

TECNOLOGIA ED ENERGIA: IL DEEP-TECH

FUSIONE NUCLEARE

Dalla storia alla commercializzazione: tecnologia, competizione industriale e opportunità d'investimento

Situazione aggiornata a settembre 2026

Report tematico — Asset class deep-tech

Documento destinato esclusivamente a investitori professionali ed istituzionali

Indice

1. Executive Summary	1
2. Dalle stelle alla Terra: i fondamenti scientifici	3
Perché la fusione è stata per decenni “sempre a vent'anni”	5
3. Due paradigmi industriali a confronto	8
ITER: il paradigma scientifico tradizionale	8
Il paradigma delle startup private	9
4. I protagonisti industriali	10
Helion Energy — il caso più aggressivo	10
Commonwealth Fusion Systems (CFS) — la strategia più credibile	12
Eni — probabilmente il miglior modo indiretto per investire nella fusione.....	13
General Fusion — la terza strada, ora quotata.....	14
TAE Technologies — la scommessa proton-boro	15
Regno Unito e STEP — la via industriale nazionale	16
Altri protagonisti: Pacific Fusion e Inertia Enterprises	16
5. Il vero ostacolo: dal plasma all'elettricità netta	18
National Ignition Facility (NIF): un risultato storico, non una centrale	18
Engineering breakeven	20
Il problema del trizio.....	21
I materiali e il bombardamento neutronico	22
6. La supply chain potrebbe essere il vero investimento	24
Il caso Fujikura	25
7. AI e fusione: una nuova domanda strutturale	26
8. Il framework di valutazione finanziaria	27
Oltre il Q fisico: l'economic Q	27
Un primo benchmark concreto: il costo per MWh.....	28
Valutare la fusione come real option	28
Il problema della valutazione: un esempio numerico	29
La variabile più importante: il capitale	30
9. Analisi SWOT	31
SWOT della fusione nucleare (settore).....	31
SWOT comparata: i principali pure-play (attori della fusione nucleare)	31
10. Classifica tecnologica e universo investibile	33
L'universo pubblicamente investibile	33
11. Strategia di portafoglio: la barbell strategy	35
Perché evitare un investimento unico in GFUZ	36
12. Il nuovo ruolo dello Stato e il 2026 come punto di svolta	37

13. Il fattore Cina..... 37

 NovaFusionX e Junhe Atomic: i player privati cinesi 38

14. Analisi per scenari: 2030–2040 40

15. Voci a confronto: ottimisti e scettici 41

16. Conclusioni e giudizio finale..... 41

Fonti principali 43

1. Executive Summary

Per quasi un secolo la fusione nucleare è stata soprattutto un problema scientifico: dimostrare che fosse possibile riprodurre sulla Terra il processo che alimenta le stelle. Oggi il problema si sta trasformando in un problema di ingegneria, industrializzazione, capitale e mercato. Questa distinzione è fondamentale, perché cambia radicalmente il modo in cui un investitore professionale dovrebbe leggere il settore.

“È possibile ottenere la fusione?”

La domanda è diventata:

“È possibile costruire una centrale che produca elettricità netta, continuamente, economicamente e con un costo del capitale accettabile?”

Nel 2026 esiste una vera corsa industriale alla fusione. I quattro numeri chiave del settore sono riassunti di seguito.

\$4,48 mld Capitale raccolto negli ultimi 12 mesi (a lug. 2026)	\$14,24 mld Capitale cumulato raccolto dal 2021	56 Società censite a livello globale	>16.000 Addetti impiegati nel settore
---	---	--	--

Figura 1. Indicatori chiave dell'industria della fusione, settembre 2026. Fonte: Fusion Industry Association, The Global Fusion Industry in 2026.

Il capitale, inoltre, sta diventando qualitativamente diverso: non proviene più soltanto da venture capital e fondi tecnologici, ma anche da pension fund, sovereign wealth fund, aziende industriali, società energetiche e hyperscaler (i gestori dei grandi data center, es. AWS, Azure). La vera svolta è il passaggio dalla fusion science alla fusion industry — ma ciò non significa che la fusione commerciale sia stata dimostrata.

Un aggiornamento dal Financial Times conferma il trend: nei primi otto mesi del 2026 le startup fusion hanno attratto un record di \$3,8 miliardi di capitale privato secondo PitchBook, superando già l'intero anno precedente (\$3,3 miliardi, a sua volta record storico). Un sondaggio 2026 della Fusion Industry Association mostra però anche la dispersione delle attese interne al settore: 32 aziende su 45 intervistate dichiarano di poter fornire energia commerciale entro il 2040 — una minoranza significativa non è d'accordo nemmeno tra gli addetti ai lavori (Financial Times, settembre 2026).

A settembre 2026 rimangono irrisolti alcuni problemi fondamentali:

- confinamento e stabilità del plasma
- energia netta a livello dell'intero impianto
- materiali sottoposti al bombardamento neutronico
- riproduzione del trizio
- ciclo del combustibile
- manutenzione dei componenti
- durata operativa
- disponibilità della macchina

- costo della centrale
- licenze e connessione alla rete
- costo finale dell'elettricità

Da un punto di vista finanziario, la fusione va quindi considerata ancora come una asset class deep-tech ad altissimo rischio, ma con un potenziale payoff straordinariamente elevato. Per un investitore professionale europeo non esiste ancora una ragione convincente per trattarla come un investimento energetico tradizionale: esiste invece una tesi secondo cui la fusione rappresenta una long-duration technology option.

