

Il Tokamak

Il Tokamak che sta per “camera toroidale magnetica” in russo ed è una macchina per la fusione termonucleare controllata di forma toroidale, simile ad una ciambella.

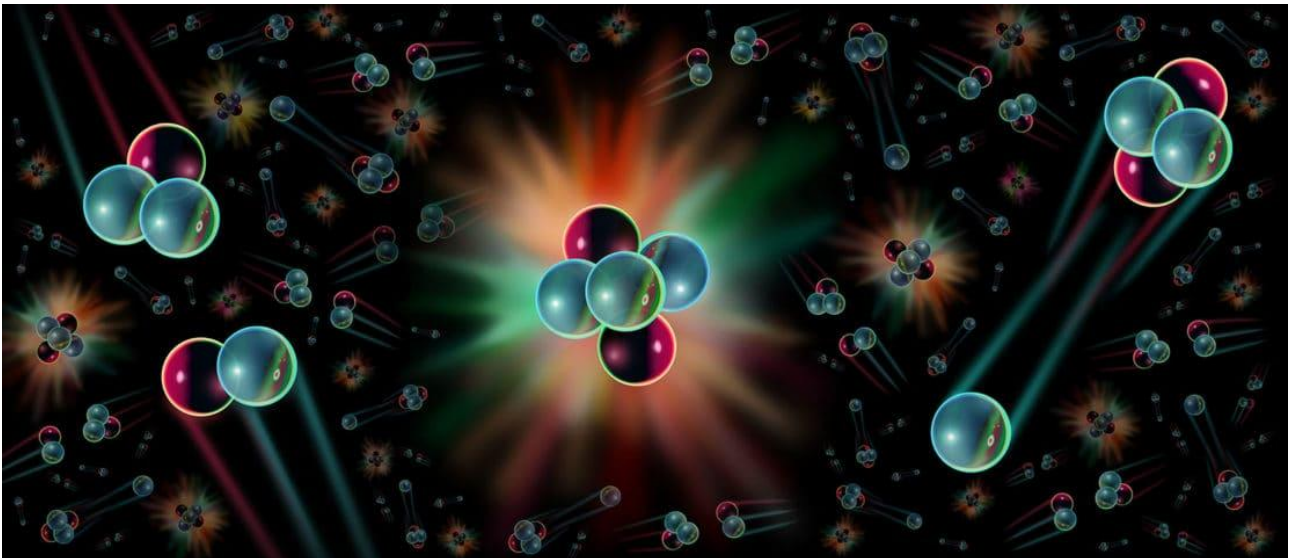
Al suo interno c'è il plasma, un gas caldissimo e rarefatto, di ioni ed elettroni, che viene mantenuto lontano dalle pareti interne grazie ad un campo magnetico. Infatti, in un campo magnetico le particelle dotate di carica elettrica non possono muoversi liberamente ma sono costrette a seguire la direzione del campo stesso.

Nel Tokamak il campo magnetico si richiude su sé stesso percorrendo la ciambella, senza mai intercettare il contenitore fisico.

Nel sud della Francia, a Cadarache, è in costruzione ITER, il primo reattore sperimentale che avrà lo scopo di dimostrare la fattibilità dell'energia da fusione producendone in quantità significative. Si prevede che il primo plasma venga acceso nel 2025.

Il principio di funzionamento di una centrale a fusione è analogo a quello di una centrale convenzionale: una sorgente di calore riscalda del vapore che va ad azionare delle turbine. Queste ultime attivano gli alternatori che producono energia elettrica. La differenza sostanziale in una centrale che usa carbone o gas è nel reattore.

