione. La previsione sul funzionamento di ITER si basa su un gran numero di modelli che usano l'intera banca dati proveniente dagli esperimenti di fusione compiuti in Europa e nel mondo.



Schema di ITER

La collaborazione internazionale per ITER è attuata sotto gli auspici dell'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (IAEA) di Vienna (AT). L'obiettivo strategico globale di ITER è di dimostrare la fattibilità scientifica e tecnologica della produzione di energia da fusione per scopi pacifici.

In parallelo a ITER, continua l'attività di ricerca e sviluppo a lungo termine per il reattore dimostrativo DEMO. Un obiettivo importante è lo sviluppo di materiali strutturali avanzati (in particolare con qualità di bassa attivazione), ottimizzati per le condizioni proprie dei reattori a fusione.



Riproduzione artistica del futuro sito europeo per ITER a Cadarache (Francia)



La qualificazione e convalida di tali materiali richiedono un impianto specifico di prova, quale è IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) di cui è stato sviluppato un progetto preliminare.



Il programma europeo per le ricerche sulla fusione

Le attività di ricerca e sviluppo nel campo della fusione in Europa sono basate sul trattato della comunità europea per l'energia atomica (Euratom), coordinate dalla Commissione europea e messe in atto attraverso:

- Contratti di Associazione con istituti di ricerca o organizzazioni negli Stati Membri e nei paesi associati al programma quadro Euratom;
- L' Accordo europeo per lo sviluppo della fusione (European Fusion Development Agreement - EFDA) che si occupa di:
 - attività di tecnologia della fusione compiute dalle Associazioni e dall'industria,
 - uso collettivo degli impianti del JET, e
 - contributi europei a collaborazioni internazionali quali ITER;
- Contratti di durata limitata in paesi che non hanno ancora un'Associazione nel campo della fusione;
- Accordo per la promozione della mobilità dei ricercatori e borse di studio europee di Euratom.

Nel Sesto Programma Quadro - Euratom (dal 2002 al 2006) la ricerca per l'energia di fusione è un'Area Tematica Principale con un bilancio, nella sola Commissione europea, di 750 milioni di Euro (dei quali fino a 200 milioni di Euro per la costruzione di ITER).

Il successo della ricerca europea sulla fusione è stato raggiunto grazie al lavoro di circa 2000 tra fisici e ingegneri operanti nei laboratori europei associati e nell'industria europea.



La particolarità del programma fusione europeo è la sua coordinazione a livello centrale che permette di utilizzare a pieno tutte le risorse di ricerca e sviluppo in collaborazioni a livello europeo su tutte le principali aree di ricerca. In particolare, nello sfruttamento del JET e nel programma tecnologico di EFDA, principalmente focalizzato su ITER, ma che include anche il lavoro dedicato all'ulteriore sviluppo di DEMO.

Questo unico e coordinato programma fusione vede la collaborazione di laboratori grandi e piccoli verso un obiettivo programmatico comune. E' un esempio di area europea per la ricerca (in inglese European Research Area - ERA) e ha portato l'Europa sul gradino più alto delle ricerche internazionali sulla fusione a confinamento magnetico. I significativi risultati ottenuti in Europa nei laboratori associati hanno permesso la costruzione di JET e importanti passi avanti verso la realizzazione del progetto ITER, che gli Stati Membri o gli Stati Associati non sarebbero stati in grado di realizzare da soli.

Inoltre, l'importante collaborazione internazionale su ITER e gli "Accordi di Applicazione" ("Implementing Agreements") dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA, Parigi - F) servono come base per la collaborazione con partner non-europei per riunire le migliori risorse mondiali su argomenti specifici di comune interesse. Lo stesso obiettivo è anche perseguito attraverso un nutrito numero di accordi bilaterali e multilaterali di collaborazione tra laboratori europei e non.

La fusione a confinamento magnetico

Come suggerisce il nome, la fusione a confinamento magnetico utilizza forti campi magnetici per confinare il plasma all'interno di una camera da vuoto, che isola il plasma dall'aria circostante. In una situazione ideale, gli ioni e gli elettroni caricati elettricamente che costituiscono il plasma non possono attraversare le linee di campo magnetico ma possono muoversi liberamente lungo di esse.