L'investimento più interessante potrebbe inoltre non essere necessariamente la società che costruirà il primo reattore, bensì i fornitori di tecnologie difficili da sostituire: magneti HTS, materiali avanzati, sistemi criogenici, elettronica di potenza, girotroni, tecnologia del vacuum (vuoto), sistemi di ciclo del combustibile e componentistica ad alta temperatura.

Spiegheremo più in dettaglio ognuno di questi punti e concetti nel report.

2. Dalle stelle alla Terra: i fondamenti scientifici

Nel 1926 Arthur Eddington comprese che l'enorme energia delle stelle poteva essere spiegata attraverso la trasformazione dell'idrogeno in elementi più pesanti: la fusione sarebbe diventata così una delle grandi questioni della fisica del XX secolo. Il principio è relativamente semplice: due nuclei leggeri (deuterio) vengono avvicinati fino a superare la repulsione elettrostatica; quando entrano nel regime della **forza nucleare forte**, possono fondersi producendo un nucleo più pesante e liberando energia.

Box di Approfondimento: la forza nucleare forte

La forza nucleare forte (o semplicemente "interazione forte") è una delle quattro forze fondamentali della natura, insieme alla gravità, all'elettromagnetismo e alla forza nucleare debole. È la forza che tiene insieme i protoni e i neutroni all'interno del nucleo atomico. Serve perché altrimenti i protoni, avendo tutti carica positiva, si respingerebbero a vicenda per repulsione elettrostatica (cariche uguali si respingono) e il nucleo non potrebbe esistere.

Perché è "forte"? È la più intensa delle quattro forze fondamentali — molto più forte della forza elettromagnetica — ma ha un raggio d'azione estremamente corto: agisce solo a distanze dell'ordine delle dimensioni del nucleo atomico (femtometri, cioè milionesimi di milionesimo di metro). Oltre quella distanza, praticamente scompare. Questo raggio d'azione cortissimo spiega proprio la difficoltà fondamentale della fusione nucleare: due nuclei leggeri (come deuterio e trizio) si respingono per repulsione elettrostatica finché sono a distanza "normale"; solo se vengono avvicinati abbastanza da entrare nel raggio d'azione della forza nucleare forte, questa prende il sopravvento sulla repulsione elettrostatica e li fa fondere, liberando energia. Per avvicinare i nuclei a quella distanza minima serve superare la repulsione elettrostatica — e questo richiede temperature enormi (centinaia di milioni di gradi): solo a quelle temperature i nuclei si muovono abbastanza velocemente da riuscire a "scontrarsi" abbastanza da vicino perché la forza "forte" entri in gioco.

Lo **stato fisico** necessario per creare le condizioni (velocità, densità, temperatura) che permettono ai nuclei di avvicinarsi abbastanza da "sentire" la forza nucleare forte si chiama **plasma**. Tecnicamente il plasma è il quarto stato della materia, oltre a solido, liquido e gassoso. Continuando a scaldare un gas, a un certo punto l'energia diventa così alta che gli elettroni vengono "strappati" dagli atomi. Il risultato è un insieme di particelle cariche — ioni positivi (nuclei senza i loro elettroni) ed elettroni liberi — che si muovono in modo caotico ma restano globalmente neutri dal punto di vista elettrico.

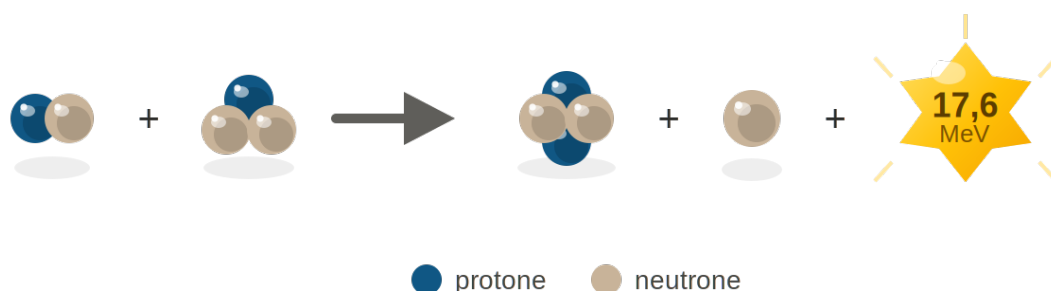
Essendo composto da particelle cariche, il plasma risponde ai campi elettrici e magnetici in un modo che un gas normale non fa. Questo è cruciale per la fusione: proprio perché è fatto di cariche elettriche, il plasma può essere "manipolato" e contenuto tramite campi magnetici, cosa impossibile con un gas neutro. Il plasma è, in definitiva, lo stato in cui si trova il combustibile della fusione (deuterio e trizio) alle temperature di centinaia di milioni di gradi necessarie alla reazione. A quelle temperature nessun materiale solido potrebbe contenerlo fisicamente (fonderebbe o evaporerebbe istantaneamente); serve quindi confinarlo "senza toccarlo", tramite campi magnetici potenti (approccio del tokamak, di CFS, di STEP) oppure comprimendolo molto rapidamente prima che si disperda (confinamento inerziale, come al NIF, o approcci ibridi come quello di Helion e General Fusion).