LA REAZIONE

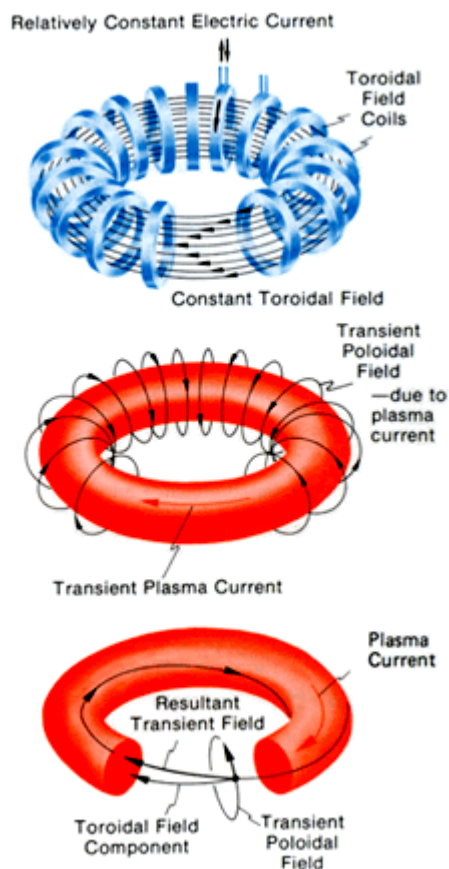


Il reattore a fusione sfrutta un processo analogo a quello che tiene accese le stelle ed il Sole.

Due nuclei leggeri come Deuterio e Trizio, entrambi isotopi dell'Idrogeno l'elemento più abbondante nell'universo, scontrandosi tra di loro si fondono trasformandosi in un altro elemento assolutamente innocuo: l'Elio. Nel processo viene prodotta anche una grande quantità di energia.

Nei reattori si userà come carburante Deuterio Trizio, che sono più “facili” da far fondere dell'Idrogeno. Deuterio e Trizio fondono, ovvero reagiscono, a energie più basse rispetto ad altri elementi leggeri come l'Idrogeno o l'Elio. È per questo che sono stati scelti come combustibile per il primo reattore a fusione.

Come è funziona un esperimento in configurazione Tokamak?



Per confinare il plasma in una macchina in configurazione tokamak i campi magnetici devono essere di tre tipi:

- campi toroidale, che viene prodotto dalle bobine toroidali. Queste bobine hanno lo scopo di formare un campo magnetico lungo l'asse di simmetria della macchina, obbligando, in questo modo, le particelle cariche del plasma a fluire lungo quella direzione.
- campi verticali sono prodotti da delle bobine esterne che permettono di controllare la posizione del plasma
- campo poloidale che è generato dalla corrente elettrica che fluisce nel plasma stesso e mantiene in equilibrio il plasma

VANTAGGI DELLA FUSIONE

L'abbondanza Del Combustibile Della Fusione

Immagine tratta da Wikimedia

Il Deuterio è un isotopo dell'Idrogeno che si trova comunemente nell'acqua del mare. Un grammo di Deuterio si presenta disciolto in circa 30 litri d'acqua.

È quindi un materiale molto comune e facile da reperire. Il Trizio, elemento debolmente radiativo, che decade in circa 12 anni, non esiste in natura ma si può ricavare, direttamente all'interno del reattore, attraverso il Litio. Anche il Litio è abbondante sulla Terra nelle rocce.

