

Scheda tecnica

Dall'energia delle stelle ai reattori di nuova generazione, le sfide della ricerca sul nucleare

18 febbraio 2022

Che cosa è la fusione nucleare

Sempre più spesso si sente parlare di fusione nucleare, come di una soluzione sicura e sostenibile per produrre energia in grandi quantitativi. Ma che cosa è esattamente la fusione nucleare? E perché non va confusa con la fissione nucleare? L'obiettivo della fusione è di riprodurre sulla terra lo stesso meccanismo che 'accende' gli astri per ottenere energia rinnovabile e inesauribile, in modo intrinsecamente sicuro. Per questo viene chiamata 'energia delle stelle'.

Nella fusione, l'energia scaturisce dall'unione di due nuclei di elementi molto leggeri quali, ad esempio, l'idrogeno; dalla reazione scaturiscono un neutrone e l'elio, un gas nobile ampiamente utilizzato nella vita quotidiana.

Non vengono prodotte emissioni di gas serra, né rifiuti radioattivi che restano tali per millenni, escludendo così la possibilità di incidenti che coinvolgano la popolazione ed eventuali criticità future da materiali residui: infatti, 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. Altri vantaggi sono: il rispetto dell'ambiente e zero impatto da estrazione dei combustibili, la sicurezza intrinseca e lo sviluppo di tecnologie innovative applicabili in numerosi campi

La fusione nucleare è considerata una prospettiva di grande rilievo e l'Italia è leader in questo campo a livello scientifico, tecnologico e industriale con numerosi organismi di ricerca, università e un gruppo di aziende di punta, in grado di produrre materiali e componenti altamente innovative (*).

Che cosa è la fissione nucleare

L'energia nucleare è l'energia prodotta a seguito di reazioni nucleari, ovvero tutti quei fenomeni fisici in cui si hanno trasformazioni nei nuclei atomici. Esistono due diversi tipi di reazione nucleare che, in entrambi i casi, rilasciano una grande quantità di energia: la **fusione** in cui come abbiamo visto, due nuclei si uniscono per formarne uno più pesante, e la **fissione**, dove un nucleo si divide in due nuclei più leggeri.

La fissione nucleare è un processo di disintegrazione dell'atomo, generata dall'urto fra un neutrone e nuclei di atomi molto pesanti (fissili, quali l'uranio o il plutonio) che si rompono in frammenti più piccoli e producono neutroni che possono a loro volta provocare altre fissioni, innescando reazioni a catena.

L'energia cinetica dei frammenti di fissione si trasforma in calore, cioè energia termica, utile per produrre vapore con cui alimentare una turbina e ricavare energia elettrica. La fissione di 1 grammo di uranio produce un quantitativo di energia pari a quella ottenibile dalla combustione di circa 2.800 kg di carbone. Il processo di fissione comporta la produzione di scorie altamente radioattive.

L'Italia nei grandi progetti internazionali per la fusione

Ad oggi il maggior progetto internazionale sulla fusione è **ITER**, l'International Thermonuclear Experimental Reactor, realizzato nell'ambito di una collaborazione tra le sette maggiori potenze economiche (Unione Europea, Cina, India, Giappone, Corea, Russia e Stati Uniti) che rappresentano il 50% della popolazione e l'85% del PIL globale. ITER è un progetto di estrema complessità, portato avanti da scienziati e ingegneri di numerose nazionalità, in fase avanzata di costruzione a Cadarache, in Francia con un investimento di 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 e di avere il massimo ritorno scientifico per poter progredire nei tempi più brevi possibili verso un **reattore dimostrativo DEMO**.

Le ricadute della fusione per le imprese italiane

Nel campo della fusione ad oggi le imprese italiane hanno vinto oltre 1,8 miliardi di euro di commesse, più del 50% del valore totale del totale per ITER (escluse quelle relative alle infrastrutture civili): l'Italia è quindi nella posizione migliore per sfruttare il ritorno di know-how industriale dalla costruzione di questo impianto di frontiera. Fra le imprese spiccano i nomi di: ASG superconductors, CECOM, Delta TI, Ansaldo, Mangiarotti, OCEM Energy Technology, SIMIC, Walter Tosto, Tratos, Criotec, solo per citare alcune delle circa 50 aziende coinvolte.

