



**Indagine conoscitiva in materia di  
energia prodotta mediante fusione  
nucleare  
Eni S.p.A.**

Audizione presso la 8<sup>a</sup> Commissione permanente  
(Ambiente, transizione ecologica, energia, lavori  
pubblici, comunicazioni, innovazione tecnologica)

Senato della Repubblica

Roma, 9 Aprile 2024



Eni desidera innanzitutto ringraziare il Presidente e i membri della Commissione per l'opportunità di poter contribuire alla discussione in corso nell'ambito dell'indagine conoscitiva in materia di energia prodotta mediante fusione. Eni considera fondamentale questo momento di confronto tra istituzioni e *stakeholder*, utile occasione per approfondire la tematica.

Alla luce di quanto già ampiamente trattato nell'ambito di questo ciclo di audizioni, dopo una breve analisi delle principali caratteristiche di questa tecnologia, esamineremo il dimensionamento del mercato della fusione, le attività di Eni, le opportunità per l'Italia e il contesto internazionale.

## L'energia da fusione

La fusione è l'energia che domina il nostro universo, in quanto è il principio fisico che alimenta le stelle, come il nostro Sole. In questo processo, la fusione di due atomi leggeri, come gli isotopi dell'idrogeno (Deuterio e Trizio), crea un elemento (Elio) più leggero della somma dei due atomi iniziali, una reazione che libera un'enorme quantità di energia, secondo la nota equazione di Einstein:  $e=mc^2$ .

L'energia da fusione scaturisce da un processo completamente diverso da quello della fissione nucleare che fa funzionare le attuali centrali nucleari: nella fissione, la produzione di energia avviene tramite la "rottura" di atomi pesanti (ad esempio l'uranio).

Il grande vantaggio dell'energia da fusione in ottica di applicazioni commerciali è che il processo per produrla **non emette gas a effetto serra**, ciò la rende estremamente interessante per il settore energetico.

Inoltre, la tecnologia di fusione magnetica garantisce **un processo intrinsecamente sicuro**, in grado di arrestarsi nel momento in cui vengono meno le condizioni che lo consentono.

Il processo di fusione è considerato **virtualmente illimitato** in quanto:

- genera una quantità di energia immensa: secondo l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (*International Atomic Energy Agency*) la fusione potrebbe generare circa quattro milioni di volte più energia per chilogrammo di combustibile rispetto alla combustione del carbone<sup>1</sup>, e
- utilizza come combustibile due isotopi dell'idrogeno ampiamente disponibili: il deuterio, che si può ricavare dall'acqua di mare, e il trizio, che può essere prodotto nel processo stesso di fusione da una reazione fisica con il litio.

Infine, la fusione rappresenta una **fonte di energia estremamente interessante anche per il sistema**, producendo un flusso costante di energia (**non-**

---

<sup>1</sup> Fonte IAEA Agenzia internazionale per l'energia atomica (International Atomic Energy Agency) agosto 2023: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion#:~:text=Language-,Nuclear%20Explained,releasing%20massive%20amounts%20of%20energy>.



**intermittente**), garantendo **una fornitura di energia di base** e poiché potrà **sfruttare le infrastrutture già esistenti**, rendendo il processo più flessibile ed efficiente dal punto di vista logistico ed economico.

## L'energia da fusione nel mondo

Programmi per la ricerca, lo sviluppo e l'industrializzazione dell'energia da fusione sono condotti in oltre 50 Paesi nel mondo. Il rapporto *Fusion Outlook 2023* dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) sottolinea che sono presenti più di 140 macchine per la fusione in tutto il mondo derivanti da progetti pubblici e privati, inclusi quelli già operativi, in costruzione o nella fase di progettazione.