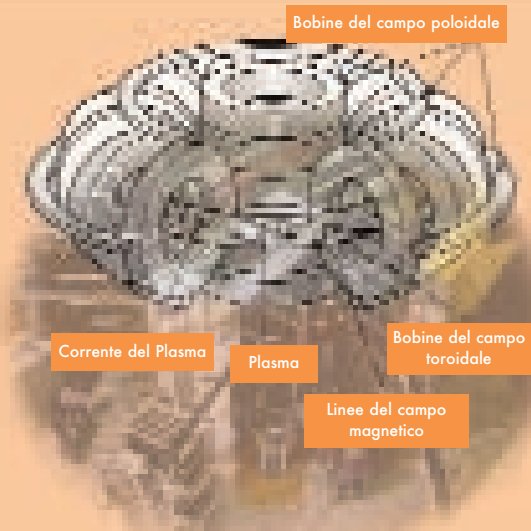
Plasma in presenza di campo magnetico

Curvando le linee di campo per formare un anello chiuso, le particelle di plasma sono, in linea di principio, confinate. Le particelle e la loro energia sono mantenute ben isolate dalle pareti della camera di combustione ed il plasma mantiene così un'elevata temperatura. Infatti, in un reale sistema magnetico toroidale, ci sono perdite di energia tramite vari processi, quali la radiazione o, con il passare del tempo, le collisioni di particelle che provocano la fuga di altre dal plasma attraverso le linee di campo magnetico.

I campi magnetici sono generati da grandi correnti elettriche che fluiscono in bobine situate all'esterno della camera del reattore. Frequentemente, anche le correnti generate nel plasma contribuiscono alla "gabbia magnetica".



Plasma in assenza di campo magnetico

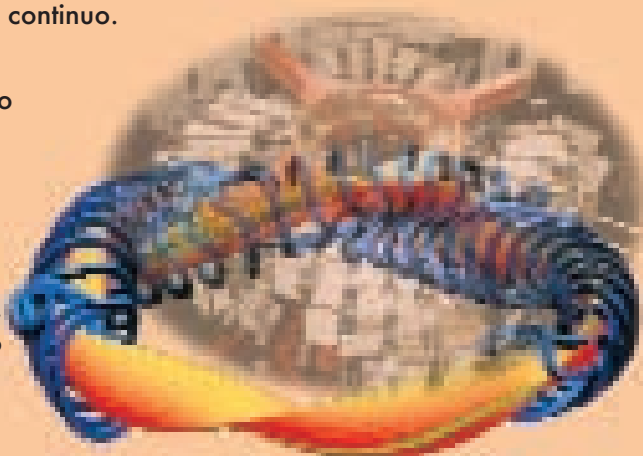


Schema del tokamak

Nel tipo di macchina chiamata "tokamak", il plasma funge da avvolgimento secondario di un trasformatore (il primario è la bobina esterna) e una variazione di corrente nel circuito primario induce una corrente nel plasma. Oltre a generare un campo magnetico che confina il plasma, questa corrente contribuisce al riscaldamento del plasma stesso, a causa della resistenza elettrica di quest'ultimo.

Dato che un trasformatore non può generare una corrente continua, la corrente di plasma deve essere sostenuta con altri mezzi se si vuole raggiungere un funzionamento continuo.

Il tipo di macchina chiamato "stellarator" usa lo stesso principio di confinamento magnetico, ma utilizzando bobine esterne di forma complessa, non ha bisogno di una corrente nel plasma. Gli stellarator quindi hanno in sé la potenzialità di funzionare in modo continuo.



Schema dello stellarator



I principali componenti del reattore

Solenoido centrale

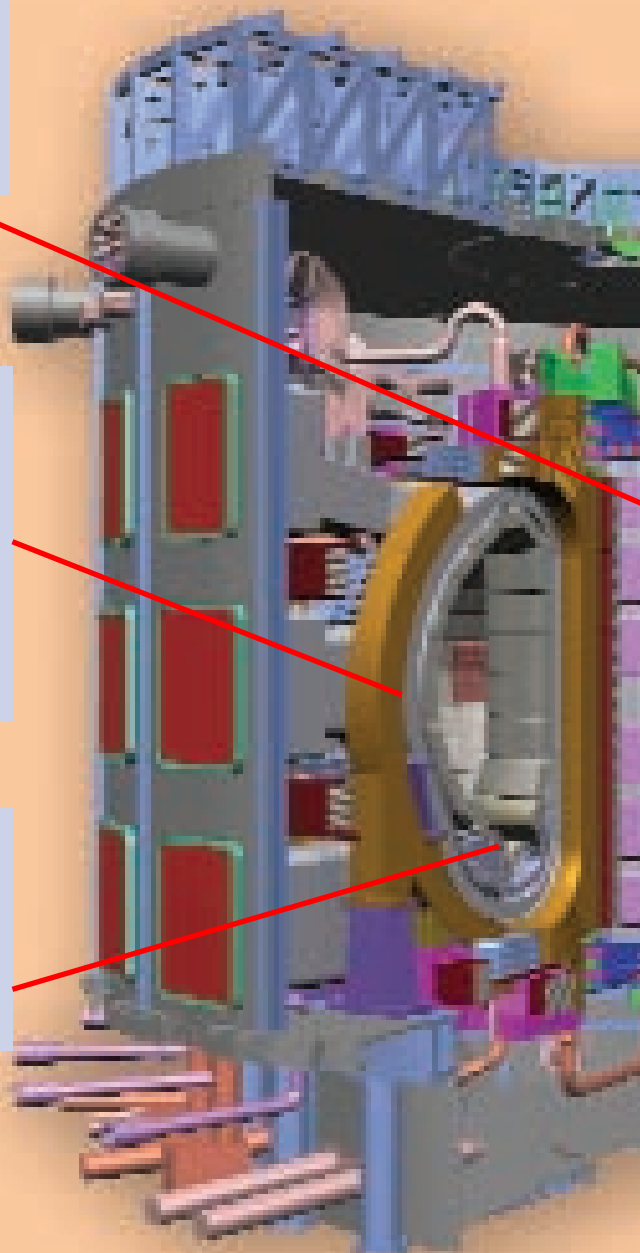
E' il circuito primario del trasformatore (ove il plasma è il secondario). Serve a generare la corrente nel plasma.

