

## Tech news

(parte 2)

### “L'EVOLUZIONE DELL'ENERGIA NUCLEARE”

Processo da fusione

Autore: Giovanni Zurlo  
Consigliere CDT  
Membro del Team Tecnico-Scientifico  
Ingegnere Nucleare  
Consulente e docente aziendale

Nelle reazioni di fusione nucleare due nuclei di atomi leggeri si fondono generando un nucleo di elementi più pesanti, ma di massa minore della loro somma e liberando quindi l'energia determinata dalla celebre equazio-

ne di Einstein  $E=mc^2$  dove  $c$  è la velocità della luce. Questo processo è quello che genera l'energia irradiata dalle stelle come il Sole, ma per attivarsi richiede delle condizioni specifiche per fare avvicinare due nuclei fino a fare prevalere la forza nucleare di attrazione a corto raggio su quella di repulsione elettrostatica fra i protoni dei nuclei (ad esempio deuterio e trizio, isotopi dell'idrogeno normalmente indicati con i simboli D e T): è necessaria una temperatura di più di 100 milioni di gradi mantenuta per un tempo sufficiente ad attivare la fusione.

L'energia liberata è enormemente superiore a quella generata dalle usuali reazioni chimiche di combustione ed è anche nettamente superiore, **a parità di materiale coinvolto**, a quella di fissione: basti pensare che nella reazione di un solo grammo di Deuterio-Trizio si libera la stessa energia ottenuta bruciando 11 tonnellate di carbone, ma senza immettere nell'atmosfera una sola molecola di  $CO_2$ .

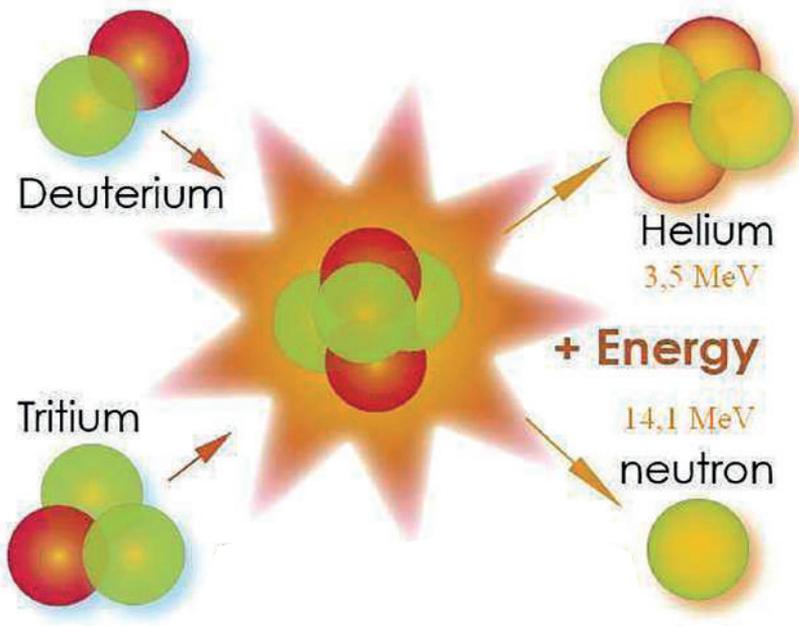


Fig.1 Schema della reazione di fusione nucleare Deuterio-Trizio

La reazione Deuterio-Trizio ha la maggiore probabilità di essere utilizzata per le future centrali a fusione in quanto ha una energia di attivazione più bassa di altre reazioni.

Per chi volesse approfondire gli aspetti più tecnici della fusione nucleare questo sito dell'ENEA è accurato ed esaustivo

<http://www.fusione.enea.it/WHAT/index.html>

Produrre energia elettrica da fusione nucleare si è rivelata impresa notevolmente più difficile di quanto si pensasse negli anni 60-70 del secolo scorso.

Prima di vederne i motivi è bene rilevare che riuscirci potrebbe risolvere la maggior parte dei problemi energetici dell'umanità:

- si avrebbe a disposizione una fonte di energia praticamente inesauribile, senza emissioni di inquinanti nocivi o di gas serra
- le scorie radioattive sarebbero estremamente limitate in quantità perché il prodotto principale della fusione è  ${}^4\text{He}$  che è un gas inerte e non radioattivo
- la separazione fra applicazioni civili e militari è molto netta, diversamente dalla fissione in cui la coesistenza della generazio-