In linea con le diverse alternative tecnologiche e di processo disponibili per lo sviluppo commerciale della fusione, gli esperti stanno esplorando varie soluzioni: la maggior parte degli sforzi si concentra oggi nelle macchine a confinamento magnetico come i *tokamak*, la soluzione a oggi con maturità tecnologica più elevata, o gli *stellarator*. Sono, inoltre, in fase di sviluppo progetti con approcci alternativi come la fusione inerziale o approcci misti.

## Il settore pubblico

Lo sviluppo storico dell'energia da fusione tramite progetti pubblici ha recentemente portato a importanti risultati concreti e notevoli progressi tecnologici, che stanno guidando i governi nel rivedere le proprie strategie nazionali.

Si riportano alcuni dei risultati raggiunti dai progetti pubblici attualmente in corso.

- Nel dicembre 2022, grazie a un dispositivo di ricerca basato su fusione a confinamento inerziale, situato presso il *National Ignition Facility* (NIF) del *Lawrence Livermore National Laboratory* negli Stati Uniti, per la prima volta nella storia della fusione è stato possibile raggiungere un guadagno netto di energia.
- Nel finire dello scorso anno, presso l'impianto *Joint European Torus* (JET), il principale esperimento mondiale situato nel Regno Unito, sono stati prodotti 69 megajoule di energia da fusione sostenuta e controllata, un nuovo record a livello mondiale.
- In Germania, il *Wendelstein 7-X* (W7-X), un impianto *stellarator*, ha raggiunto un nuovo record nel 2023 con una scarica di plasma della durata di 8 minuti.



- In Cina, l'*Experimental Advanced Superconducting Tokamak* (EAST) ha raggiunto la più lunga operazione in stato stazionario di plasma ad alta temperatura nel dicembre 2021.
- In Francia, il progetto intergovernativo ITER<sup>2</sup> in costruzione a Cadarache, si presenta come la più grande struttura sperimentale per la fusione al mondo. Servirà come progetto collaborativo globale con l'obiettivo di dimostrare la fattibilità scientifica e tecnologica della produzione di energia da fusione.

## Il settore privato dell'energia da fusione

Parallelamente allo sforzo pubblico, anche l'industria privata della fusione è cresciuta rapidamente negli ultimi anni: nel suo rapporto annuale sull'industria globale dell'energia da fusione, l'Associazione dell'Industria della Fusione (FIA) sottolinea che il settore ha attratto un totale di oltre 6 miliardi di dollari di investimenti (di cui circa 3 miliardi negli ultimi tre anni), accompagnato da una serie di avanzamenti tecnologici. Contemporaneamente, il numero totale di aziende nel settore è aumentato a oltre 40 compagnie, un numero in continua crescita.

Il rapporto evidenzia anche come 25 aziende nel settore prevedono che la prima centrale a fusione potrà immettere energia elettrica nella rete prima del 2035, fissando quindi una data entro la quale la fusione potrebbe contribuire sostanzialmente alla transizione energetica globale.

Le aziende private stanno esplorando tecnologie diverse, con approcci che spaziano dal confinamento magnetico o inerziale ad alternative con design maggiormente innovativi. Per l'industria della fusione, questa ampiezza di possibilità è un mezzo per diversificare il rischio eseguendo contemporaneamente molteplici possibili applicazioni di svariate tecnologie innovative. Le *startup* private attive in questo settore, infatti, grazie alla propria natura, possono assumere maggiori rischi e sfruttare nuove opportunità di finanziamento, ottenendo così un percorso accelerato, ma maggiormente rischioso, verso la commercializzazione della fusione.

In questo contesto, la collaborazione tra settore pubblico e privato sarà fondamentale per avanzare verso l'industrializzazione della fusione. Mentre le aziende private potrebbero svolgere un ruolo cruciale nell'assumersi rischi e innovare, rimangono sfide tecnologiche condivise per la fusione, come materiali o ciclo del combustibile che richiedono sforzi congiunti. Riteniamo che la

---

<sup>2</sup> I paesi partecipanti al progetto ITER includono Cina, Unione Europea (UE), India, Giappone, Repubblica di Corea, Federazione Russa e Stati Uniti.



condivisione di conoscenze e competenze su scala globale, facilitata dalla collaborazione tra pubblico e privato, non solo accelererà il ritmo dei progressi, ma garantirà anche un approccio più efficiente e a minor rischio.