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.

La ricerca ENEA

L'ENEA vanta una tradizione pluridecennale nel campo della fusione¹; coordina il programma italiano di ricerca sulla fusione, partecipa ai progetti mondiali ITER e Broader Approach² e ha ideato il DTT³, Divertor Tokamak Test una facility sperimentale in via di realizzazione nel CR ENEA di Frascati con ENI e un pool di istituzioni di ricerca e Università, con l'obiettivo di dare risposte ad alcuni dei nodi più complessi sul cammino della fusione. Il DTT prevede oltre 600 milioni di investimenti (di cui 250 di prestito BEI che lo ha inserito tra i Progetti strategici), con ricadute economiche stimate in 2 miliardi di euro. Intorno al DTT nascerà una vera e propria cittadella internazionale della ricerca, aperta a ricercatori e scienziati di tutto il mondo. Ad oggi hanno superato quota 150 Milioni di euro le gare vinte per la realizzazione DTT e ammontano a 53 Milioni di euro le gare in fase di aggiudicazione.

Le attività ENEA sulla fusione fanno capo al **Dipartimento Fusione e Sicurezza Nucleare** dove lavorano quasi 500 fra ricercatori e tecnologi e vengono svolte nei Centri di ricerca di Brasimone e Frascati. In quest'ultimo centro, sono state realizzate macchine come il Frascati Tokamak, il Frascati Tokamak Upgrade, il Frascati Neutron Generator e si stanno sviluppando attività nel settore dei materiali superconduttivi per utilizzo industriale, nel campo spaziale e della produzione di idrogeno, oltre che macchine per la cura avanzata di patologie tumorali (protonterapia).

A **Brasimone** la ricerca sulla fusione ha recentemente dato vita anche a due nuovi filoni di attività: la produzione di radiofarmaci, con la prospettiva di realizzare un **Polo Nazionale per la medicina nucleare** e lo sviluppo di tecnologie avanzate per il monitoraggio e la sicurezza/difesa del territorio.

¹ Negli ultimi 20 anni nel campo della fusione ENEA ha registrato oltre **50 brevetti**.

² Consorzio CREATE, INFN, Consorzio RFX, Politecnico di Torino, Università della Tuscia, Milano Bicocca, Roma Tor Vergata, CNR

Ruolo dell'ENEA nel campo del nucleare tradizionale

ENEA, in collaborazione con il sistema universitario italiano (CIRTEN) e l'industria nazionale, e in particolare con ANSALDO NUCLEARE SPA, svolge da più di 20 anni attività di ricerca e sviluppo tecnologico sui sistemi nucleari a fissione di IV Generazione refrigerati a piombo. Risale infatti al 1999 la progettazione e successiva installazione, presso il CR Brasimone, dei primi impianti sperimentali per lo sviluppo tecnologico di sistemi refrigerati a metallo liquido pesante (piombo o leghe di piombo).

Le attività di Ricerca&Sviluppo hanno riguardato in special modo lo sviluppo di materiali innovativi, gli studi di termoidraulica dei metalli liquidi, la progettazione e qualifica di componenti avanzati e, infine, le prove su sistemi integrali anche di larga scala. Ad oggi il **CR del Brasimone** dispone di un parco impianti fra i più ampi e attrezzati d'Europa. In parallelo, presso il CR ENEA di Bologna sono state affinate nuove tecniche di progettazione per i **sistemi nucleari LFR (nucleare di IV generazione)**, e nuove metodologie nonché strumenti di calcolo e analisi, con particolare riferimento alla sicurezza, che fanno di ENEA uno fra gli enti di ricerca più avanzati a livello internazionale su questa tecnologia.

La ricerca ENEA sui reattori di nuova generazione

Il 19 dicembre scorso Ansaldo Nucleare, ENEA e Istituto di Ricerca Nucleare della Romania hanno rinnovato il Consorzio Falcon (Fostering Alfred Construction) per realizzare un dimostratore di reattore a fissione di IV generazione. Nato nell'ambito del 7 Programma Quadro di ricerca Euratom con Ansaldo Nucleare leader nelle attività di integrazione di sistema e Enea nello sviluppo tecnologico - l'impianto dimostrativo Alfred (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator), rappresenta la soluzione per far fronte alle problematiche di sicurezza degli impianti nucleari in caso di eventi estremi e contribuire così allo sviluppo di un sistema energetico a basse emissioni di carbonio.

