



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Audizione ENEA

Indagine conoscitiva in materia di energia prodotta
mediante fusione nucleare

Ing. Gilberto Dialuce

Presidente

Senato della Repubblica

8^a Commissione permanente

(Ambiente, transizione ecologica, energia, lavori pubblici, comunicazioni, innovazione tecnologica)

6 marzo 2024

Illustre Presidente, Onorevoli Senatori,

ringrazio, anche a nome dell'ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, la Commissione per l'opportunità offerta da questa audizione che ci consente di fornire il nostro contributo nell'ambito dell'indagine conoscitiva in materia di energia prodotta mediante fusione nucleare.

Premesso che:

ENEA riveste un ruolo preminente nel panorama nazionale ed internazionale della ricerca e sviluppo sull'energia da fusione nucleare, infatti:

- su mandato del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, in qualità di Program Manager nazionale nel Consorzio EUROfusion, che gestisce i fondi comunitari per il programma europeo sulla fusione, coordina le attività degli oltre 20 soggetti (industrie, consorzi universitari, enti di ricerca e Università) impegnati in ambito R&S dell'energia da fusione in Italia;
- in qualità di Industrial Liason Officer per l'organizzazione comunitaria che gestisce il contributo dell'Europa al reattore ITER (Fusion for Energy), supporta il nostro tessuto industriale nella partecipazione alle gare internazionali per la realizzazione del progetto (circa 2 miliardi di euro finora aggiudicati ad aziende o consorzi italiani);
- sta realizzando presso il Centro Ricerche di Frascati la Divertor Tokamak Test facility (DTT), un'infrastruttura di importanza strategica nella "road map" europea verso la produzione di energia da fusione nucleare;

si riporta nel seguito una descrizione con riferimento alle tecnologie attualmente in fase di studio, alla maturità tecnologica e agli aspetti innovativi del processo, alle filiere industriali, nonché le principali attività svolte in ENEA in tale settore.

Descrizione della Tecnologia

La fusione nucleare è il processo che alimenta il Sole e le stelle, rendendo possibile la vita sulla Terra. Si usa il termine "fusione" in quanto (in modo opposto alla fissione nucleare) l'energia è prodotta combinando nuclei leggeri, come isotopi di idrogeno, portati a temperature estremamente elevate (quelle del plasma, 15 milioni di gradi nel Sole, più di 100 milioni di gradi nei dispositivi realizzati nei laboratori). In questo processo parte della massa dei reagenti viene convertita in energia cinetica dei prodotti di reazione (un nucleo di elio ed un neutrone per la reazione deuterio - trizio), che a loro

volta possono essere utilizzati per produrre energia elettrica tramite tecniche convenzionali in una turbina a vapore.

Il confinamento del plasma, viste le altissime temperature in gioco, può essere ottenuto esclusivamente tramite campi elettromagnetici o per mezzo di laser (fusione inerziale).

Fusione a Confinamento magnetico

La maggioranza della comunità fusionistica è orientata verso il confinamento magnetico, con due diverse filiere di ricerca che si distinguono per l'intensità del campo magnetico:

- il modello europeo e orientale (JET, ITER, JT-60SA, e, in prospettiva, DEMO, che sarà il primo dimostratore a immettere energia in rete) caratterizzato da campi magnetici medi e da grandi dimensioni di impianto per garantire la potenza necessaria per rendere la produzione sostenibile;
- il modello americano (SPARC e, in prospettiva, il dimostratore ARC) caratterizzato da alti campi magnetici e dimensioni di impianto più contenute per garantire la potenza necessaria per rendere la produzione sostenibile.

Entrambe le filiere utilizzano un tokamak (camera toroidale), mantenuto sottovuoto spinto, circondato da magneti superconduttori che generano i campi magnetici necessari per confinare e mantenere in movimento il plasma di deuterio e trizio al cui interno avviene la reazione di fusione.

Allo stato attuale sono in via di realizzazione le facility ITER (a Cadarache in Francia) e DTT (al Centro ricerche ENEA di Frascati) che si propongono di dimostrare rispettivamente la possibilità di produrre molta più energia di quella necessaria a innescare e mantenere il processo di fusione e l'esistenza di una configurazione geometrica e di materiali che possano sopportare gli altissimi quantitativi di potenza termica che vengono scaricati durante il processo di fusione come plasma esausto.

In Giappone è stata appena completata la realizzazione del tokamak JT-60SA nell'ambito dell'accordo Broader Approach tra Europa e Giappone, con un significativo contributo dell'industria italiana grazie ad un finanziamento del Governo italiano. JT-60SA si propone di preparare le operazioni di ITER in continua del reattore.