## L'impegno di Eni nell'energia da Fusione

Eni considera l'innovazione tecnologica uno dei pilastri della propria strategia di transizione energetica e supporta la ricerca nelle tecnologie rivoluzionarie che possono generare una svolta nella transizione energetica e nel proprio percorso di decarbonizzazione. Questa visione è incarnata in importanti sfide come lo sviluppo dell'energia da fusione.

Eni è stata la prima compagnia energetica a sostenere lo sviluppo dell'energia da fusione e ha avviato da tempo un programma che prevede impegni su più fronti:

- **Partecipazione in *Commonwealth Fusion Systems (CFS)*: Eni è azionista strategico di CFS, spin-out del *Massachusetts Institute of Technology* per l'applicazione industriale della fusione a confinamento magnetico.** Eni ha investito nella società a partire dal 2018 e a fine 2021 ha partecipato al nuovo *round* di finanziamento di CFS continuando la collaborazione attiva per accelerare l'industrializzazione della tecnologia. In questa direzione, a marzo 2023, Eni e CFS hanno firmato un Accordo di Cooperazione Tecnologica per collaborare nel supporto allo sviluppo dell'energia da fusione. Oltre all'investimento e alle attività di collaborazione, Eni è parte del Consiglio di Amministrazione di CFS e assicura il proprio contributo in termini di risorse e *know-how* industriale e scientifico.

CFS è attualmente impegnata nella costruzione del primo reattore dimostrativo per la fusione, chiamato SPARC, il cui completamento è previsto verso la metà di questo decennio. L'obiettivo di SPARC è dimostrare che il bilancio positivo di energia può essere raggiunto in un impianto a confinamento magnetico, dimostrazione utile alla successiva commercializzazione dell'energia da fusione.

SPARC permetterà anche di studiare la gestione della potenza e la stabilità del plasma, la resistenza dei materiali nell'ambiente di fusione e l'apparato di iniezione del combustibile. SPARC farà quindi da banco di prova per lo sviluppo di ARC: la prima centrale elettrica a fusione su scala industriale in grado di immettere in rete elettricità con un processo a zero emissioni di CO<sub>2</sub>, la cui realizzazione è prevista entro i primi anni del 2030.

CFS nel settembre 2021 ha già raggiunto un traguardo cruciale con il test del magnete superconduttore innovativo, con tecnologia ad alta temperatura (HTS - *High Temperature Superconductors*), più potente del mondo, un passo avanti fondamentale sulla strada verso il primo impianto commerciale di



energia da fusione. Tale tecnologia verrà utilizzata per il confinamento del plasma da fusione e potrà contribuire significativamente alla realizzazione di impianti a fusione più compatti ed efficienti.