In una prima fase il Consorzio - che verrà allargato alla partecipazione di numerose organizzazioni europee che già hanno espresso il loro interesse - si prefiggerà di reperire le risorse per realizzare la fase di sviluppo tecnologico e progettuale, mentre per la fase di costruzione del reattore, il Consorzio farà ricorso ai finanziamenti della BEI e ai fondi infrastrutturali (Cohesion Funds) cui la Romania può accedere in qualità di nuovo membro UE. L'industria italiana avrà così accesso ai finanziamenti romeni ed UE per la fornitura di componenti ad alta tecnologia che saranno in parte qualificati dai laboratori Enea del CR Brasimone.

Che cosa è il nucleare di IV generazione

I reattori nucleari sono generalmente classificati per "generazione", ovvero **Generazione I, II, III, III+ e IV** sulla base delle caratteristiche chiave che hanno determinato lo sviluppo e il loro impiego a livello industriale. Le prime tre generazioni derivano da progetti inizialmente proposti per la propulsione navale, quasi esclusivamente militare, alla fine degli anni 40.

La **Generazione I** si riferisce ai primi prototipi che hanno lanciato il nucleare civile di potenza. Questi tipi di reattore in genere funzionavano a livelli di potenza ridotti. Ad oggi non vi sono impianti di Generazione I in esercizio.

Alla **Generazione II** appartengono tutti quei reattori commerciali raffreddati soprattutto ad acqua, che hanno portato a maturità le tecnologie dei reattori della prima generazione, aumentandone il potenziale di affidabilità. I sistemi di II generazione hanno iniziato a funzionare alla fine degli anni '60 e comprendono la maggior parte degli oltre 400 reattori commerciali del mondo (oltre il 90%). Sono reattori che utilizzano sistemi di sicurezza attiva (che richiedono operazioni elettriche o meccaniche avviate da un operatore), anche se questi sistemi sono talvolta integrati in maniera complementare da sistemi passivi (che non richiedono attuazione o operazione da parte dell'uomo). Producono quantità significative di combustibile esausto che necessitano lo smaltimento finale in depositi geologici o ritrattamento. Gli impianti di Three Mile Island, Chernobyl e Fukushima Daiichi sono tutti reattori di Generazione II.

I reattori di Generazione III sono essenzialmente evoluzioni dei reattori di Generazione II. I miglioramenti nella tecnologia hanno puntato innanzitutto a estenderne la vita operativa, da 40 fino a 60 anni, l'efficienza e ad accrescerne ulteriormente il livello di sicurezza. In

particolare modo nei reattori di Generazione III+ si fa ampio uso di sistemi passivi o attivi di nuova concezione. Oggi sono in esercizio o in fase di costruzione circa una ventina di sistemi di Generazione III+. Resta il fatto che anche questi reattori, basati sulla tecnologia dei reattori ad acqua, permane il problema di un ciclo del combustibile non chiuso, che richiede lo stoccaggio geologico di una parte del combustibile esausto.

Il vero punto di svolta sono i **Reattori di IV Generazione**, tra cui i **Reattori veloci refrigerati a piombo (Generation IV – Lead-cooled Fast Reactor - LFR)** che attraggono un sempre maggiore interesse e rappresentano la quasi esclusività delle attività di ricerca e sviluppo nel settore in Italia. **La fondamentale differenza dei reattori LFR di IV generazione rispetto a quelli attuali è un sistema refrigerante che utilizza piombo invece di acqua; in questo modo, grazie alle caratteristiche fisiche del piombo, è possibile garantire la presenza del refrigerante in qualsiasi condizione incidentale⁵ e garantire un nucleare civile sostenibile, sicuro, affidabile, resistente alla proliferazione.**

Una ulteriore evoluzione, portata avanti in parallelo alla IV generazione da alcuni **partenariati internazionali composti principalmente da soggetti privati**, mira a realizzare entro il 2030 i reattori cosiddetti ADS (**Accelerator Driven System**, letteralmente “sistemi guidati da un acceleratore”): in questo caso, per funzionare, il reattore ha bisogno di neutroni prodotti dall'esterno grazie a un acceleratore di protoni. Il livello di sicurezza è molto maggiore poiché in caso di black-out elettrico (evento più rischioso in assoluto per una centrale nucleare) l'acceleratore smette di funzionare e il reattore non ricevendo i neutroni necessari, si spegne.

