

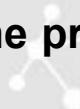


Italian National Agency for New Technologies,
Energy and Sustainable Economic Development

Indagine conoscitiva in materia di energia prodotta mediante fusione nucleare

Presidente Ing. Gilberto Dialuce

Audizione presso la 8^a Commissione permanente del Senato
Roma, 6 marzo 2024



Cos'è la fusione nucleare

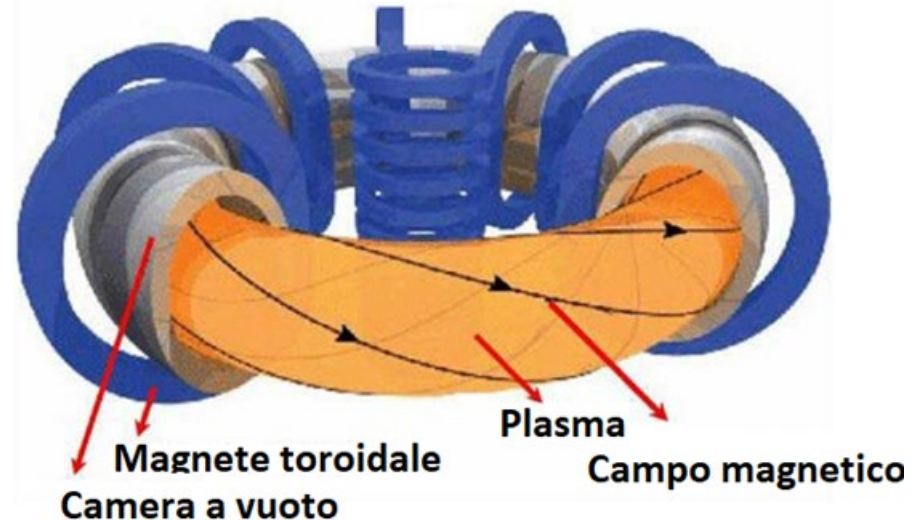
- La fusione nucleare è il processo (opposto a quello di fissione) attraverso il quale si producono nuclei di elementi più pesanti a partire dalla fusione di nuclei di elementi più leggeri.
- È la principale fonte energetica dell'Universo, alimenta Sole e stelle, al cui interno avvengono regolarmente reazioni di diverso tipo (ciclo del protone, predominante sul Sole, le varie combinazioni degli isotopi dell'idrogeno, deuterio e trizio, fino alle cosiddette fusioni aneutroniche (che non producono neutroni ma particelle cariche), che utilizzano anche Elio, Litio e Boro).
- Replicarla sulla terra è molto complicato: per fondersi i nuclei devono superare la forza di repulsione fra due cariche elettriche di segno uguale, senza l'aiuto della forza di gravità, fortissima sul sole vista l'enorme massa della stella.

Due approcci differenti: **confinamento magnetico** e **inerziale**

Fusione a confinamento magnetico

La strada più seguita nel panorama internazionale è basata sul **confinamento magnetico**: occorre riscaldare con opportuni sistemi i reagenti a **temperature di circa 150 milioni di gradi** - circa 10 volte superiori a quelle che si incontrano al centro del Sole - ma con densità di molti ordini di grandezza più basse.

A temperature così elevate la miscela di reagenti si trova nella forma di gas ionizzato (plasma) ed è confinata mediante intensi campi magnetici in opportune configurazioni che rendono possibile il processo di fusione.