- **Partecipazione al progetto DTT (Divertor Tokamak Test facility) di ENEA**, per l'ingegnerizzazione e la costruzione di una macchina a fusione dedicata alla sperimentazione di componenti che dovranno gestire le grandi quantità di calore che si sviluppano all'interno della camera di fusione. Eni è *partner* dell'iniziativa con il 25%, Enea detiene il 70% e il resto coinvolge Università e Centri di Ricerca. Il *know-how* industriale e le competenze di gestione e sviluppo di grandi progetti, che caratterizzano i processi di innovazione in Eni, combinate con l'eccellenza della ricerca scientifica di ENEA, stanno contribuendo alla realizzazione di questa infrastruttura, basata primariamente su competenze e tecnologie italiane, che rappresenta un esempio virtuoso di *partnership* pubblico-privata. Il progetto è in fase di realizzazione presso il Centro di Ricerche di Frascati (Roma) e costituirà uno tra i più grandi progetti scientifici mai realizzati in Italia.
- **Collaborazioni con Università e centri di ricerca d'eccellenza**, che fanno parte da lunga data del *network* Eni. Queste includono anche la creazione del Centro di Ricerca congiunto Eni-CNR a Gela, che ha come obiettivo principale quello di sviluppare competenze locali nel campo della fusione attraverso la promozione di Dottorati di ricerca e attivazione di *grant* nel campo della fusione. Di notevole rilievo anche le collaborazioni con il Politecnico di Milano, di Torino, l'Università di Milano Bicocca, di Padova, e il network legato a DTT (RFX, Uni Tuscia, Uni Tor Vergata, La Sapienza ed altre).  
**A livello internazionale, inoltre, Eni ha attiva una storica collaborazione scientifica con il MIT, nel programma LIFT** (*Laboratory for Innovation in Fusion Technology*) volto ad accelerare l'individuazione di soluzioni in termini di materiali, tecnologie superconduttive, ciclo del combustibile, fisica e controllo del plasma. Infine, Eni ha recentemente siglato una collaborazione strategica con **l'Agenzia Atomica Inglese** (UKAEA - *UK Atomic Energy Authority*) su diversi temi, tra cui i materiali, il ciclo del combustibile, la diagnostica, la fisica e controllo del plasma e le operazioni di una centrale a fusione.

## Le competenze italiane in ambito fusione

L'Italia è già un attore primario in Europa e nel mondo in ambito energia da fusione: le competenze italiane nel settore della fusione sono tra le più avanzate,



grazie a centri di ricerca e università tra le più all'avanguardia nel contesto globale.

Oltre alle riconosciute eccellenze accademiche sul tema, l'Italia può vantare realtà industriali, anche di medio-piccole dimensioni, che spiccano nel panorama internazionale, in campi estremamente di rilievo, che vanno dai materiali avanzati agli apparati dell'elettronica di potenza, ai servizi specialistici.

A conferma del ruolo che l'Italia già oggi gioca nel contesto internazionale, evidenziamo che il tessuto industriale italiano è uno dei maggiori contributori al progetto intergovernativo ITER, con commesse che ad oggi hanno raggiunto un valore di oltre 2 miliardi di euro e per componenti di primaria importanza per il progetto. Un impegno importante che dà materialità a questo campo di innovazione evidenzia le potenzialità di un mercato in continuo sviluppo e offre un'occasione unica di creare grande valore per la propria industria e di raccogliere notevoli soddisfazioni grazie al *know-how* diffuso.

Le imprese italiane stanno intraprendendo un percorso simile anche con il crescente mercato privato della fusione che ha già assegnato commesse rilevanti a imprese italiane; segnaliamo ad esempio che *Commonwealth Fusion Systems* ha già numerosi dei propri fornitori sul territorio italiano.

Per mantenere questo primato internazionale e conservare la competitività delle realtà italiane, crediamo sia fondamentale continuare ad alimentare la ricerca e innovazione in questo campo e come Eni vogliamo contribuire in prima linea in questa direzione. Risulterà inoltre essenziale valorizzare l'eccellenza tecnologica e la capacità di ricerca che il nostro Paese ha sviluppato negli anni, in dialogo con le realtà internazionali che stanno riversando notevoli energie sugli aspetti tecnologici della fusione.

Se sviluppato, il settore dell'energia da fusione potrà infatti continuare a dare nuove opportunità per interi settori industriali italiani, ad esempio quello dei materiali, dell'industria e della robotica di precisione, dell'elettronica di potenza, della sensoristica e molti altri ambiti che già oggi stanno dimostrando le proprie peculiarità e che potranno generare occupazione di altissima qualità e specializzazione e una crescita complessiva in conoscenza, competenze e produttività per l'intero sistema-Paese.