Il problema pratico è che il plasma è **intrinsecamente instabile**: tende a sviluppare turbolenze, oscillazioni e instabilità che lo fanno "sfuggire" al confinamento. È esattamente il motivo per cui ogni progresso scientifico, fino a questo momento sperimentato, ha rivelato — per decenni — un nuovo ostacolo: mantenere un plasma caldo, denso e stabile abbastanza a lungo da produrre energia netta è uno dei problemi ingegneristici più difficili mai affrontati.

In sintesi: la forza nucleare forte è il "collante" che rende possibile la fusione una volta superata la barriera di repulsione elettrostatica — ed è proprio la ragione per cui servono temperature stellari (letteralmente) per farla accadere sulla Terra. Le temperature estreme permettono alla materia di diventare plasma, i nuclei nel plasma si muovono così velocemente che, scontrandosi, riescono a superare la repulsione elettrostatica ed entrano nel raggio d'azione della forza nucleare forte; si innesca la fusione nucleare che rilascia una quantità enorme di energia.

Scheda 1. La forza nucleare forte.

La reazione più utilizzata negli attuali progetti è:



Equazione 1. Formulazione esplicativa della fusione industriale.

dove

D = deuterio, un isotopo dell'idrogeno con un protone e un neutrone nel nucleo (l'idrogeno normale ha solo il protone);

T = trizio, un altro isotopo dell'idrogeno, con un protone e due neutroni. È radioattivo e instabile;

$He4$ = un nucleo di elio-4 (due protoni e due neutroni) — è il nucleo "pesante" che si forma dalla fusione;

n = un neutrone libero, espulso dalla reazione;

$17,6 \text{ MeV}$ = l'energia rilasciata dalla reazione (MeV = milioni di elettronvolt, un'unità di misura dell'energia usata in fisica nucleare).

Quando un nucleo di deuterio e uno di trizio si scontrano con energia sufficiente (grazie alle alte temperature del plasma, come ti spiegavo prima), superano la repulsione elettrostatica ed entrano nel raggio d'azione della forza nucleare forte. A quel punto si fondono in un nucleo più pesante (elio-4), ma il nuovo nucleo è leggermente meno pesante della somma dei due nuclei di partenza. Quella "massa mancante" non sparisce: si trasforma in energia (secondo la celebre equazione di Einstein $E = m \cdot c^2$). Questa energia viene distribuita tra il neutrone espulso (che si porta via circa l'80% dell'energia, circa 14,1 MeV) e il nucleo di elio (circa il 20%, 3,5 MeV).

Tra tutte le possibili reazioni di fusione (inclusa quella che avviene costantemente a livello stellare), quella illustrata dalla Equazione 1, avviene più facilmente alle temperature "più basse" raggiungibili con la tecnologia attuale — il che non significa affatto basse in assoluto (parliamo comunque di centinaia di milioni di gradi), ma è il compromesso più praticabile oggi. Il prezzo da pagare è che richiede il trizio.

Il deuterio è un elemento relativamente abbondante e può essere ricavato dall'acqua marina; il trizio è invece raro, radioattivo e non disponibile in quantità sufficienti per alimentare una futura industria mondiale della fusione. Questa apparente contraddizione contiene uno dei problemi centrali della tecnologia: una centrale a fusione commerciale dovrà probabilmente produrre internamente gran parte del proprio trizio attraverso un blanket contenente litio.

Il blanket (letteralmente "coperta" o "mantello" in inglese) è una struttura che circonda il plasma all'interno del reattore, posizionata subito dietro la prima parete (quella più vicina al plasma). Contiene litio ed è progettata per fare due cose contemporaneamente: produrre trizio e recuperare il calore.

Quando avviene la fusione deuterio-trizio, viene rilasciato un neutrone ad alta energia (la n della Equazione 1). Questo neutrone esce dal plasma e attraversa il blanket, dove colpisce gli atomi di litio contenuti al suo interno. Il litio ha due isotopi naturali che interagiscono in modo diverso con il neutrone:

- Litio-6 + neutrone $\rightarrow$ Trizio + Elio-4 (reazione che rilascia energia)
- Litio-7 + neutrone $\rightarrow$ Trizio + Elio-4 + un altro neutrone (reazione che assorbe energia, ma "restituisce" un neutrone che può innescare altre reazioni di riproduzione del trizio)

In pratica, il neutrone che il plasma produce viene "riciclato" per generare esattamente il combustibile (il trizio) che il plasma stesso consuma. Non basta che la reazione sia teoricamente possibile: il reattore deve produrre più trizio di quanto ne consumi — ovvero il **tritium breeding ratio** (TBR) deve essere superiore a 1, per compensare:

- il decadimento radioattivo naturale del trizio (ha un'emivita di circa 12 anni, quindi una parte "svanisce" comunque nel tempo);
- le perdite durante la manipolazione e lo stoccaggio, scorte necessarie al funzionamento continuo;
- le perdite nei processi di separazione e purificazione

La riproduzione del trizio, tuttavia, non va dimostrata in laboratorio su piccola scala, ma in un impianto industriale reale che funziona ininterrottamente. Per questo sosteniamo che la fusione non è semplicemente una questione di "mettere insieme due atomi": è un intero sistema industriale.

Perché la fusione è stata per decenni “sempre a vent'anni”

La difficoltà fondamentale è la temperatura: per ottenere una probabilità sufficientemente elevata di fusione, il plasma deve raggiungere temperature dell'ordine di centinaia di milioni di gradi, alle quali la materia non può essere contenuta da una parete fisica. Il plasma deve quindi essere confinato attraverso campi magnetici (confinamento magnetico) oppure compresso molto rapidamente (confinamento inerziale).