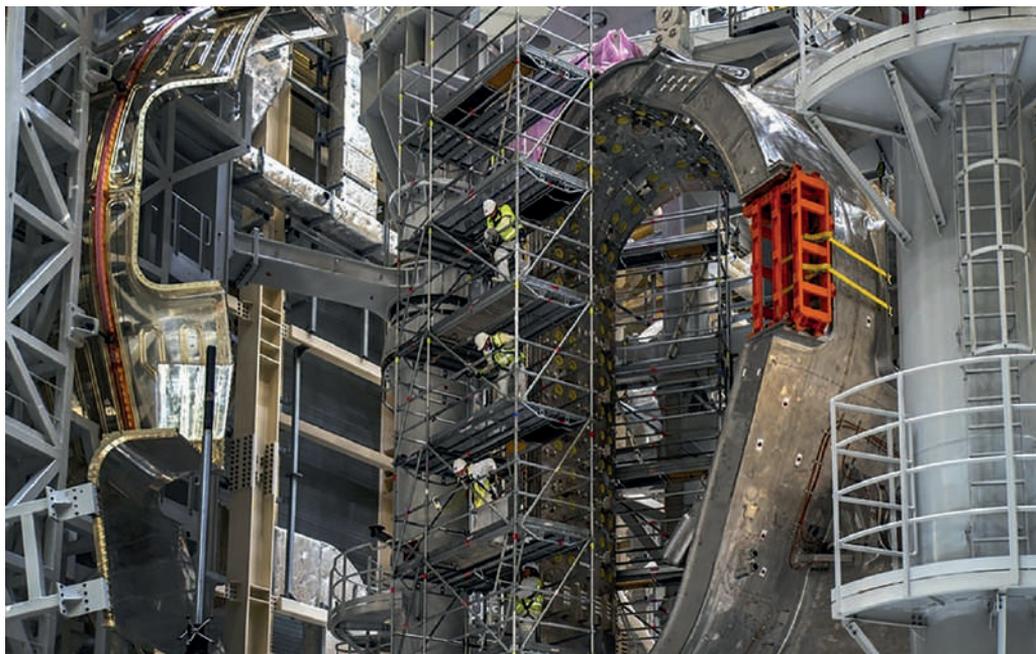
ne di energia elettrica e di uranio arricchito o plutonio per usi militari è presente in svariate centrali

La fusione sarebbe quindi ben più conveniente ed ecologica della fissione, ma per il momento i tentativi di ottenere sperimentalmente le condizioni estreme sopra delineate per i parametri tempo e temperatura sono ancora allo stato embrionale.

Le difficoltà sono di ordine tecnico e tecnologico – il meccanismo della fusione nucleare è ben noto dal punto di vista teorico – e sono collegate con le temperature di lavoro, dell'ordine dei milioni di gradi, dunque enormemente maggiori dei  $2.000\text{ }^\circ\text{C}$  scarsi delle barre di ossido di uranio nelle centrali a fissione, e con la conseguente difficoltà di gestione del combustibile nucleare, tipicamente una miscela di deuterio e trizio, che a quelle temperature esiste solo allo stato di plasma (gas completamente ionizzato) e che non può essere contenuto in nessun materiale esistente. Deve quindi essere confinato in uno spazio ristretto attraverso un processo di "sospensione" mediante campi magnetici di



Fig. 2 Il sito di ITER in costruzione a Cadarache, vicino Marsiglia



*Fig.3 Interno di ITER: l'anello toroidale di confinamento del plasma Deuterio-Trizio*

forma toroidale o tramite impulsi laser su piccole capsule contenenti una miscela di deuterio e trizio.

Queste difficoltà, prolungatesi nel tempo ben di più di quanto fosse auspicabile, hanno favorito l'idea che la generazione commerciale di energia elettrica da fusione nucleare sia ancora lontana, idea alimentata dal fatto che già negli anni '80 si diceva ottimisticamente che "mancavano poco più di venti anni", affermazione molto spesso ripetuta nel corso del tempo e sintetizzabile quindi nella pessimistica frase che "l'orizzonte temporale della fusione nucleare si sposta con la stessa velocità del trascorrere del tempo".

Da alcuni anni c'è stata invece un'accelerazione significativa dei progetti tesi a realizzare centrali-prototipo entro tempi contenuti, sia sul versante pubblico con consorzi internazionali sia attraverso iniziative finanziate da investitori privati, dimostrando queste ultime un'attesa di ritorno degli investimenti entro tempi non aleatori.

Attualmente il progetto più promettente

appare essere ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) il cui reattore è attualmente in costruzione a Cadarache, nel Sud della Francia. Il progetto è sostenuto da un consorzio internazionale del quale fanno parte l'Europa, con Euratom, che partecipa per il 45% e, con quote di poco più del 9% ciascuno, USA, Russia, Cina, Giappone, India e Corea del Sud.