## I recenti sviluppi a livello governativo nel contesto internazionale verso la commercializzazione dell'energia da fusione

I governi di tutto il mondo stanno rispondendo all'urgenza del cambiamento climatico, anche incorporando l'energia da fusione nelle loro strategie a lungo termine per raggiungere le zero emissioni nette.

Diversi Paesi a livello internazionale hanno infatti enfatizzato il ruolo della fusione nel mitigare le emissioni di gas serra e nel limitare l'aumento della temperatura globale e hanno già intrapreso una strada verso l'industrializzazione dell'energia da fusione, tracciando un percorso che li pone come attori primari nella commercializzazione di questa tecnologia. Di seguito alcuni esempi virtuosi del panorama internazionale:

- Il **Regno Unito** nel 2021 ha pubblicato la propria strategia di sviluppo dell'energia da fusione attraverso il documento "*Towards Fusion Energy: The UK Government's Fusion Strategy*". La strategia dimostra l'ambizione del Regno Unito di industrializzare la fusione entro il 2040 attraverso la realizzazione di un impianto in grado di fornire energia netta alla rete e la costruzione di un'industria della fusione di primario livello nel contesto mondiale. La strategia inglese prevede fondi già stanziati per 700 milioni di sterline per il periodo 2022-25. Il governo ha inoltre previsto finanziamenti aggiuntivi per 650 milioni di sterline fino al 2027 nell'ambito del programma "*Fusion futures*". Al contempo, il governo ha avviato un processo di valutazione rispetto **all'applicazione normativa e regolatoria** per la tecnologia dell'energia da fusione. Tale percorso ha portato l'autorità inglese a escludere gli impianti a fusione dai requisiti previsti per le centrali nucleari tradizionali a fissione, date le fondamentali differenze tra impianti di energia da fissione e da fusione e a normare i futuri impianti a fusione come sorgenti di radiazioni.
- Nel 2022 gli **Stati Uniti** hanno annunciato la propria strategia sulla commercializzazione dell'energia da fusione "*Bold Decadal Vision for Fusion Energy*". A seguito della strategia americana, il *budget* dedicato alla fusione negli ultimi anni è stato il più alto mai approvato (oltre 760 milioni di dollari per il 2023). Inoltre, è stato avviato un programma di partenariati pubblico-privati per lo sviluppo della fusione autorizzato fino al 2027 per un totale di 415 milioni di dollari, di cui 50 milioni assegnati nel 2023 a 8 differenti aziende private. A livello **normativo e regolatorio**, gli Stati Uniti hanno iniziato il proprio percorso già nel 2018 e lo scorso anno la Commissione Regolatoria Nucleare (*Nuclear Regulatory Commission*) ha stabilito di separare definitivamente la regolamentazione della fusione da quella della fissione nucleare e di regolare i futuri impianti a fusione come sorgenti di radiazioni. Attualmente, proposte di



revisione per codificare quanto deciso dalla Commissione sono state approvate da *House* e Senato e sono in attesa del passaggio finale.

- Nel 2023, anche il **Giappone** ha annunciato la propria strategia nazionale per l'industrializzazione dell'energia da fusione, evidenziando la necessità di una maggiore integrazione tra impegno pubblico-privato verso la commercializzazione della tecnologia. Sulla base della strategia giapponese a fine 2023 il governo ha elargito i primi fondi per compagnie operanti nel settore della fusione.

In questo ambito, sempre più governi internazionali stanno creando **collaborazioni volte allo sviluppo dell'energia da fusione**, anche in merito agli aspetti normativi e di regolamentazione. Ne sono un esempio:

- la dichiarazione congiunta nel novembre 2023 del Dipartimento per la Sicurezza Energetica e il Net Zero del Regno Unito e il Dipartimento dell'Energia degli USA riguardante una *partnership* strategica per accelerare la dimostrazione e la commercializzazione dell'energia da fusione,
- le raccomandazioni sulla regolamentazione del *network* intergovernativo *Agile Nations Nations* (una rete intergovernativa non vincolante) che ha visto la Gran Bretagna, il Canada e il Giappone prendere una posizione comune su come sviluppare un quadro normativo per gli impianti di energia da fusione e sull'importanza di riconoscere il contributo dell'energia da fusione per rispondere alle sfide energetiche globali.