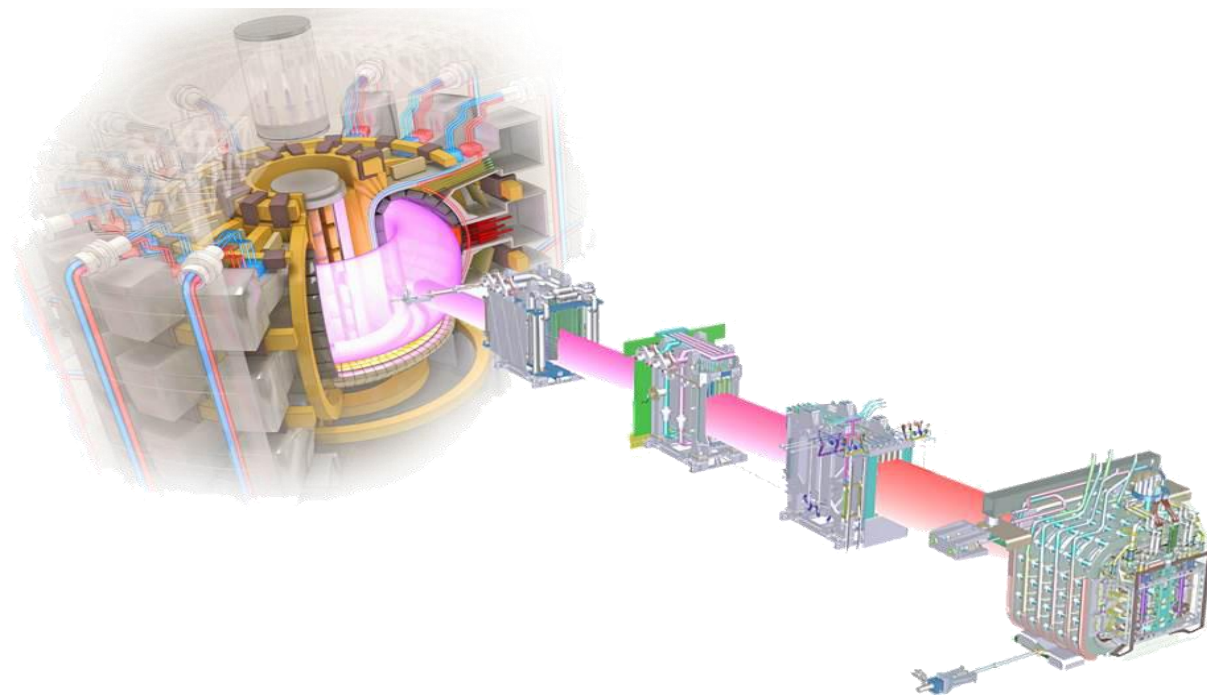
Si pensi che 1 g di Deuterio, quando sottoposto alla reazione di fusione, produce una quantità di energia che è pari a quella che si otterrebbe bruciando 30 tonnellate di carbone.

Dal punto di vista della disponibilità del combustibile sulla Terra, l'energia da fusione è praticamente illimitata.

Gli Scarti Della Fusione

Il prodotto della reazione di fusione è l'Elio, un gas leggero ed inerte. Un reattore a fusione quindi, rispetto alle centrali convenzionali, non produce CO₂ né produce fumi tossici.

LE CONDIZIONI NECESSARIE



Il Riscaldamento

La temperatura che serve perché avvenga la reazione di fusione sulla Terra è di cento milioni di gradi. Affinché Deuterio e Trizio si scontrino bisogna fornire molta energia alle particelle. Un metodo efficiente per imprimere questa energia è mediante riscaldamento. Facendo fluire una corrente elettrica si riesce a scaldare il plasma fino a circa dieci milioni di gradi centigradi.

Una volta che il plasma si è formato, grazie al riscaldamento prodotto dalla corrente elettrica, si può scaldare ulteriormente con microonde o con l'iniezione di particelle neutre energetiche, mediante un apposito acceleratore.

Per mantenere il calore del plasma è necessario applicare sempre un flusso di energia. Arrivati alla temperatura in cui le reazioni di fusione avvengono, le reazioni stesse producono la gran parte dell'energia necessaria a mantenere il plasma alla temperatura voluta. A reattore avviato, quindi, si dovrà erogare solo il 10-30% dell'energia che serve per mantenere la temperatura del plasma.

Il Tempo di Confinamento

Occorre anche che il plasma conservi l'energia che gli viene fornita con i metodi sopra descritti. Per capire quanto buono è l'isolamento, nella fisica dei plasmi, si usa il parametro *tempo di confinamento dell'energia*.

Se il nostro reattore avrà un tempo di confinamento molto elevato servirà poca potenza per riscaldarlo, se il tempo di confinamento è un valore basso ci vorrà molta energia per mantenere la temperatura.

Il Campo Magnetico

Nel reattore la bontà dell'isolamento dipende dal campo magnetico. Il plasma è un gas composto di particelle cariche, il campo magnetico permette quindi di isolarlo dall'ambiente esterno contenendolo. Poiché l'energia contenuta nel plasma è essenzialmente legata all'energia di movimento delle sue componenti, se il campo magnetico è abbastanza forte, permette anche di trattenere l'energia, ossia il calore, all'interno del plasma. Per fare ciò servono **campi magnetici molto intensi**, ma c'è un limite all'intensità che si può applicare. Tecnicamente si possono produrre campi fino a circa **12 Tesla, circa 200 mila volte il campo magnetico terrestre.** .