Il tokamak, un esempio di impianto a confinamento magnetico (vedi Figura 2), imbriglia il plasma all'interno di una camera toroidale attraverso potenti campi magnetici — ma il plasma è estremamente instabile, ed ogni miglioramento sperimentale tende a rivelare nuovi problemi. È questo il motivo per cui la battuta secondo cui “la fusione è sempre a vent'anni” ha resistito per così tanto tempo: ogni volta che la scienza avvicinava il risultato,

mancava un altro pezzo — prima la temperatura, poi il confinamento, poi il tempo di confinamento, poi il *plasma burning*, poi i materiali, poi il trizio, poi il ciclo termodinamico, poi l'economia.

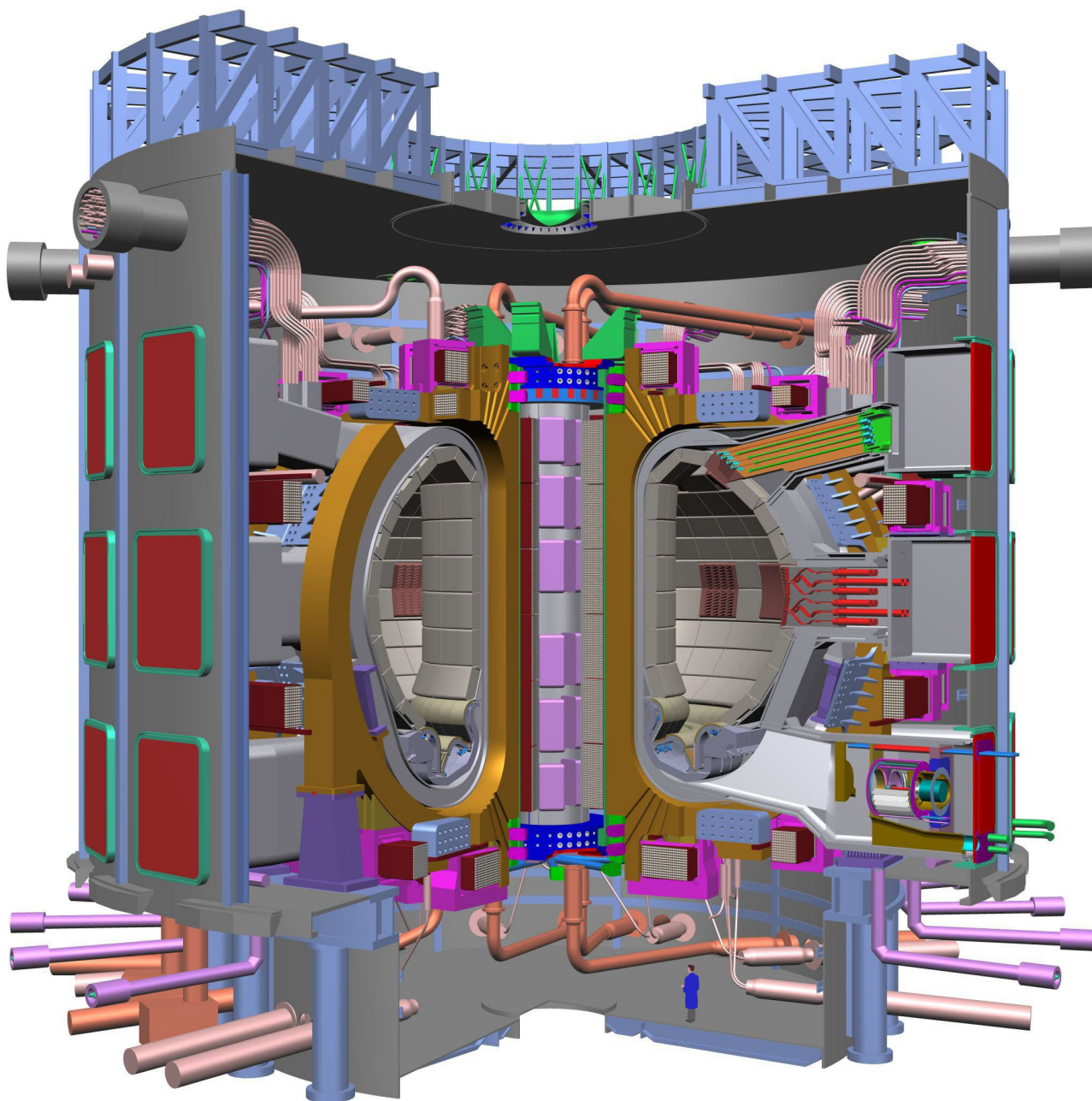


Figura 2. Schema in sezione del Reattore Termonucleare Sperimentale Internazionale (ITER), il più grande tokamak al mondo, la cui costruzione è iniziata nel 2013 e che dovrebbe entrare nella fase iniziale di funzionamento nel 2034/2035. Il progetto mira a dimostrare la fattibilità di un reattore a fusione funzionante e produrrà 500 megawatt di potenza. La figura umana in blu in basso serve da riferimento per la scala.

Box di Approfondimento: il plasma burning

Il plasma burning (o "burning plasma") è una condizione specifica e molto ambita nella fisica della fusione: è lo stato in cui il plasma si auto-sostiene dal punto di vista energetico.

