

L'energia delle stelle per un futuro sostenibile

di Alessandro Dodaro Direttore Dipartimento NUCleare ENEA

Nel lungo termine una soluzione molto innovativa per decarbonizzare la produzione di energia elettrica e ottenere grandi quantitativi di energia sostenibile e a costi contenuti, è la fusione nucleare, la cosiddetta 'energia delle stelle' perché basata sugli stessi meccanismi che 'accendono' gli astri. Si tratta di una tecnologia al centro di alcuni grandi progetti internazionali come ITER, e nazionali come il DTT, ma affinché questa soluzione possa divenire realtà occorre risolvere criticità quali la gestione del plasma, l'efficienza di produzione ed estrazione dell'energia prodotta, la autoproduzione del combustibile e lo smaltimento della potenza in eccesso: una volta superate queste problematiche i reattori a fusione potranno contribuire in modo decisivo a soddisfare la crescente domanda di energia a livello mondiale. Infatti, l'"energia delle stelle" viene prodotta a partire dagli isotopi dell'idrogeno, un elemento molto diffuso in tutto il mondo, nelle quantità necessarie al funzionamento di una centrale a fusione, attraverso un processo che non produce rifiuti radioattivi a lunga vita media (tempo necessario perché i rifiuti diventi innocuo). Ma come funziona la fusione nucleare? E perché non va confusa con la fissione nucleare?

Che cosa è la fusione nucleare?

La fusione è una reazione nucleare in cui due nuclei di un elemento leggero come l'idrogeno, e in particolare i suoi isotopi deuterio e trizio, si fondono e formano il nucleo di un elemento più pesante, come l'elio, rilasciando una grande quantità di energia. La **fusione è il processo opposto alla fissione**, utilizzata nelle centrali nucleari attuali, dove un nucleo pesante, come l'uranio, si divide in due nuclei più leggeri, anche in questo caso rilasciando una grande quantità di energia.

Nel processo di fusione non vengono prodotti rifiuti radioattivi che restano pericolosi per millenni, inoltre, a differenza dei tradizionali reattori a fissione, per le centrali a fusione è di fatto esclusa la possibilità di incidenti che coinvolgano la popolazione. Infatti, il prodotto della reazione di fusione è elio, ovvero un gas inerte. Gli unici materiali radioattivi (la parte di combustibile costituita da trizio e i prodotti di attivazione generati durante il funzionamento) sono all'interno della camera di reazione che non ha contatti con l'esterno: nell'eventualità di un rilascio all'esterno il danno ambientale sarebbe decisamente più basso rispetto ad una centrale a fissione, inoltre non c'è una reazione a catena che potrebbe diventare ingestibile: se dall'esterno non si continua a immettere energia per tenere il plasma alle temperature di esercizio, la centrale si spegne da sola.

Altri vantaggi sono: il rispetto dell'ambiente, zero impatto da estrazione dei combustibili, la sicurezza intrinseca e lo sviluppo di tecnologie innovative applicabili in numerosi campi. Ci sono però due tematiche da tener presente. La prima riguarda la presenza di trizio, un isotopo dell'idrogeno che ha una radioattività molto bassa e un tempo di dimezzamento di circa 12 anni. La seconda è che i materiali che compongono la camera interna del reattore diventano radioattivi dando luogo a rifiuti ad attività bassa o media, riciclabili, ad esempio, in altri impianti di fusione. Ad oggi lo sviluppo di materiali a "bassa attivazione" rappresenta una parte importante della ricerca sulla fusione.

Per quello che riguarda la sostenibilità economica, non ci sono ancora stime attendibili del costo medio per kilowattora di elettricità da fusione. Ma certamente i costi si ridurranno per effetto dell'ulteriore sviluppo della tecnologia e delle economie di scala: più le centrali a fusione penetreranno il mercato più il costo dell'elettricità prodotta diventerà competitivo.

Esistono due tipologie di fusione: quella a **confinamento inerziale** e quella a **confinamento magnetico**. Nella prima potenti fasci laser incidono su piccole sfere congelate di deuterio e trizio comprimendole e scaldandole fino a raggiungere le condizioni in cui si verificano le reazioni di fusione. La seconda si basa su grandi magneti formati da materiali superconduttori che imbrigliano e confinano il plasma all'interno di un volume ben definito a forma di ciambella. In entrambi gli approcci, l'idrogeno deve raggiungere temperature di oltre 100 milioni di gradi, formando così il "plasma", il "quarto stato della materia", di cui sono costituiti il sole e le stelle.

Nel campo della ricerca sulla fusione **l'Italia ha una leadership consolidata a livello scientifico**, tecnologico e industriale con numerosi organismi di ricerca, università e un gruppo di aziende in grado di produrre materiali e componenti altamente innovativi.