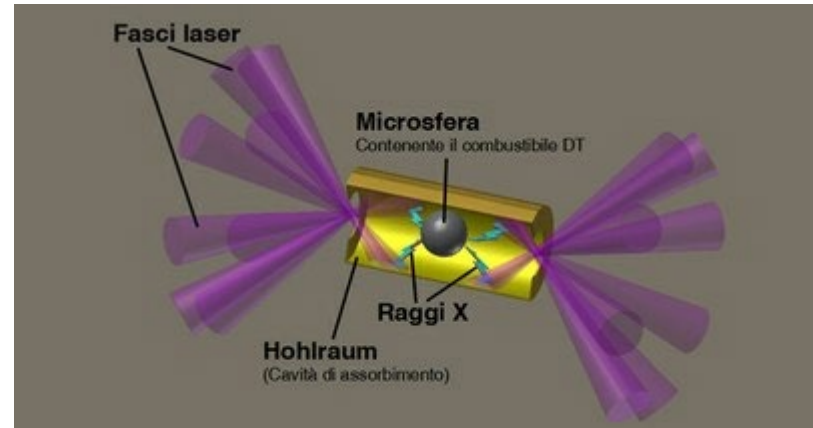


Fusione a confinamento inerziale

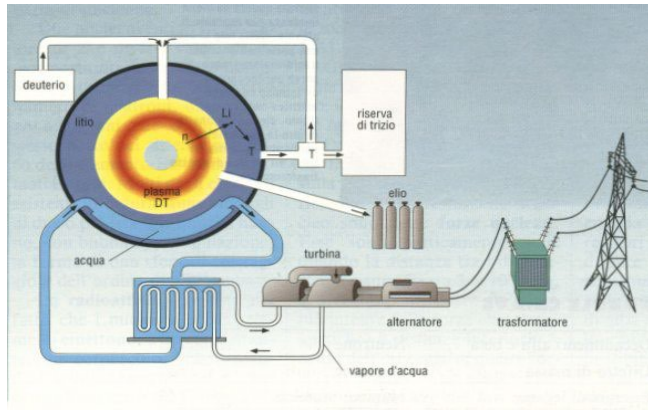
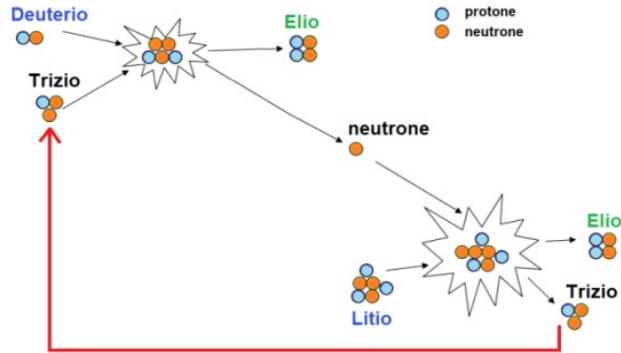
Un'altra opzione è basata sul **confinamento inerziale** che consiste nell'ottenere in laboratorio una serie di micro-esplosioni, bombardando sferette contenenti una miscela di deuterio-trizio con fasci di luce laser di alta energia. L'energia dei fasci laser è trasferita uniformemente alla superficie della sferetta che evapora, il combustibile viene compresso e riscaldato.

Si realizza così la condizione di altissima densità del plasma anche se per tempi di confinamento molto brevi.

Al momento l'energia necessaria per indurre la fusione è estremamente più grande di quella prodotta.



Schema di impianto



- **Combustibile** (deuterio, isotopi dell'idrogeno, e litio) **illimitato** e **disponibile** in tutte le aree geografiche.
- **Trascurabile produzione di rifiuti radioattivi a lunga vita** (rifiuti prodotti analoghi a quelli generati, anche in Italia, da attività non correlate alla produzione di energia elettrica, quali rifiuti da diagnostica e terapia medica).
- **Intrinsecamente sicura** (non sono possibili reazioni a catena e un eventuale incidente avrebbe impatto trascurabile sull'ambiente e sulla popolazione).
- **Assenza** di emissioni di gas serra.

Bilancio energetico attuale

- Negli esperimenti attuali sono già stati raggiunti valori di densità e temperatura del plasma richiesti in un reattore a fusione.
- Nella fusione a confinamento magnetico si è vicini al pareggio tra potenza iniettata nella camera di reazione e quella prodotta dalle reazioni di fusione; nella fusione a confinamento inerziale il pareggio è già stato superato.
- In entrambi i casi tuttavia il bilancio complessivo è negativo perché per iniettare 1 unità di energia vengono consumate rispettivamente circa 3 e oltre 50 unità:
- Confinamento magnetico: $P_{\text{fus}}/P_{\text{in}} = 0.66$ → **Rendimento = 0.22**
- Confinamento inerziale: $P_{\text{fus}}/P_{\text{in}} = 2.20$ → **Rendimento < 0.04**