A livello europeo, in **Germania**, evidenziamo invece la presentazione, da parte del Ministero federale per l'Istruzione e la Ricerca, della **strategia** "Fusion 2040", volta a stabilire requisiti essenziali per la realizzazione delle centrali a fusione sul suolo tedesco attraverso un approccio tecnologicamente neutrale e che mette al centro la cooperazione pubblico-privata. La Germania ha annunciato un programma di finanziamenti per un totale di oltre 1 miliardo di euro fino al 2028.

Globalmente, queste iniziative condividono un tema comune di potenziamento delle *partnership* pubblico-privato per accelerare la ricerca, lo sviluppo e l'industrializzazione dell'energia da fusione, riconoscendo il suo potenziale nel contribuire a un futuro energetico sostenibile.

## Conclusioni

Con l'obiettivo di raggiungere la neutralità carbonica, Eni sostiene lo sviluppo di tecnologie fortemente innovative, come l'energia da fusione che, una volta portata a livello industriale, sarà in grado di generare una svolta nella transizione energetica.



Per Eni innovazione, collaborazioni e sinergie sono la chiave nello sviluppo dell'energia da fusione. Se da un lato rimangono importanti sfide tecnologiche per il pieno sviluppo dell'energia da fusione, è anche vero che negli ultimi anni, abbiamo assistito a un importante progresso tecnologico e scientifico. Eni ha da sempre svolto un ruolo di primo piano in questo processo, scegliendo di impegnarsi in modo sostanziale in questo percorso, con l'obiettivo di portare ad industrializzazione questa tecnologia nel minor tempo possibile.

L'impegno della ricerca, dei centri di eccellenza, delle aziende private e dei fornitori da solo non può sbloccare il pieno potenziale dell'energia da fusione.

Il PNIEC riconosce la fusione tra gli ambiti prioritari di ricerca, ma – in linea anche con la proposta di Regolamento *Net Zero Industry Act* – sarebbe necessario compiere ulteriori sforzi. Parallelamente al sostegno ai programmi di ricerca, la definizione di *policy* abilitanti è essenziale e assume carattere prioritario per consentire il dispiegamento delle potenzialità di questo settore, imprimere un'accelerazione allo sviluppo tecnologico, permettere la realizzazione industriale dei progetti in un orizzonte temporale di medio-lungo periodo. Adottare misure aderenti alle caratteristiche della tecnologia e funzionali alla definizione di un *framework* favorevole per sostenere e consentire la successiva fase di commercializzazione stimolerebbe gli investimenti nazionali e favorirebbe l'attrazione di quelli esteri, gettando le basi per la creazione di una filiera tecnologica e industriale strategica. Inoltre, di pari passo, è importante aumentare l'accettabilità sociale e favorire la conoscenza dei progressi tecnologici intercorsi attraverso la messa a disposizione di informazioni affidabili e specialistiche. Per contribuire a formare l'opinione pubblica e alimentare il dibattito, è importante quindi sostenere campagne specifiche di informazione e stabilire da subito canali di comunicazione aperti.

In tale direzione, Eni accoglie con favore gli sforzi che si stanno portando avanti a livello parlamentare e governativo.

Eni partecipa attivamente anche ai lavori nell'ambito della Piattaforma nazionale per il nucleare sostenibile presso il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica. La Piattaforma rappresenta un'occasione importante per favorire il coordinamento tra tutti i diversi attori nazionali che si occupano di energia nucleare e rafforzare gli sforzi per consentire il pieno dispiegamento di questa tecnologia.