Per iniziare la fusione, il plasma va riscaldato dall'esterno — con i girotroni, con riscaldamento a fasci di particelle, ecc. All'inizio, quindi, l'energia che tiene caldo il plasma viene fornita da sistemi esterni.

Ma la reazione di fusione stessa produce energia. Il nucleo di elio-4 prodotto (che resta "intrappolato" nel plasma, a differenza del neutrone che scappa via) porta con sé una parte di quell'energia (circa 3,5 MeV) sotto forma di energia cinetica, e questa energia va a scaldare ulteriormente il plasma circostante.

Quando la quantità di calore generato dalle particelle di elio prodotte dalla fusione diventa sufficiente a mantenere il plasma alla temperatura necessaria — senza più bisogno (o quasi) di riscaldamento esterno — si dice che il plasma sta "bruciando" (burning): si autoalimenta, un po' come una fiamma che, una volta accesa, si mantiene da sola finché c'è combustibile.

Raggiungere un plasma che "brucia" da solo è un passo intermedio fondamentale tra il semplice "abbiamo prodotto fusione per un istante" e "abbiamo una centrale che funziona in modo continuo". È anche collegato al concetto di Q di cui parleremo nel prosieguo: un plasma burning è tipicamente associato a valori di Q molto alti (idealmente tendenti all'infinito, il cosiddetto "ignition", quando il riscaldamento esterno non serve più del tutto).

Ma — come evidenziato in seguito a proposito di ITER — anche raggiungere il burning plasma non equivale ancora a un reattore commerciale: bisogna comunque considerare tutta l'energia consumata da magneti, criogenia, pompe e sistemi ausiliari (ovvero il cosiddetto "**engineering Q**"), non solo il bilancio energetico del plasma stesso.

Scheda 2. Il plasma burning.

La storia della fusione non è quindi una successione di fallimenti, ma una successione di problemi che vengono spostati da un livello scientifico a un livello ingegneristico superiore. Ed è precisamente questo che sta cambiando oggi.

3. Due paradigmi industriali a confronto

ITER: il paradigma scientifico tradizionale

ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) è un enorme progetto internazionale costruito nel sud della Francia e finanziato da una collaborazione fra grandi potenze industriali. Il suo scopo non è vendere elettricità: non è una centrale elettrica, ma una macchina sperimentale destinata a dimostrare che un plasma di fusione può raggiungere condizioni di burning plasma sufficientemente avanzate, con un obiettivo storico di $Q \approx 10$ (vedi Figura 2).

In termini semplificati, Q = energia prodotta dalla fusione / energia fornita al plasma. Un Q del plasma superiore a 1 non significa però che una centrale produca più elettricità di quanta ne consumi: è necessario considerare magneti, pompe, criogenia, riscaldamento, conversione energetica (power electronics), controllo, sistemi di vuoto, ciclo del combustibile e altri carichi ausiliari.

Box di Approfondimento: *picks and shovels*

“Picks and shovels” è un’espressione idiomatica inglese che metaforicamente allude a tutte le componenti integrate ed adiuvanti necessarie a sviluppare un progetto. Viene dalla corsa all’oro americana del XIX secolo. Molti cercatori d’oro finirono in rovina, ma chi vendeva loro gli strumenti — picconi, pale, setacci, stivali — faceva soldi in modo affidabile, indipendentemente da chi trovasse l’oro o meno. Il commerciante di attrezzi non doveva scommettere su quale cercatore avrebbe avuto successo: guadagnava comunque, perché tutti avevano bisogno dei suoi strumenti.

I principali picks and shovels per questo particolare settore sono:

- **Power electronics:** È il ramo dell’elettronica che si occupa della conversione e del controllo dell’energia elettrica — trasformatori statici, convertitori, inverter, sistemi che convertono corrente continua in alternata (o viceversa), regolano tensione e frequenza, e così via. Nel contesto della fusione nucleare, costituisce uno dei componenti tecnologici critici per le centrali a fusione: serve per gestire e convertire l’energia prodotta (o quella necessaria ad alimentare magneti, sistemi di riscaldamento del plasma, ecc.).
- **Gyrotron:** Il girotrone è un dispositivo che genera microonde ad altissima potenza e frequenza, usato per riscaldare il plasma nei reattori a confinamento magnetico (tokamak). Senza questo componente non si riesce a portare il plasma alle temperature di centinaia di milioni di gradi necessarie alla fusione.
- **Vacuum technology:** la tecnologia del vuoto (o “tecnologie da vuoto”) riguarda i sistemi che creano e mantengono il vuoto all’interno della camera dove avviene la fusione — pompe da vuoto, camere sigillate, componenti per l’ultra-alto vuoto. È essenziale perché il plasma deve essere isolato da qualsiasi contaminazione atmosferica.
- **Sistemi di fuel cycle:** il ciclo del combustibile si riferisce a tutto il sistema che gestisce il combustibile della reazione (deuterio e trizio) — estrazione, produzione (breeding del trizio tramite il litio), stoccaggio, purificazione e reimmissione nel reattore.

Scheda 3. La componentistica necessaria a costruire i reattori per la fusione nucleare.

ITER ha inoltre subito importanti ritardi: la nuova baseline prevede una fase iniziale di ricerca negli anni 2030 e l’inizio delle operazioni deuterio-trizio nel 2039. Ciò non significa che ITER sia un fallimento — significa che sta dimostrando quanto sia difficile trasformare la fisica della fusione in una macchina industriale. Ed è proprio questa difficoltà che ha creato lo spazio per il secondo paradigma.