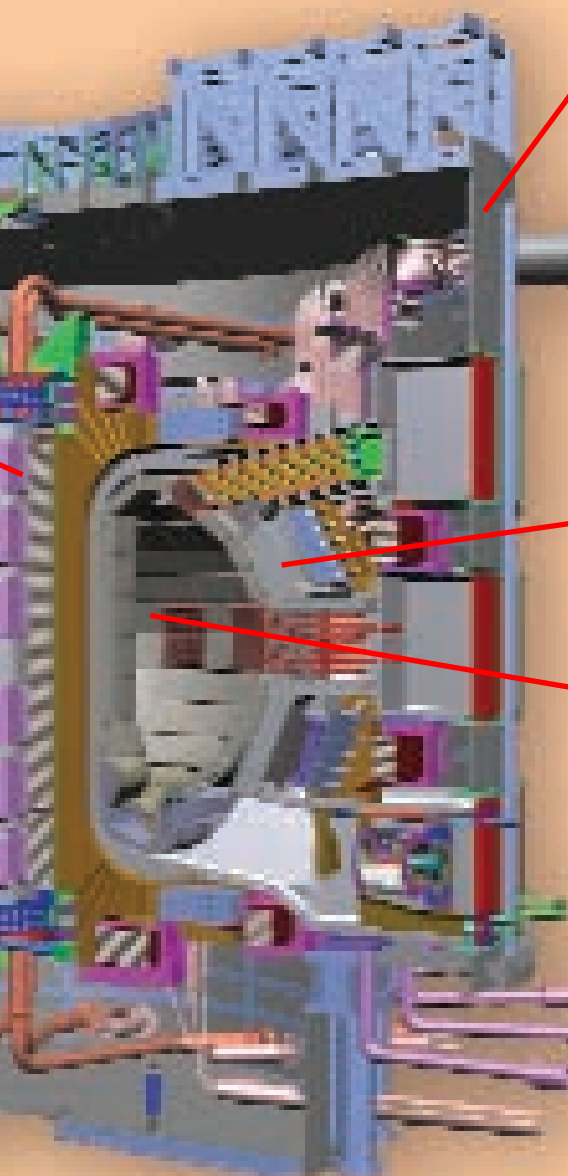
Bobine di campo toroidale e poloidale

Generano il forte campo magnetico (circa 5 Tesla, corrispondente a circa 100000 volte il campo magnetico terrestre) che confina il plasma e lo tiene lontano dalle pareti della camera da vuoto.

Divertore

Rimuove le impurezze e l'elio dalla camera da vuoto. E' l'unica zona dove è previsto che il plasma tocchi la parete in maniera controllata.





Criostato

Racchiude le bobine e la camera da vuoto. E' raffreddato a circa - 200 gradi centigradi per mantenere i magneti superconduttori alla loro temperatura di funzionamento di - 269 gradi centigradi.

Camera a vuoto

E' la principale zona di contenimento del plasma e dei gas che lo compongono, tenendoli separati dall'aria e dall'ambiente circostante.