⁵ Le proprietà intrinseche del refrigerante adottato e l'utilizzo di sistemi passivi rende l'impianto estremamente affidabile, semplificando la gestione di eventuali incidenti. In 20 anni di studi sui sistemi LFR., non si sono evidenziati scenari incidentali che abbiano determinato la “fusione del nocciolo”. Questi sistemi sono inoltre ideati e progettati per essere semplici e compatti al fine di ridurre la complessità e le dimensioni dell'impianto, oltre ai costi di approvvigionamento, di installazione e manutenzione. Inoltre, operando a temperature più elevate, garantiscono un rendimento maggiore nella produzione di energia elettrica, il combustibile può essere costantemente riciclato (ciclo del combustibile chiuso) e gli elementi in esso contenuti sono tecnicamente inaccessibili (primo fra tutti il plutonio) garantendo così un'elevata sicurezza in caso di eventi incidentali, di attacchi terroristici o di azioni di sabotaggio, poiché il reattore tende spontaneamente a una condizione stabile e sicura. Per concepire e promuovere lo sviluppo di sistemi nucleari di IV generazione e renderli disponibili industrialmente entro il 2030, nel 2001 è stato istituito il GENERATION IV International Forum (GIF) al quale l'Italia partecipa tramite la rappresentanza dell'Europa.

(*) Come avviene la fusione nucleare nel dettaglio

Ad oggi per riprodurre il meccanismo che accende gli astri, la ricerca scientifica utilizza una macchina denominata Tokamak, di forma toroidale, caratterizzata da un involucro cavo, con all'interno un'apposita ‘camera di reazione’ rivestita da un mantello costituito da contenitori di litio, un metallo presente in abbondanza sulla terra. Fra le diverse configurazioni magnetiche studiate (Stellarator, Tokamak etc) il Tokamak si è dimostrato la soluzione tecnologica più efficace per la sua stabilità e capacità di assicurare i lunghi tempi di confinamento necessari a mantenere il plasma in condizioni di temperatura e densità sufficientemente lunghe per farle collidere e fondersi.

La reazione di fusione viene riprodotta all'interno del Tokamak utilizzando il litio presente nel rivestimento, il deuterio, una forma di idrogeno di cui è ricca l'acqua di mare (30 g/m³) e il trizio, generato direttamente all'interno del Tokamak, in un ciclo chiuso. Deuterio e trizio vengono immessi nella camera di reazione e portati a temperature di 200 milioni di gradi, oltre dieci volte l'interno del sole, trasformandosi in un composto di particelle cariche separate, nuclei ed elettroni, ovvero in plasma. Per arrivare a questo risultato si impiegano sistemi altamente sofisticati, basati sull'uso di onde elettromagnetiche o di fasci di particelle neutre.

Per evitare che le particelle di plasma si muovano disordinatamente, urtando e danneggiando le pareti, perdendo energia preziosa e, di conseguenza, inibendo la reazione di fusione, intorno alla camera di reazione all'interno del Tokamak vengono collocati grandi magneti che hanno il compito di produrre campi magnetici in grado di ‘confinare’ il plasma. Il passaggio dalla reazione di fusione alla produzione di energia elettrica avviene attraverso i neutroni generati dall'unione fra il deuterio e il trizio: l'energia dei neutroni viene depositata all'interno del mantello della camera di reazione dove viene trasformata in vapore che alimenta una gigantesca turbina per produrre energia elettrica. L'elio che residua nei diversi passaggi del processo viene smaltito senza problemi.

La caratteristica fusione è la capacità di autosostenersi grazie all'energia prodotta nella fusione stessa; tuttavia, il processo va costantemente alimentato iniettando gas di deuterio e trizio nella camera di reazione e rimuovendo l'elio prodotto. Infatti, se l'iniezione cessa, la reazione si spegne immediatamente. Da qui l'intrinseca sicurezza del sistema.