Il paradigma delle startup private

Il modello delle startup fusion è radicalmente diverso: invece di costruire una macchina gigantesca per dimostrare scientificamente il principio, queste società cercano di ottimizzare contemporaneamente dimensione, costo, magneti, materiali, durata, manutenzione, conversione dell'energia, produzione industriale e tempi di costruzione.

La domanda non è “come possiamo costruire il più grande esperimento possibile”, ma “come possiamo costruire una centrale che possa essere replicata”. Questa differenza è fondamentale dal punto di vista dell'investitore: una tecnologia scientificamente superiore non è necessariamente quella economicamente vincente. Il vincitore sarà probabilmente chi riuscirà a combinare fisica del plasma, scienza dei materiali, produzione industriale, elettronica di potenza, ciclo del combustibile e project finance.

È importante correggere una lettura semplicistica: i principali attori non stanno giocando la stessa partita. ITER è soprattutto un programma scientifico internazionale; Helion, CFS e General Fusion sono società commerciali; STEP è un programma industriale nazionale. Questi progetti occupano punti diversi della curva di maturazione tecnologica. La vera competizione riguarda quale architettura tecnologica riuscirà per prima a diventare economicamente replicabile — non necessariamente chi produrrà il primo watt. La prossima sezione sarà dedicata a fornire qualche dettaglio in più su ciascuno di questi progetti.

4. I protagonisti industriali

Helion Energy — il caso più aggressivo

Helion utilizza una configurazione denominata Field-Reversed Configuration (FRC): il plasma viene prodotto in configurazioni compatte e successivamente compresso attraverso campi magnetici. A differenza del classico percorso fusione → calore → vapore → turbina → elettricità, Helion punta alla conversione diretta dell'energia del plasma in elettricità tramite induzione elettromagnetica — una caratteristica economicamente molto importante, perché potrebbe eliminare gran parte della complessità di una centrale termoelettrica convenzionale.

Il settimo prototipo, Polaris, è stato progettato proprio per dimostrare la conversione dell'energia di fusione in elettricità; il sistema può utilizzare D-D, D-T e D-He-3 e incorpora recupero induttivo diretto dell'energia. La società sta inoltre costruendo Orion nello Stato di Washington. Nel 2023 Helion ha firmato con Microsoft un PPA per 50 MW di elettricità da fusione, con inizio delle operazioni previsto nel 2028 — una caratteristica che rende Helion particolarmente interessante dal punto di vista finanziario: non sta semplicemente vendendo una tecnologia, sta cercando di vendere elettricità.

Un elemento di governance da monitorare: secondo il Financial Times, Helion è “notoriamente riservata” e restia a pubblicare risultati peer-reviewed, a differenza di General Fusion e TAE, più aperte nel condividere i propri dati (sia positivi che negativi). Il CEO David Kirtley giustifica la scelta come normale tutela della proprietà intellettuale, sostenendo che pubblicare articoli scientifici “sottrae tempo e risorse” al team. È un fattore di opacità specifico da tenere presente nel valutare il profilo di rischio della società rispetto ai concorrenti.

Una conferma indiretta, ma indipendente, arriva paradossalmente da un concorrente: Guo Houyang, fondatore della cinese NovaFusionX (che utilizza la stessa configurazione FRC), ha dichiarato che l'annuncio di Helion di febbraio 2026 — fusione raggiunta con plasma a 150 milioni di gradi Celsius — ha “pienamente confermato la validità scientifica, la fattibilità e il potenziale di commercializzazione” di questo specifico approccio tecnologico (Financial Times, settembre 2026). È un raro caso di validazione tecnica incrociata tra due società concorrenti su mercati diversi.

Box di Approfondimento: i tipi di fusione implementabili

Si possono ottenere combinando isotopi dell'idrogeno tra loro o con l'elio-3. Esistono sostanzialmente due tipi di elio:

- He4 (2 protoni + 2 neutroni) = il "prodotto di scarto" pulito e stabile di quasi tutte le reazioni di fusione (non radioattivo, non pericoloso)
- He3 (2 protoni + 1 neutrone) = un reagente raro e prezioso, usato nella reazione **D-He3** proprio perché produce pochissimi neutroni — un vantaggio enorme per i materiali del reattore, ma la sua scarsità è il motivo per cui questa via resta più teorica che industrialmente praticabile nel breve termine

La differenza è nel numero di neutroni contenuti nel nucleo. Entrambi sono isotopi dell'elio (quindi hanno sempre 2 protoni, il che li rende chimicamente elio), ma la loro composizione nucleare è diversa. In tutte le reazioni che illustriamo di seguito, il prodotto finale è sempre He4 — è il nucleo "stabile per eccellenza", quello a cui tendono quasi tutte le reazioni di fusione nell'universo (è anche il motivo per cui le stelle bruciano principalmente producendo elio-4, come scriveva Eddington nel 1926). L'He3 è raro sulla Terra perché si forma soprattutto tramite il decadimento del trizio ($T \rightarrow He3 + elettrone$, con un'emivita di circa 12 anni) o viene prodotto in reazioni nucleari — non esiste in quantità significative in natura sul nostro

pianeta. È invece relativamente più presente su corpi celesti come la Luna, dove si è accumulato nel tempo grazie al vento solare (le periodiche discussioni sul "mining lunare di elio-3" per l'energia da fusione sono più speculative che pratiche).