Mantello

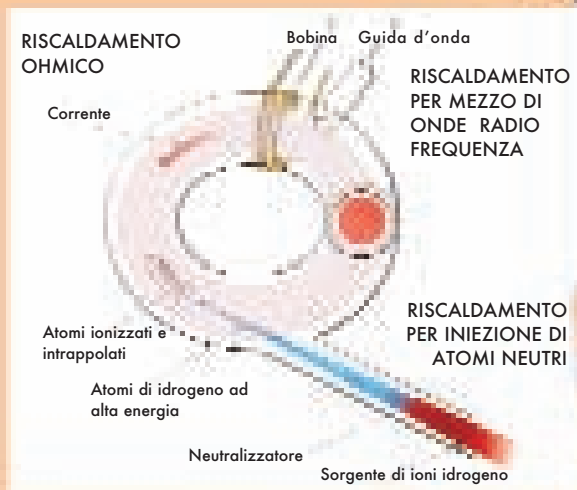
Il litio è contenuto nei moduli del mantello. Quando i neutroni reagiscono con il litio, si produce il trizio che è poi opportunamente separato e convogliato nel plasma. L'energia depositata dai neutroni è estratta per riscaldare l'acqua e produrre il vapore che, espandendosi nella turbina, alimenta il generatore elettrico.

Il riscaldamento del plasma

La corrente che transita nel plasma di un tokamak contribuisce al suo riscaldamento. Tale riscaldamento, detto ohmico, al crescere della temperatura del plasma, diventa sempre meno efficace e porta solo a temperature di pochi milioni di gradi, dieci volte troppo basse per far avvenire un grande numero di reazioni di fusione. Per andare oltre, si fornisce un riscaldamento aggiuntivo dall'esterno.

Il riscaldamento ad alta frequenza usa potenti onde elettromagnetiche a diverse frequenze che trasferiscono la loro energia al plasma attraverso un assorbimento tramite risonanza.

I sistemi più usati sono: riscaldamento alla risonanza ionica ciclotronica (20 - 55 MHz), alla risonanza elettronica ciclotronica (100 - 200 GHz, praticamente microonde), e alla frequenza ibrida inferiore (1 - 8 GHz).



Antenna a radio frequenza al Tore Supra (CEA, Cadarache - F)

Fasci di particelle energetiche neutre sono iniettati nel plasma, lo penetrano, e trasferiscono la loro energia cinetica al plasma attraverso collisioni.

Sistema di diagnostica basato sui fasci di neutri del JET

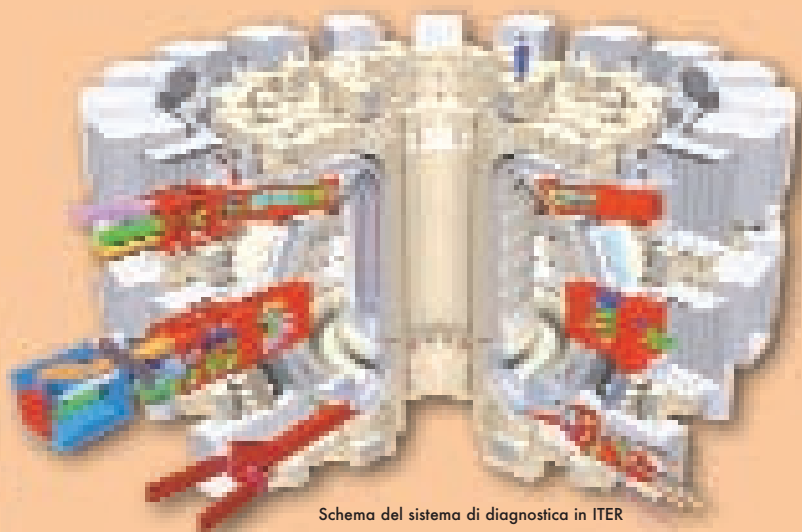


Diagnostiche e modelli di simulazione per plasmi

Per poter progettare un reattore a fusione è necessario capire i processi che hanno luogo in un plasma. Questo richiede sofisticati e complessi sistemi di misurazione detti diagnostiche.

Le diagnostiche sono state sviluppate nei laboratori europei per registrare tutti i parametri del plasma, dalla temperatura al centro del plasma stesso (usando potenti laser), fino alla quantità e provenienza delle impurità in esso contenute.

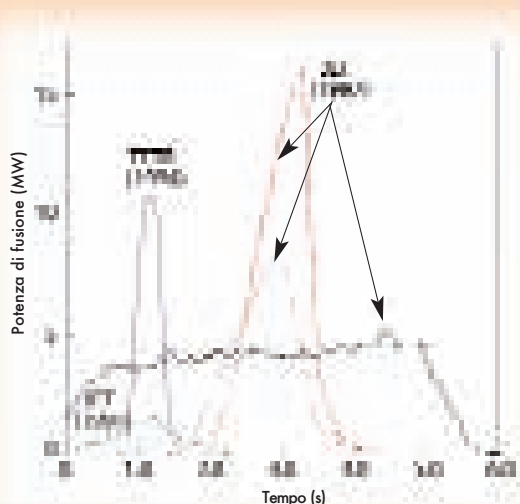
I dati ottenuti dai sistemi di diagnostica sono usati per lo sviluppo di nuovi codici di calcolo che, simulando le prestazioni della macchina, garantiranno che funzioni secondo le previsioni.