Obiettivo Rendimento > 2



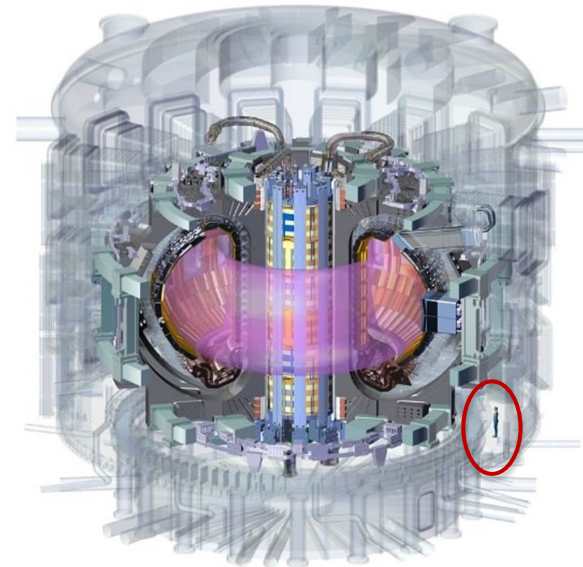
Il prossimo passo: il reattore ITER

In costruzione a Cadarache (Francia) nell'ambito di una collaborazione tra **Europa, Giappone, Russia, Stati Uniti, Cina, Corea del Sud, India**: oltre 20 miliardi di euro di investimento

Obiettivi:

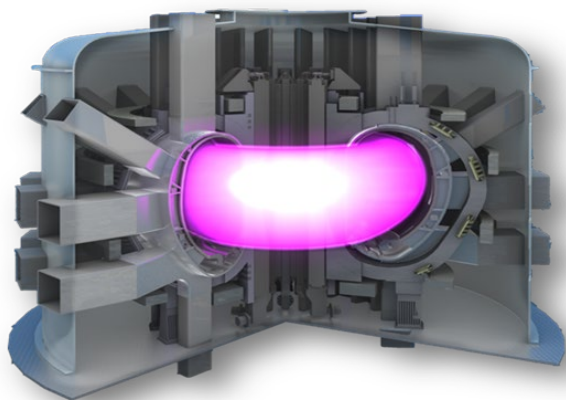
- **dimostrare la fattibilità scientifica e tecnologica della fusione**
- **500MW** di potenza di fusione a fronte di **50MW** di potenza iniettata nella camera di reazione per impulsi della durata di alcune centinaia di secondi fino a circa un'ora

$$P_{\text{fus}}/P_{\text{in}} = 10$$



L'esperimento DTT

L'impianto di ricerca **DTT**, in via di realizzazione presso il C.R. ENEA Frascati nell'ambito di un consorzio tra ENEA (70%), ENI (25%) e vari istituti e Università italiani (investimento complessivo di circa 700 M€), si inserisce nella roadmap europea finalizzata alla realizzazione di un reattore a fusione dimostrativo (DEMO).



DTT studierà soluzioni alternative per lo smaltimento del calore di fusione, poiché la tecnologia adottata in ITER potrebbe non essere adeguata per DEMO, dove si prevedono carichi termici di alcune decine di MW/m^2 (come sulla superficie del Sole)

DTT mette a frutto tutte le competenze maturate in Italia e consentirà al sistema Paese di trovarsi in una posizione privilegiata sulla tecnologia della fusione nel panorama europeo e internazionale.

Grazie all'alto livello tecnologico DTT rappresenta anche una importante possibilità per l'industria di continuare a sviluppare il know-how specifico sugli impianti a fusione

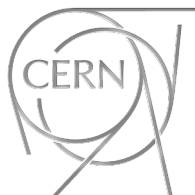
Posizionamento internazionale dell'ENEA



In qualità di **Program Manager nazionale** nel Consorzio che gestisce i fondi comunitari per il programma fusione, coordina le attività degli oltre 20 soggetti impegnati in ambito fusione in Italia.



Come **Industrial Liason Officer** nell'organizzazione comunitaria che gestisce il contributo dell'Europa a ITER, supporta l'industria nazionale nella partecipazione alle gare internazionali per la realizzazione del progetto (circa 2 miliardi di euro aggiudicati).



IAEA
International Atomic Energy Agency



Conclusioni

- la fusione nucleare è una tecnologia con basse emissioni di gas serra e sarà utilizzabile per una produzione in sicurezza di energia sostenibile e neutrale dal punto di vista climatico.
- le principali problematiche sono legate ai materiali, alla autoproduzione del trizio e allo smaltimento della potenza e del plasma esausto.
- livello di maturità tecnologica da 3 (fusione a confinamento inerziale) a 4-5 (fusione a confinamento magnetico), su una scala di 9.
- Previsione dei primi reattori di potenza nella seconda metà del secolo, ma è necessario mantenere e incrementare investimenti pubblici e privati per poter accorciare i tempi e per potenziare le competenze tecnico-scientifiche e industriali.
- l'Italia dispone di eccellenze nella ricerca e sviluppo sulla fusione e nel settore industriale
- i reattori sperimentali di ricerca sulla fusione hanno procedure autorizzative specifiche che andrebbero mantenute quando saranno disponibili reattori di potenza per la rete.