Recentemente si è avuto un notevole interesse per la fusione da parte di investitori privati, con la creazione di circa cinquanta start-up in tutto il mondo che hanno raccolto oltre sei miliardi di dollari sul mercato. Tra queste, la più avanzata è Commonwealth Fusion Systems (CFS), uno spin off del MIT di Boston, in cui ha investito in modo significativo anche ENI, e che prevede di realizzare il dimostratore ARC negli anni 2030.

Inoltre, è particolarmente significativa l'iniziativa del Governo inglese che ha varato il programma nazionale per la fusione con l'obiettivo di costruire il primo reattore entro il 2040, stanziando 650 milioni di sterline fino al 2027.

Fusione a Confinamento inerziale

In questo caso si può ottenere la fusione concentrando fasci laser molto potenti (fusione inerziale) su piccole sfere contenenti una miscela di deuterio e trizio: l'energia rilasciata dai laser comprime le sferette fino a permettere la fusione dei nuclei con conseguente produzione di energia da fusione.

Il leader indiscusso nel settore è la National Ignition Facility (NIF), presso il Lawrence Livermore National Laboratory a Livermore negli Stati Uniti, dove, per la prima volta nella storia, si è riusciti a produrre più energia da fusione di quella iniettata tramite i fasci laser.

Aspetti innovativi e Livello di maturità tecnologica

I principali aspetti innovativi della fusione sono:

- la sostenibilità: i prodotti della reazione di fusione più promettente (D-T, cioè deuterio-trizio) sono solo elio e neutroni. Non vengono prodotti rifiuti radioattivi a lunga vita e, con una corretta scelta dei materiali, la radioattività indotta nei componenti strutturali decade in un tempo relativamente breve, paragonabile al tempo di decadimento dei rifiuti radioattivi prodotti dalle attività non correlate alla produzione di energia (centinaia di anni);
- la sicurezza intrinseca: non sono possibili reazioni a catena in quanto è presente solo una quantità assai limitata di reagenti nella camera da vuoto; in caso di danni, incidenti, o perdita di controllo, la reazione di fusione con conseguente generazione di calore decade assai rapidamente, spegnendosi automaticamente;
- la disponibilità di combustibile: deuterio e litio (il trizio è prodotto nel reattore) sono largamente diffusi e praticamente inesauribili in natura (il deuterio è presente in gran quantità nell'acqua del mare ed il litio può essere estratto sia dalle rocce, sia dagli oceani);
- l'assenza di emissioni di gas serra: durante il funzionamento non si ha produzione di CO₂.

Attualmente, in ambito fusione a confinamento magnetico, non si è ancora riusciti a produrre un quantitativo di energia da fusione superiore a quello necessario per avviare e mantenere il processo: il record è stato ottenuto presso il Joint European Torus (JET, presso il sito inglese di Culham, che ha concluso le sue attività alla fine del 2023) che ha prodotto un quantitativo di energia da fusione pari al 66% dell'energia iniettata. Se si considera che per iniettare una unità di energia nel plasma se ne

consumano 3, risulta che, ad oggi, per ottenere 1 MJ di energia da fusione con la tecnologia del confinamento magnetico se ne consumano circa 5.

Relativamente alla fusione a confinamento inerziale, il rapporto fra l'energia da fusione prodotta rispetto a quella iniettata è significativamente migliore (per produrre 1 MJ se ne iniettano 0.5), ma l'efficienza dei laser è molto bassa, infatti per iniettare 0,5 MJ se ne consumano 50-100: ne segue che per ottenere 1 MJ di energia da fusione con la tecnologia del confinamento inerziale, se ne consumano fra 50 e 100.

Il livello di maturità tecnologica (TRL) della tecnologia basata sul modello europeo (confinamento magnetico e campi magnetici medi) si colloca intorno a 4-5 su una scala di 9; quella basata sul modello americano (confinamento magnetico e alti campi magnetici), intorno a 3-4; per la tecnologia basata sul confinamento inerziale il TRL è intorno a 3.

Secondo la maggior parte della comunità scientifica internazionale per avere il primo reattore di potenza basato sulla fusione nucleare occorrerà attendere la seconda metà del secolo: un aumento degli investimenti, il crescente impegno dei privati e l'avvio di partnership pubblico-private ben strutturate per favorire l'innovazione potrebbero portare ad una accelerazione dei tempi.

Principali attività svolte in ENEA

L'Italia, tramite l'ENEA, è uno dei maggiori contributori in Europa e nel mondo allo sviluppo della fusione nucleare a confinamento magnetico, coinvolgendo l'industria nazionale e le Università.