Schema del sistema di diagnostica in ITER

Recenti progressi nel campo della fusione magnetica

Il tokamak europeo JET (Joint European Torus), in funzione a Culham (Regno Unito), è il più grande impianto a fusione esistente al mondo e l'unico attualmente capace di lavorare con miscele di deuterio e trizio. Il JET ha raggiunto, o oltrepassato, tutti gli obiettivi prefissati e ha conseguito il record di 16 MW di produzione di potenza da fusione nel 1997.



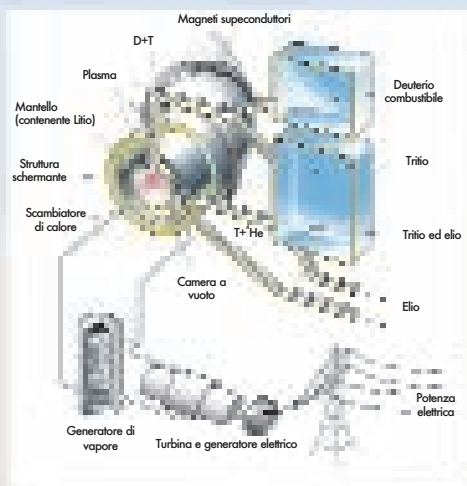
Risultati fondamentali ottenuti nel campo della fusione in termini di potenza di fusione prodotta

In Europa si studiano, inoltre, una variante compatta del tokamak di forma sferica, la strizione a campo rovesciato (Reversed Field Pinch, RFP) e lo stellarator, una configurazione con il campo magnetico di forma elicoidale. Il più grande impianto in costruzione in Europa è lo stellarator W7-X a Greifswald (Germania).



IPP Greifswald building (Wendelstein 7X)

Produzione di potenza da fusione



Schema del futuro reattore a fusione

I nuclei di elio ad alta energia (particella alfa), generati dalle reazioni di fusione D-T, entrano in collisione con altre particelle e riscaldano il plasma. I neutroni liberati nella reazione, escono dal plasma e rallentano nel mantello situato attorno al plasma. Il litio presente nel mantello viene trasformato in trizio e il calore generato dai neutroni può essere usato per produrre il vapore che aziona le turbine per la produzione di elettricità.

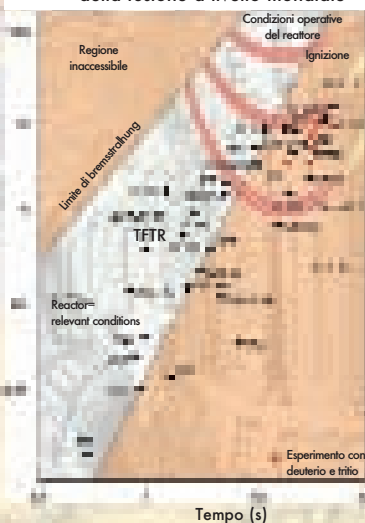
Quando tutte le perdite nel plasma sono controbilanciate dal riscaldamento prodotto dalle particelle alfa e non si ha più bisogno di immettere potenza esterna, il plasma ha raggiunto la condizione in cui la reazione si auto-sostiene e richiede essenzialmente solo l'introduzione continua di combustibile.

Il valore di merito Q (il fattore di amplificazione della potenza) è usato per definire il rendimento in una macchina a fusione.

$$Q = \frac{\text{Potenza generata dalle reazioni di fusione}}{\text{Potenza iniettata nel plasma}}$$

Il JET ha prodotto una potenza di fusione di 16 MW con un valore di $Q = 0,65$. La prossima macchina, ITER, mira a raggiungere $Q = 10$, mentre i futuri reattori a fusione potranno avere $Q = 40 - 50$.

Progresso della ricerca nel campo della fusione a livello mondiale





ITER, la strada verso la fusione

ITER è la prossima pietra miliare nello sviluppo di un reattore a fusione.

Alla base del progetto ITER c'è una prestigiosa collaborazione internazionale. Fisici del plasma e ingegneri di tutto il mondo hanno completato la sua progettazione nel 2001 e preparano adesso la fase di attuazione.