*Vedi Fig. 2*

Obiettivo di ITER, che dovrebbe essere completato nel 2025 e operativo dal 2030, è lo sviluppo di una tecnologia che dimostri l'effettiva possibilità di ottenere la fusione nucleare controllata con un processo in grado di produrre continuamente per un tempo apprezzabile più energia di quanta ne occorra per innescare e sostenere il processo stesso, ossia ottenere un fattore di guadagno  $Q$ , rapporto fra le due quantità di energia, maggiore di 1.

Non si tratta quindi di un prototipo di reattore a fusione, cioè di un impianto destinato alla

produzione di energia elettrica.

Questo secondo e più ambizioso progetto sarà affidato al progetto DEMO, sostenuto dallo stesso consorzio internazionale che finanzia ITER e che potrebbe essere operativo intorno al 2035.

Dal punto di vista tecnologico ITER sfrutta il confinamento magnetico di una miscela deuterio-trizio in un anello toroidale, come il suo predecessore JET (Joint European Torus) costruito negli anni '80 a Culham in Inghilterra e attualmente gestito dal Consorzio EuroFusion che comprende, oltre alla UE, Gran Bretagna, Svizzera e Ucraina.

*Vedi Fig. 3*

Nel febbraio scorso il JET ha ottenuto il miglior risultato finora realizzato di generazione di energia da fusione con 59 MJ ottenuti in circa 5 secondi, quindi con una potenza media di oltre 11 MW, ma con un fattore di guadagno Q pari solo a 0,33.

*NOTA Da alcuni mesi si è creata della preoccupazione per l'impatto che un'eventuale decisione dell'Europa di interrompere le collaborazioni con la Russia sull'energia nucleare – ventilata qualche mese dal parlamento europeo – potrebbe avere sull'ITER: un eventuale scioglimento del Consorzio avrebbe conseguenze imprevedibili sui tempi di realizzazione.*

Per quanto riguarda infine il versante privato dell'energia da fusione nucleare, proprio come stanno per diventare realtà i viaggi nello spazio, molti osservatori prevedono che lo stesso modello di business porterà ad una accelerazione dell'avvento commerciale della fusione nucleare in quanto necessario per la completa decarbonizzazione dell'economia energetica.

Oggi sono più di 30 le aziende private dedicate alla fusione in tutto il mondo secondo un rapporto dell'ottobre 2021 elaborato dall'associazione di settore Fusion Industry Association (FIA) di Washington: fra queste, 18 hanno reso noti i finanziamenti

ricevuti da privati che ammontano a oltre 2,4 miliardi di dollari.

Inoltre una società canadese, la General Fusion, ha annunciato di avere intrapreso la costruzione a Culham, fulcro della ricerca sulla fusione nucleare in UK, di un "piccolo reattore dimostrativo" con l'obiettivo, forse troppo ottimistico, di commercializzare reattori di piccola taglia non molto dopo il 2030.

Nel rapporto della FIA la maggioranza degli associati ha asserito che la fusione nucleare inizierà ad alimentare la rete elettrica "in qualche parte del mondo" fra il 2035 e il 2040, ma il direttore dei programmi di EuroFusion Tony Donnè commenta che questi tempi sono presentati dalle società private "solo per attirare gli investimenti". Una ricaduta sicuramente positiva dell'ingresso di aziende private nel business in questione è la diversificazione delle tecnologie, che vanno dal **tokamak** in scala ridotta allo **stellarator** ad "anello attorcigliato a forma di 8" congelato perché richiedeva troppa potenza di calcolo per risolvere numericamente le equazioni di confinamento del plasma, ma rispolverato di recente con l'avvento dei supercomputer. Alcune aziende stanno studiando dei "**supermagneti**" che ottimizzano il confinamento del plasma, altre come la First Light Fusion, spin-off nel 2011 dell'Università di Oxford, puntano sul confinamento inerziale del plasma tramite laser e altre ancora su soluzioni diverse, ma tutte tecnologicamente avanzate.

Un elemento comune è la taglia ridotta di questi reattori e i relativi costi contenuti: si parla di potenze intorno ai 100 Mwe, molte volte inferiori a quelle dei progetti internazionali prima descritti e di costi compresi fra 0,5 e 1 miliardo di dollari.

In conclusione si può ben essere d'accordo con Donnè quando auspica legami stretti fra pubblico e privato perché può portare a benefici per entrambe le parti.