Le attività vengono svolte nel quadro del programma Euratom per la fusione (EUROFusion) che coinvolge i Paesi dell'Unione Europea più Regno Unito, Svizzera e Ucraina, e attraverso collaborazioni con numerosi Istituti e Università a livello internazionale.

In ambito tecnologico, fino dagli anni '80, nei laboratori ENEA di Frascati sono state sviluppate numerose tecnologie per la fusione, privilegiando le linee basate sulle conoscenze più consolidate all'interno dei laboratori e al tempo stesso passibili di un robusto coinvolgimento dell'industria nazionale, anche per applicazioni più vaste di quelle specifiche per la fusione. Le linee sviluppate hanno riguardato in particolare i magneti superconduttori, i componenti ad alto flusso termico affacciati al plasma, i materiali, la manutenzione remota, la neutronica e i dati nucleari, la tecnologia dei metalli liquidi e la sicurezza. Molte di queste tecnologie hanno anche ricadute importanti in altri settori industriali.

L'ENEA, grazie al know-how sviluppato, partecipa attivamente alla realizzazione di ITER, contribuendo alla progettazione di molti componenti, alla definizione degli scenari fisici, alla progettazione di diagnostiche e di sistemi di riscaldamento del plasma, e operando in stretta collaborazione con l'industria. Anche grazie al coinvolgimento nel programma di ricerca sulla fusione, l'industria italiana si è infatti già aggiudicata le maggiori commesse per la costruzione dei componenti che costituiscono il cuore di ITER.

La realizzazione dell'infrastruttura di ricerca DTT

L'ENEA, considerando di prioritaria importanza lo sviluppo della fusione nucleare, ha iniziato la realizzazione della Divertor Tokamak Test facility (DTT), un'infrastruttura di importanza strategica nella "road map" europea verso la produzione di energia da processi di fusione nucleare.

Il progetto DTT, concepito in ENEA e realizzato nel Centro ENEA di Frascati dal Consorzio DTT che include ENEA (70%) e ENI (25%) come soci di maggioranza, e inoltre CNR, INFN, CREATE, RFX, CETMA, Università di Tor Vergata, Milano Bicocca, Università della Tuscia, Politecnico di Torino), nasce per trovare soluzioni tecnologiche innovative per l'estrazione del calore prodotto dalle reazioni di fusione e del plasma esausto. Il componente su cui viene convogliata la maggior parte di questa potenza in un reattore, chiamato divertore, è in fase di studio, sia in termini di materiali da utilizzare che di configurazione geometrica: gli esperimenti che saranno condotti presso DTT permetteranno di progettare il divertore di un reattore di potenza in tempo utile per la realizzazione del reattore dimostrativo DEMO.

La costruzione dell'infrastruttura di ricerca, per un investimento di circa 700 milioni di euro sostenuto con fondi europei, italiani, e con un prestito della BEI, ha avuto inizio nel 2019 nel centro di ricerca ENEA a Frascati e ad oggi sono stati assegnati contratti a soggetti terzi, connessi alla sua realizzazione, per un importo complessivo pari a circa 200 milioni di euro.

In conclusione,

- la fusione nucleare è senza dubbio una tecnologia con basse emissioni di gas serra e, probabilmente nella seconda metà del secolo, sarà utilizzabile per una produzione di energia sostenibile e non inquinante;
- le principali problematiche ancora da risolvere riguardano:
 - i. la dimostrazione della possibilità di produrre una quantità di energia da fusione sensibilmente superiore all'energia necessaria per avviare e mantenere il processo di fusione;

- ii. la possibilità di produrre e recuperare il trizio prodotto nel reattore e riutilizzarlo come combustibile;
- iii. lo sviluppo di materiali adatti a resistere agli altissimi campi di radiazione che caratterizzano la parte più interna del reattore;
- iv. lo sviluppo di magneti e superconduttori che resistano a campi magnetici elevati come quelli in gioco;
- v. l'individuazione di una configurazione geometrica e di materiali affinché il divertore (componente sul quale si scarica la potenza in eccesso e il plasma esausto) resista a potenze paragonabili a quelle che si riscontrano sulla superficie del sole.

Per superare le criticità esposte è necessario mantenere e incrementare gli investimenti pubblici e privati: in questo modo potrebbero ridursi i tempi per il raggiungimento dell'obiettivo aumentando, al contempo, il volume di attività del nostro tessuto industriale e le competenze tecniche già molto elevate del settore della ricerca italiana sulla fusione.