L'obiettivo programmatico globale di ITER è dimostrare la fattibilità scientifica e tecnologica dell'energia di fusione usata per scopi pacifici. ITER raggiungerà questo obiettivo dimostrando il controllo della combustione di plasmi di deuterio-trizio, mirando al raggiungimento del regime stazionario, e il funzionamento, in un unico impianto, delle tecnologie essenziali per il futuro reattore.

ITER produrrà 400 MW di potenza da fusione per un tempo di 6 minuti, che potranno essere estesi, in una fase successiva, fino al regime stazionario.

I costi di investimento di ITER ammontano a circa 4,5 miliardi di Euro (valori del 2000). Dal momento in cui i partners internazionali avranno raggiunto un accordo sul futuro del progetto, la costruzione di ITER richiederà circa 10 anni dopodiché si svolgerà un programma sperimentale per un periodo di circa 20 anni.

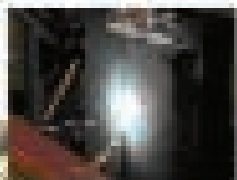
ITER è basato sui traguardi scientifici raggiunti nelle macchine a fusione di tutto il mondo, in special modo nel JET.



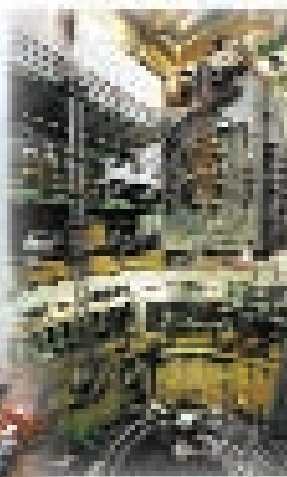
Sorgente di microonde
ad alta frequenza di girotrone



Prototipo in scala 1:1
del divertore di ITER



Saldatura con laser ad alta
potenza (11 kW) di settori
della camera a vuoto



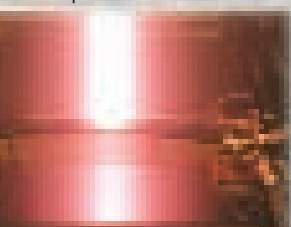
Sperimentazione del modello
di bobina di campo toroidale



Girotrone da 1 MW



Piattaforma di prova per la telem-
nipolazione del divertore di ITER



Test con alti flussi di calore delle
tegole protettrici dello schermo



Test del "bersaglio verticale" del divertore in scala 1:1
all'installazione sperimentale di Framatome



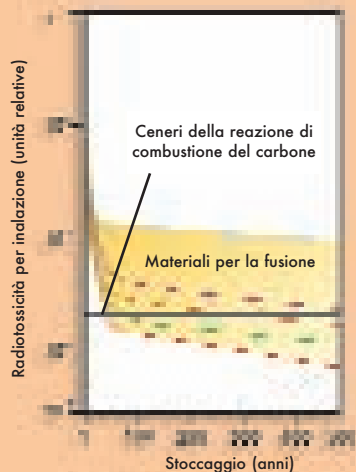
Installazione per la
sperimentazione del mantello

Attività tecnologiche a lungo termine

Oltre al lavoro su ITER, molte attività di ricerca e sviluppo tecnologico sono finalizzate al reattore DEMO. Ad esempio, gli studi europei sul mantello per la produzione del trizio sono concentrati su due filiere, la prima usa il litio-piombo e la seconda sfere di materiale ceramico, entrambe raffreddate ad elio. Questo tipo di ricerca è importante per lo sviluppo del ciclo del trizio in un reattore a fusione.

In Europa, lo sviluppo dei materiali strutturali è focalizzato sugli acciai martensitici e ferritici a bassa attivazione (EUROFER) e, nel lungo termine, sui materiali compositi di carburi di silicio.

Anche gli studi sugli aspetti di sicurezza e ambientali hanno la loro importanza nel programma e sono per lo più dedicati a concetti più avanzati di centrali a fusione e alla minimizzazione dei materiali attivati. Studi di tipo socio-economico analizzano invece gli aspetti economici e gli scenari a lungo termine per la fusione.



Calcolo del decadimento della radiotossicità di materiali usati in diversi modelli di centrali a fusione confrontato con la radiotossicità delle ceneri del carbone.