Ciò premesso diamo una sommaria descrizione dei tre tipi di fusione praticabili (o quasi):

1) D-T (deuterio-trizio)

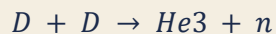
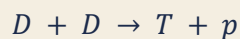
È la Equazione 1.

Vantaggi: è la reazione più "facile" da ottenere, perché richiede la temperatura più bassa rispetto alle altre (anche se comunque enorme, centinaia di milioni di gradi). È per questo la scelta di quasi tutti i progetti attuali, inclusi ITER, SPARC/ARC di CFS.

Svantaggi: il trizio è raro e radioattivo — da qui il problema del breeding tramite il blanket al litio di cui parlavamo prima. Inoltre libera un neutrone molto energetico, che danneggia i materiali del reattore nel tempo (il problema dei materiali costituisce uno degli ostacoli principali).

2) D-D (deuterio-deuterio)

Due nuclei di deuterio si fondono tra loro. Questa reazione ha in realtà due possibili esiti:



Dove p = protone ed n = neutrone.

Vantaggi: il deuterio è abbondante (si ricava dall'acqua marina) e non serve produrre trizio dall'esterno.

Svantaggio: richiede temperature più alte della **D-T** ed è meno efficiente — produce meno energia per reazione. Produce comunque neutroni.

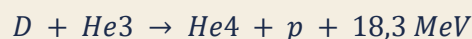
Abbiamo incontrato due tipi di elio:

- He4 = il "prodotto di scarto" pulito e stabile di quasi tutte le reazioni di fusione (non radioattivo, non pericoloso)
- He3 = un reagente raro e prezioso, usato nella reazione **D-He3** proprio perché produce pochissimi neutroni — un vantaggio enorme per i materiali del reattore, ma la sua scarsità è il motivo per cui questa via resta più teorica che industrialmente praticabile nel breve termine

La differenza è nel numero di neutroni contenuti nel nucleo. Entrambi sono isotopi dell'elio (quindi hanno sempre 2 protoni, il che li rende chimicamente elio), ma la loro composizione nucleare è diversa.

3) D-He3 (deuterio-elio-3)

La sequenza che produce è la seguente:



Vantaggi: quasi nessun neutrone prodotto (a differenza di **D-T** e **D-D**). Questo è molto interessante perché i neutroni sono il principale responsabile del danneggiamento dei materiali e dell'attivazione radioattiva delle strutture del reattore.

Svantaggi: richiede temperature molto più alte di **D-T** (è più difficile da innescare), e soprattutto l'elio-3 è estremamente raro sulla Terra — si trova più facilmente sulla Luna o in altri corpi celesti, quindi non è pensabile per un'industria su larga scala nel breve-medio termine.

Il settimo prototipo di Helion, Polaris, "può utilizzare **D-D**, **D-T** e **D-He3**": questo significa che la macchina è progettata per essere flessibile tra diversi combustibili. È una caratteristica interessante perché, nel breve termine, può operare con **D-T** o **D-D** (più praticabili oggi) ed in prospettiva più lontana potrebbe puntare verso **D-He3**, che produce pochi neutroni e quindi materiali più semplici, minore attivazione radioattiva e minore usura dei componenti.

È lo stesso principio dietro la scommessa di lungo termine di TAE Technologies sulla fusione protone-boro (p-B11): anche questa produce pochissimi neutroni, ma richiede condizioni ancora più estreme di **D-He3**.

Scheda 4. Tipi di fusione nucleare a confronto.

Il punto più delicato resta però valido nel 2026: raggiungere condizioni di fusione non equivale a produrre elettricità commerciale. La sequenza da dimostrare è la seguente: plasma caldo → confinamento → fusione → guadagno energetico → recupero dell'energia → funzionamento ripetuto → durata dei componenti → affidabilità → centrale → connessione alla rete — contiene, ad ogni passaggio, un potenziale punto di fallimento. Il 2028 è quindi una scadenza estremamente aggressiva: se rispettata, il vantaggio competitivo di Helion sarebbe enorme; se slittasse al 2030-2032 o oltre, ciò non significherebbe un fallimento tecnologico, ma richiederebbe un drastico ridimensionamento della valutazione. Il rischio, come tipico nelle deep-tech, non è binario: esiste una distribuzione di risultati intermedi.

Commonwealth Fusion Systems (CFS) — la strategia più credibile

CFS deriva dal mondo MIT e utilizza un tokamak, differenziandosi da ITER soprattutto per l'impiego di magneti ad alta temperatura superconduttrice (HTS) basati su REBCO. Un campo magnetico più elevato consente un plasma più confinato, una macchina più compatta, un volume minore e una potenziale riduzione del costo.

Box di Approfondimento: le terre rare — cosa c'entrano con la fusione?

Abbiamo parlato di terre rare e minerali strategici nel nostro [Approfondimento](#) del 20 luglio 2026. La loro importanza sta nella produzione di magneti permanenti. Come abbiamo detto un campo magnetico più elevato consente di mantenere un plasma più confinato che necessita quindi di macchine con volumi minori e quindi minori costi.

I magneti HTS/REBCO permettono di generare campi magnetici molto più intensi rispetto ai magneti superconduttori tradizionali usati in ITER, mantenendo dimensioni della macchina molto più ridotte. Questo è esattamente il motivo per cui CFS può puntare a costruire ARC (il suo reattore commerciale) molto più piccolo di ITER, pur puntando a prestazioni comparabili o superiori.