La fusione è un processo sicuro? E può essere una risposta al cambiamento climatico?

La fusione nucleare è intrinsecamente sicura perché richiede temperature molto elevate per tempi sufficientemente lunghi: una qualsiasi perturbazione delle condizioni richieste provoca il raffreddamento del plasma e quindi lo spegnimento naturale delle reazioni nucleari. Inoltre, in un impianto a fusione vi sono pochi grammi di combustibile e questo esclude la possibilità di rilasci di grandi quantità di materiale radioattivo.

Rispetto al cambiamento climatico, la fusione nucleare è considerata una prospettiva di grande rilievo, in quanto non emette gas serra ed è in grado di produrre elevate quantità di energia in modo continuo, cioè non intermittente. Potrebbe quindi contribuire, insieme alle rinnovabili, a sostituire le fonti fossili per soddisfare l'incremento dei consumi. Secondo le stime più accreditate, infatti, nel 2050 sul pianeta vivranno circa 10 miliardi di persone e nei prossimi 20 anni i consumi energetici globali cresceranno del 25%. È quindi necessario incrementare al massimo la produzione elettrica da fonti rinnovabili, ma anche continuare nella ricerca di altre soluzioni energetiche in grado di ridurre o azzerare le emissioni di gas serra. Il problema di fondo sono i tempi molto lunghi che si prevedono per la realizzazione di un impianto a fusione: dopo il 2050.

Ad oggi il maggior progetto sulla fusione è **ITER**, l'International Thermonuclear Experimental Reactor, al quale collaborano Unione Europea, Cina, India, Giappone, Corea del sud, Russia e

Stati Uniti. Si tratta di un progetto di grande complessità tecnologica, diretto dall'italiano Pietro Barabaschi, in costruzione a Cadarache, in Francia, con un investimento di circa 20 miliardi di euro di cui circa il 50% sostenuti dall'Unione Europea. L'obiettivo è di dimostrare sperimentalmente che sia possibile produrre con la fusione molta più energia di quella necessaria ad innescare e mantenere il processo di fusione. In parallelo l'Europa sta progettando il reattore dimostrativo **DEMO** con l'obiettivo di immettere in rete energia elettrica prodotta da fusione nella seconda metà del secolo.

Nel centro ENEA di Frascati è in costruzione il **Divertor Tokamak Test, DTT**, un impianto sperimentale ideato per dare risposte ad alcuni dei nodi da ancora da sciogliere sul cammino della fusione. Realizzato da un consorzio che, oltre ad ENEA, coinvolge ENI e numerose di istituzioni di ricerca e Università italiane, DTT prevede investimenti per oltre 700 milioni di euro dei quali 250 di prestito BEI con ricadute economiche stimate in 2 miliardi di euro. Intorno al DTT è prevista una cittadella internazionale della ricerca, aperta a scienziati di tutto il mondo. Infine, vi è il progetto **DONES** (Demo Oriented Neutron Source), in costruzione in Spagna per qualificare i materiali che meglio rispondono, in termini di resistenza meccanica (danneggiamento da radiazioni e attivazione) se immersi in campi neutronici paragonabili a quelli di un reattore industriale.

Qual è il ruolo dell'Italia nel campo della fusione nucleare?

L'Italia ha una lunga tradizione di ricerca nel campo della fusione ed è il secondo partner più importante nel consorzio EUROfusion. Il principale attore sul fronte della fusione è l'ENEA che svolge il ruolo di Programme Manager Nazionale coordinando l'intera compagine italiana di 22 partner fra enti di ricerca, università e industrie. Le attività dell'ENEA in questo settore fanno capo al Dipartimento nucleare che conta quasi 500 fra ricercatori e tecnologi, impiegati in attività che riguardano il nucleare in tutte le sue declinazioni pacifiche.

Oltre a coordinare il programma EUROfusion, ENEA partecipa ai progetti internazionali ITER e Broader Approach, in Giappone, e ha ideato DTT, Divertor Tokamak Test, il progetto sperimentale in via di costruzione nel centro ENEA di Frascati dove sono stati realizzati impianti di ricerca di livello internazionale come il Frascati Tokamak, il Frascati Tokamak Upgrade, il Frascati Neutron Generator e si stanno sviluppando attività nel settore dei materiali superconduttivi, anche per utilizzo industriale.

Nel centro di ricerche ENEA del Brasimone la ricerca sulla fusione si concentra in particolare sulle tecnologie per la produzione di trizio, dando vita recentemente anche a due nuove attività: la produzione di radiofarmaci e lo sviluppo di tecnologie avanzate per il monitoraggio, la sicurezza e la difesa del territorio.