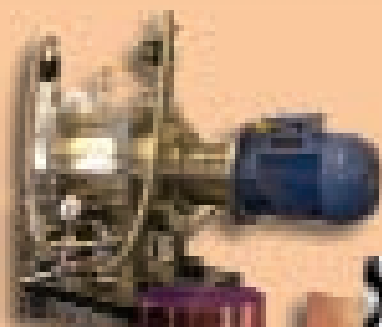
Sistemi secondari per l'elio

He Pb-17Li



Strati di materiale rinforzato che rivestono la prima parete

Concetto di mantello



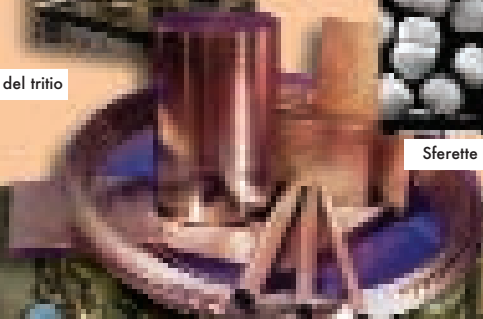
Pompa del tritio



Sferette di berillio



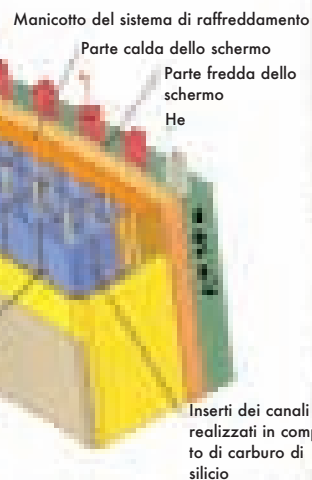
Test di corrosione di metalli liquidi



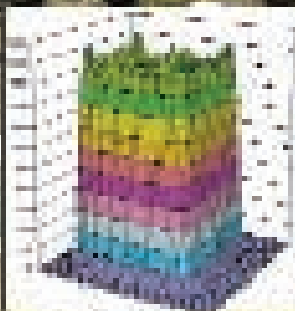
Campioni di materiale EUROFER



Proprietà del materiale EUROFER



Il reattore di ricerca KFKI - Ungheria



Profilo di irraggiamento del fascio di IFMIF



Attività europee per l'istruzione, la formazione e l'informazione

Istruzione e corsi per giovani ricercatori sono una parte importante del programma di lavoro delle Associazioni. Una gran parte del personale ha responsabilità di insegnamento nell'ambiente accademico, principalmente nelle università, e circa 200 - 250 laureati e dottorandi compiono le loro ricerche nei laboratori delle Associazioni. Molte Associazioni organizzano corsi per laureati e scuole estive di fusione e fisica del plasma per studenti laureati e per i ricercatori laureati da poco.

Le principali scuole estive organizzate dalle Associazioni sono:

Scuola Estiva "Carolus Magnus" – Gruppo TEC di Associazioni (B, D, NL),
Scuola Estiva di Culham – Associazione Euratom-UKAEA (UK),
Scuola Estiva Volos – Associazione Euratom-Grecia (GR),
Scuola Estiva IPP CR – Associazione Euratom-Istituto di Fisica del Plasma, (CZ).

Una mostra itinerante, la Fusion Expo, è stata creata e presentata in molte città europee per informare il pubblico e gli studenti sulle attività di ricerca europee nel campo della fusione.



Mostra itinerante Fusion Expo a Santander – Spagna (Dicembre 2003)



Il Fusion Road show è uno spettacolo educativo sulla fusione sviluppato dall'Associazione Euratom-FOM (NL). Questo spettacolo è un esempio di attività di informazione efficaci che sono promosse nella comunità della fusione. Una serie di esperimenti semplici, che spiegano i principi di base della fusione, è eseguita in un'atmosfera di intrattenimento ed è accompagnata da una presentazione di approfondimento.

Il road show sulla fusione

Grazie ad EFDA, il programma europeo per la fusione partecipa ad EIROforum, una collaborazione tra sette organizzazioni scientifiche di ricerca in Europa responsabili per infrastrutture e laboratori.

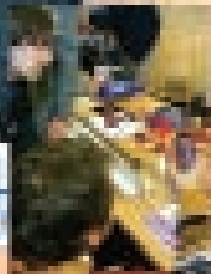
EIROforum ha un ruolo attivo e costruttivo nella promozione della qualità e sull'impatto della ricerca europea attraverso il coordinamento delle attività di informazione delle organizzazioni, che comprendono anche il trasferimento tecnologico e l'istruzione pubblica.

I sette membri di EIROforum sono:

- CERN European Organisation for Nuclear Research,
- EFDA European Fusion Development Agreement,
- EMBL European Molecular Biology Laboratory,
- ESA European Space Agency,
- ESO European Southern Observatory,
- ESRF European Synchrotron Radiation Facility,
- ILL Institut Laue-Langevin.