Dato un certo campo magnetico per aumentare il tempo di confinamento si può aumentare il volume del plasma.

Il plasma deve anche essere tenuto in equilibrio in una determinata posizione. Questo avviene grazie a dei campi magnetici ausiliari che permettono di evitare che il plasma entri in contatto con le pareti del reattore. Cosa che comporterebbe un improvviso abbassamento di temperatura del plasma e la sua dissoluzione.

Dimensioni del reattore

Si stima che nel futuro reattore a fusione servirà un **volume toroidale di plasma con diametro di circa 2 metri di raggio minore.** Il reattore sarà in una conformazione magnetica detta tokamak, cioè con una forma simile a quella di una ciambella. Servirà quindi una macchina molto grande corredata di tutti i sistemi per produrre il campo magnetico. Il reattore avrà circa 20 metri di diametro e 10 metri di altezza, anche se alcuni suggeriscono che un sistema di più reattori di taglia inferiore potrebbero avere vantaggi, uno dei quali è rappresentato dalla possibilità di alternare i periodi di manutenzione ordinaria.

Il reattore avrà una capienza di circa 1000 m^3 . Per far funzionare il reattore sarà necessario circa mezzo grammo di materia. In un palloncino gonfiato abbiamo circa 10 volte la materia che si troverà nel reattore. Nel reattore c'è una quantità di materia infinitesima.

I limiti operativi di un plasma in configurazione Tokamak

Lo spazio dei parametri all'interno dei quali un Tokamak può operare è confinato all'interno di una serie di limiti di cui occorre tener conto nel progettare un reattore a fusione e che ultimamente rappresentano un limite superiore all'efficienza del sistema.

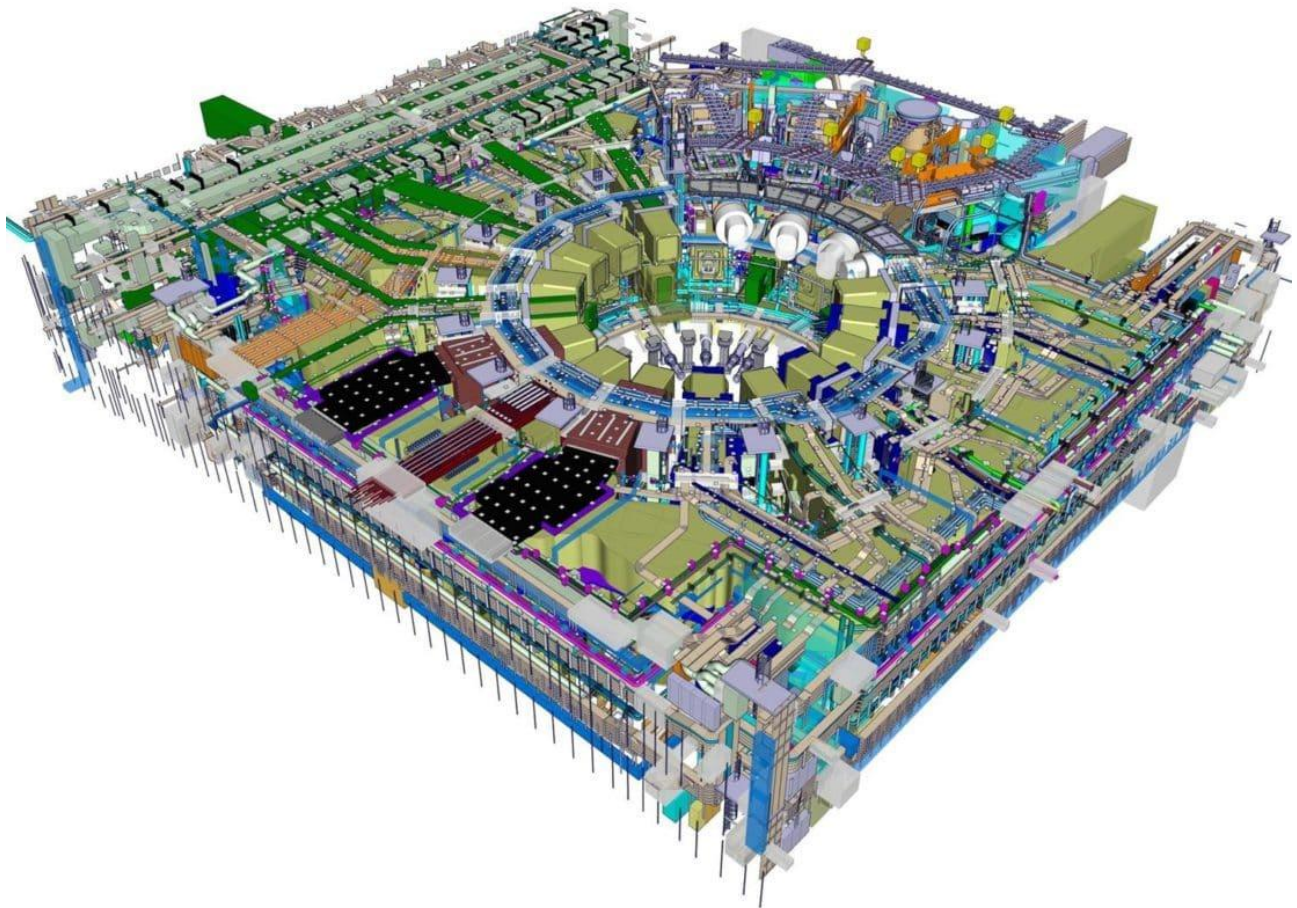
Tra i più significativi:

- **Il limite di densità.** Per un dato valore della corrente di plasma, la densità di particelle non può eccedere un certo limite, che aumenta all'aumentare della corrente. Superato il limite di densità il plasma tende a sviluppare instabilità che ne provocano lo spegnimento.
- **Limite di corrente.** Per un dato valore del campo magnetico toroidale, la corrente di plasma che può essere indotta, ha un limite superiore che non può essere superato e che aumenta con l'aumentare del campo magnetico. Superato tale limite il plasma sviluppa instabilità molto veloci che ne provocano lo spegnimento.

- È interessante osservare che questo limite non esiste nella configurazione Reversed Field Pinch.
- **Limite di pressione.** È il valore della massima pressione del plasma per un dato valore del campo magnetico. Superato il limite, la colonna di plasma tende a deformarsi macroscopicamente e a spegnere repentinamente il plasma.

Oltre questi limiti il plasma cessa di esistere.

COSA CI ASPETTIAMO DAL FUTURO REATTORE SPERIMENTALE A FUSIONE



Avrà un campo magnetico di 5 – 6 Tesla e funzionerà con 0.3 grammi di Deuterio e Trizio. Si calcola che produrrà circa 2 GW di potenza termica e 500 MW di potenza elettrica.

I Tokamak in Europa

Il coordinamento delle ricerche sulla fusione in Europa è esercitato da euro fusion per conto della Comunità Europea che fornisce il finanziamento economico.

Il programma europeo sulla **fusione termonucleare controllata** è fortemente orientato alla costruzione e allo sfruttamento dell'esperimento ITER e al progetto di DEMO, **il prototipo del reattore a fusione che servirà a dimostrare la fattibilità della fusione come fonte di energia.** Un intenso programma di sperimentazione e preparazione a ITER rappresenta lo sforzo che euro fusion profonde attraverso il coordinamento degli esperimenti attuali, che contemplano diverse macchine: ASDEX Upgrade in Germania, TCV in Svizzera, JET e MAST in Inghilterra, WEST in Francia. DTT di Frascati rappresenterà il più avanzato Tokamak in Europa dopo ITER una volta ultimato.

Euro fusion coordina anche le attività di **JT-60SA in Giappone**, che è stato costruito congiuntamente da Giappone ed Europa.

Lo sforzo investigativo europeo investe praticamente tutti gli aspetti di fisica ed ingegneria di un reattore a fusione.

Il **Consorzio RFX** ha contribuito e continua a **contribuire** intensamente al programma euro fusion sia in campo **ingegneristico che fisico** con la partecipazione alle attività di diverse macchine, proponendo e **assumendo la responsabilità del coordinamento** di diversi esperimenti, nonché del **coordinamento di alcuni grandi task**.