Le attività di ricerca e sviluppo sulla fusione svolte in Italia da ENEA e da altre importanti istituzioni scientifiche hanno consentito all'industria nazionale di partecipare con successo alla realizzazione di grandi progetti internazionali. Nella costruzione di ITER, ad esempio, circa 2 miliardi di euro sono stati assegnati, tramite gare internazionali, a soggetti italiani, posizionandoci al secondo posto dopo la Francia che però vede negli edifici civili gran parte delle attività realizzative.

L'Italia è quindi nella posizione migliore per sfruttare il ritorno di know-how industriale dalla costruzione di questo impianto di frontiera.

La ricerca fusionistica ha ricadute anche in altri settori quali ad esempio i trasporti: i treni a levitazione magnetica Maglev, resi possibili dai progressi nel campo della superconduttività, sono forse il caso più eclatante, ma ve ne sono molti altri.

FAQ – DOMANDE E RISPOSTE

La fusione è un processo sicuro?

La fusione nucleare è intrinsecamente sicura perché richiede temperature molto elevate per tempi sufficientemente lunghi: una qualsiasi perturbazione delle condizioni richieste provoca il raffreddamento del plasma e quindi lo spegnimento naturale delle reazioni nucleari. Inoltre, in un impianto a fusione vi sono pochi grammi di combustibile e questo esclude rilasci di grandi quantità di materiali radioattivi.

Il problema di fondo sono i tempi molto lunghi che si prevedono per la realizzazione di un impianto a fusione: dopo il 2050.

La fusione può essere una risposta al cambiamento climatico?

Rispetto al cambiamento climatico, la fusione nucleare è considerata una prospettiva di grande rilievo, in quanto non emette gas serra ed è in grado di produrre elevate quantità di energia in modo continuo, non intermittente. Potrebbe quindi contribuire, insieme alle rinnovabili, a sostituire le fonti fossili per soddisfare l'incremento dei consumi. Secondo le stime più accreditate, infatti, nel 2050 sul pianeta vivranno circa 10 miliardi di persone e nei prossimi 20 anni i consumi energetici globali cresceranno del 25%. È quindi necessario incrementare al massimo la produzione elettrica da fonti rinnovabili, ma anche continuare nella ricerca di altre soluzioni energetiche in grado di ridurre o azzerare le emissioni di gas serra.

Che cosa è ITER?

È l'International Thermonuclear Experimental Reactor, il maggior progetto internazionale sulla fusione, al quale collaborano Unione Europea, Cina, India, Giappone, Corea del sud, Russia e Stati Uniti. Si tratta di un progetto di frontiera, di grande complessità tecnologica, diretto dall'italiano Pietro Barabaschi, in costruzione a Cadarache, in Francia, con un investimento di circa 20 miliardi di euro di cui circa il 50% sostenuti dall'Unione Europea. L'obiettivo è di dimostrare la fattibilità della produzione di energia da fusione. In parallelo l'Europa sta progettando il reattore dimostrativo DEMO con l'obiettivo di immettere in rete energia elettrica prodotta da fusione.

Che cosa è il DTT?

Il Divertor Tokamak Test, DTT, è un reattore sperimentale in costruzione nel centro ENEA di Frascati. Si tratta di un impianto ideato per dare risposte ad alcuni dei nodi da ancora da sciogliere sul cammino della fusione. Realizzato da un consorzio che, oltre ad ENEA, coinvolge ENI e numerose di istituzioni di ricerca e Università italiane, DTT prevede investimenti per oltre

700 milioni di euro con ricadute economiche stimate in 2 miliardi di euro. Intorno al DTT è prevista una cittadella internazionale della ricerca, aperta a scienziati di tutto il mondo.

TEST FINALE

Perché la fusione nucleare è definita l'“energia delle stelle”?

- a. Perché è basata sugli stessi meccanismi che ‘accendono’ gli astri.
- b. Perché raggiunge temperature superiori a quelle degli astri.
- c. Per distinguerla dalla fissione
- d. Per esaltarne gli aspetti positivi

(Risposta a)

La fusione nucleare e la fissione sono la stessa cosa?

- a. Si sono due termini per indicare la produzione di energia da nucleare
- b. No, sono due tecnologie molto diverse
- c. La fusione nucleare arriverà molto prima della fissione
- d. La fissione nucleare è il primo passo per poi arrivare alla fusione

(Risposta b)

In che cosa si differenziano il progetto ITER e il DTT?

- a. Sono due sigle diverse ma ITER e DTT sono la stessa cosa
- b. Il progetto ITER è a livello internazionale ed è più grande e complesso del DTT
- c. Il progetto ITER riguarda la fusione, il DTT la fissione
- d. Il progetto ITER finirà molto prima del DTT

(Risposta b)

La fusione può contribuire a contrastare il cambiamento climatico?