La fisica sul palco 3 (Programma Eiroforum) - Insegnanti all'opera





Ricadute delle attività di ricerca e sviluppo della fusione in altre aree di alta tecnologia

L'industria è stata di grande aiuto per costruire le macchine e sviluppare le tecnologie necessarie alla fusione, ma ha anche tratto vantaggio da questa collaborazione, trasferendo competenze e sviluppando prodotti commerciali in varie aree al di fuori della fusione.

Esempi di ricadute benefiche includono le tecniche di lavorazione al plasma, i trattamenti delle superfici, l'illuminazione, gli schermi al plasma, la tecnologia del vuoto, l'elettronica di potenza e la metallurgia.



Motore spaziale a ioni

Il trasferimento di conoscenze dalla fusione verso altre aree tecnologiche avviene anche grazie allo spostamento dei ricercatori che portano con sé un prezioso bagaglio di competenze acquisite nel campo della fusione. Questo metodo di fertilizzazione incrociata e interdisciplinare è una delle forze motrici che guidano il progresso scientifico e tecnologico europeo.





Reference

Lecture consigliate:

Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico, Libro Verde, Commissione europea, COM(2000)769
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/it/lpi_lv_it1.html

Siti Web:

http://europa.eu.int/comm/research/energy/fu/fu_en.html
<http://www.efda.org>
<http://www.jet.efda.org>
<http://www.iter.org>
<http://www.fusion-eur.org>
<http://www.euroforum.org>

Contatti per ulteriori informazioni:

C. Ibbott
Commissione Europea
Direttorato Generale RTD J6 Accordi di Associazione per la fusione
75 rue Montoyer B-1049 Brussels - Belgium
tel: +32 229 86721 - fax: +32 229 64252
e-mail: christopher.ibbott@cec.eu.int
http://europa.eu.int/comm/research/energy/fu/fu_en.html

+++++

F. Casci

EFDA CSU Garching
Boltzmannstr.,2 D-85748 Garching bei Muenchen - Germany
tel: +49 89 3299 4237 - fax: +49 89 3299 4197
e-mail: federico.casci@efda.org - <http://www.efda.org>

+++++

M.T. Orlando

Consorzio RFX - Gestione della Fusion Expo
Corso Stati Uniti, 4, I-35127 Padova - Italia
tel: +39 049 829 5990 - fax: +39 049 829 5051
e-mail: mariateresa.orlando@igi.cnr.it - <http://www.igi.pd.cnr.it>

Commissione europea

LA RICERCA SULLA FUSIONE

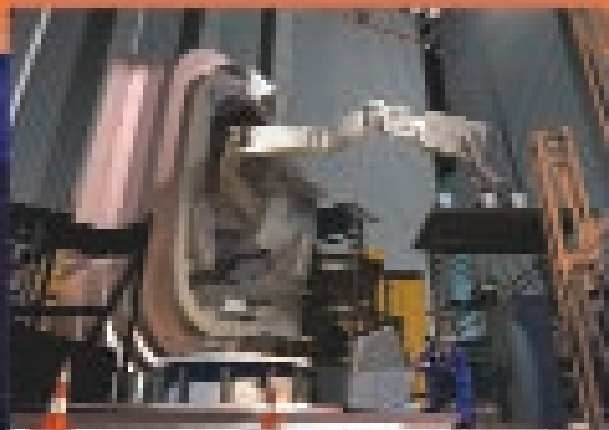
Una scelta energetica per il futuro dell'Europa

Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee

2004 – 40 pagg. – 14,8 x 21 cm

ISBN 92-894-7716-4

"La fabbrica delle stelle "



"La fabbrica delle stelle" (in inglese "The starmakers") è il titolo di un film sulla fusione della durata di 8 minuti. In particolare, tale film descrive ITER, la macchina sperimentale che sarà costruita grazie ad una collaborazione su scala mondiale e che rappresenta la prossima fondamentale tappa sulla strada che ci condurrà alla fusione. Grazie al film, gli spettatori sono condotti all'interno della macchina in una sorta di "visita virtuale" ed hanno l'opportunità di rendersi conto delle effettive dimensioni di questo importante progetto. Durante la mostra itinerante Fusion Expo questo film può essere visto in tre dimensioni grazie a speciali occhiali dotati di lenti a polarizzazione passiva, offrendo al pubblico uno spettacolare viaggio in realtà virtuale. La versione distribuita qui è in due dimensioni e non richiede pertanto l'uso degli occhiali.

Il film è stato prodotto dal Centro Ricerche di Fisica del Plasma, Politecnico federale di Losanna (CH), con il supporto finanziario del Direttorato Generale per la Ricerca della Commissione europea. Le immagini digitali mostrate nel film sono state ideate dalla Digital Studios SA (Parigi - F) sulla base del disegno progettuale della macchina ITER.