- a. Assolutamente no
- b. Si può contribuire già nel breve periodo
- c. Si può contribuire ma nel lungo periodo, dopo il 2050
- d. L'energia da fusione provoca l'emissione di gas serra

(Risposta c).

PROPOSTA DI LAVORO

Descrivere in modo sintetico le principali differenze fra la fissione e la fusione, evidenziando in particolare le caratteristiche di quest'ultima e il ruolo dell'Italia nei grandi progetti internazionali.

FACT CHECKING

La bufala scientifica della “fusione a freddo”

STIMOLO

Il 23 marzo 1989, in una conferenza stampa all'università dello Utah, i ricercatori americani Martin Fleischmann e Stanley Pons annunciarono di essere in grado di riprodurre le reazioni che alimentano il sole in laboratorio, a basse temperature. Non era una scoperta qualsiasi: la "fusione fredda" avrebbe cambiato il modo di produrre energia.

Ecco qui un filmato della conferenza stampa:

https://www.youtube.com/watch?v=itQ_VKnkd4U

Rispondete alle seguenti domande:

1. Secondo voi il video è autentico?
2. Come avviene il processo di fusione nucleare?
3. È possibile la fusione nucleare a bassa temperatura?

ESPERIENZA

Gli allievi, a coppie moderatamente eterogenee, provano a formulare risposte alle domande. In questa fase non usano il dispositivo elettronico.

COMUNICAZIONE

Si chiede alle coppie di studenti, a turno e in un tempo molto breve (es. 3 minuti), di spiegare le risposte date alle domande proposte e i ragionamenti da loro fatti per giungere a quelle risposte.

ANALISI

Il docente raccoglie le idee migliori e quelle discutibili emerse dagli allievi.

Deve sapere che la fusione fredda è ricordata oggi come un clamoroso fallimento scientifico. Nelle settimane successive alla conferenza stampa, e prima della pubblicazione dei risultati della ricerca sul "Journal of Electroanalytical Chemistry" il 10 aprile, centinaia di scienziati provarono a replicare l'esperimento. La stampa continuava a pubblicare articoli e persino il presidente degli Stati Uniti George Bush si teneva informato.

Senza entrare troppo nel dettaglio della vicenda, in conclusione possiamo dire che "è ragionevole supporre che qualunque cosa avessero misurato Fleischmann e Pons quasi sicuramente non indicasse un evento di fusione nucleare", come si legge in questa ricostruzione della rivista online "Iltascabile":

<https://www.iltascabile.com/scienze/fusione-fredda/>

Per saperne di più sulla fusione fredda:

<https://www.chem.uniroma1.it/museo-di-chimica-primolevi/la-fusione-fredda>

<https://www.pubblicazioni.enea.it/download.html?task=download.send&id=359:fusione-fredda&catid=3>

GENERALIZZAZIONE

Il docente spiega che ci sono state altre bufale sulla “fusione fredda”. Per esempio, nel 2011 l’ingegnere Andrea Rossi annunciò da Bologna di aver realizzato un processo di fusione nucleare fredda, utilizzando nichel ed idrogeno, come testimonia questo articolo de “La Repubblica”:

https://bologna.repubblica.it/cronaca/2011/01/14/news/fusione_nucleare_a_freddo_a_bologna_ci_siamo_riusciti-11237521/

Ma presto vengono sollevati dubbi, come attesta la presa di distanza da parte dell’università di Bologna (“L’Università – recita la nota – precisa di non essere coinvolta negli esperimenti sull’E-Cat condotti dalla società Leonardo Corp. di proprietà di Andrea Rossi. Nessun esperimento si è svolto presso l’Università di Bologna né è stato condotto da ricercatori dell’Università”) e come si legge in questo articolo de “Il Fatto Quotidiano”, che cita la nota e dà ulteriori dettagli:

<https://www.ilfattoquotidiano.it/2011/11/09/fusione-fredda-fatta-casa-bufala-rivoluzione/169534/>

Qual è la lezione, allora? Le bufale scientifiche ci sono state e ci saranno sempre. E talvolta gli scienziati ne sono vittima in buona fede, come scrive Massimo Sideri sul “Corriere della Sera”:

https://www.corriere.it/editoriali/22_dicembre_14/gli-scienziatila-fusione-bufale-31ab5850-7bdd-11ed-a244-0877c18473f0.shtml?refresh_ce

Prudenza, dunque, vaglio scientifico e fact-checking: ci sono certamente delle evidenze scientifiche che dimostrano la possibilità dell’evento di fusione anche in assenza di temperature altissime, ma ancora nessuno ha potuto dimostrare la riproducibilità del fenomeno.

APPLICAZIONE

Il docente chiede agli allievi, sempre in coppia, di cercare altri esempi di informazioni in rete (notizie su argomenti generali), dove il controllo sull’informazione proposta richiede una semplice ricerca su Internet.