Gli **HTS** (*High Temperature Superconductor*) i superconduttori ad alta temperatura sono materiali che, se raffreddati sotto una certa temperatura critica, conducono elettricità con resistenza elettrica pari a zero — nessuna dispersione di energia, correnti elevatissime senza surriscaldamento. Il termine "alta temperatura" è un po' fuorviante: non significa "caldo" in senso assoluto, ma "meno freddo" rispetto ai superconduttori tradizionali. I superconduttori classici (a bassa temperatura, LTS) richiedono di essere raffreddati vicino allo zero assoluto con elio liquido (circa -269°C). Gli HTS invece diventano

superconduttori a temperature molto più alte — pur sempre gelide (tipicamente sotto i -180°C circa), ma raggiungibili con azoto liquido, molto più economico e semplice da gestire dell'elio liquido.

Il **REBCO** (*Rare-Earth Barium Copper Oxide*) è l'ossido di rame, bario e un elemento delle terre rare (spesso ittrio o gadolinio) è il materiale specifico con cui oggi si costruiscono i migliori nastri superconduttori HTS commercialmente disponibili.

In pratica il REBCO è un tipo di HTS che è la categoria generale di superconduttori; REBCO è il materiale specifico usato per realizzarli sotto forma di nastri sottili avvolgibili in bobine magnetiche. Uno dei produttori più qualificati di questo tipo di magneti è Fujikura (vedi Sezione 6).

Scheda 5. Le terre rare necessarie per il processo di fusione.

Il progetto SPARC rappresenta il passaggio sperimentale, ARC il progetto commerciale. Nel giugno 2026 CFS ha pubblicato cinque articoli peer-reviewed sulla fisica di ARC: secondo il modello della società, ARC dovrebbe produrre circa 1,1 GW di potenza di fusione e circa 400 MW di elettricità netta continuativa — una distinzione importante, perché CFS non parla soltanto di energia prodotta nel plasma, ma di energia netta destinata alla rete. ARC dovrebbe essere operativo nei primi anni 2030.

Nel 2026 CFS ha raccolto un ulteriore miliardo di dollari, portando il capitale complessivo a circa \$4 miliardi: un segnale che il mercato dei capitali sta iniziando a finanziare non solo la ricerca, ma la fase di industrializzazione.

Il Financial Times fornisce un dettaglio concreto su questo round: circa \$1 miliardo è arrivato da investitori che includono, non nominati esplicitamente, fondi pensione e fondi sovrani — la prima conferma pubblica e specifica che questo tipo di capitale “paziente” sta effettivamente entrando nel settore, non solo in teoria.

Eni — probabilmente il miglior modo indiretto per investire nella fusione

Eni è azionista strategico di CFS dal 2018 e nel settembre 2025 ha firmato un PPA superiore a \$1 miliardo per acquistare energia dall'impianto ARC. Ciò cambia la natura della relazione: Eni non è più soltanto un investitore finanziario, ma sta cercando di diventare parte della futura catena industriale della fusione, portando competenze che una startup di fisica del plasma non possiede necessariamente — project development, gestione di grandi impianti, procurement, sicurezza, supply chain, trattamento dei fluidi, fuel cycle, hydrogen technology, gestione di infrastrutture energetiche e project finance.

In particolare Eni ha sviluppato sicuramente le competenze per fornire i servizi che di seguito elenchiamo.

- **Procurement.** È la funzione aziendale che si occupa di acquistare tutti i beni, servizi, materiali ed equipaggiamenti di cui un'organizzazione ha bisogno per operare — dalla selezione dei fornitori, alla negoziazione dei contratti, fino alla gestione della qualità e dei tempi di consegna. Per un progetto industriale complesso (come costruire una centrale), il procurement significa gestire centinaia o migliaia di fornitori diversi: chi fornisce l'acciaio, chi i componenti elettronici, chi i sistemi di sicurezza, e assicurarsi che tutto arrivi nei tempi giusti, alla qualità richiesta e al prezzo concordato.
- **Project finance.** È una tecnica di finanziamento specifica, diversa dal modo “normale” in cui un'azienda si finanzia. Invece di indebitarsi con le proprie risorse generali (il proprio bilancio complessivo), si crea una società veicolo dedicata (una SPV, “*Special Purpose Vehicle*”) che esiste solo per costruire e gestire quel singolo progetto. Il finanziamento viene garantito principalmente dai flussi di cassa futuri che il progetto stesso genererà (per esempio, i ricavi dalla vendita di elettricità), non dal patrimonio generale della società madre. È la tecnica tipica usata per grandi infrastrutture: centrali elettriche, autostrade, oleodotti,

impianti eolici offshore — progetti molto costosi, a lungo termine, che richiedono capitali enormi ripagati nell'arco di decenni.

- **Hydrogen technology.** È l'insieme delle tecnologie legate alla produzione, stoccaggio, trasporto e utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico — cioè come mezzo per immagazzinare e trasportare energia, non come fonte di energia primaria in sé. Le componenti principali sono:
 - Produzione: soprattutto tramite elettrolisi (si scinde l'acqua in idrogeno e ossigeno usando elettricità) o tramite reforming del gas naturale. Se l'elettricità usata viene da fonti rinnovabili, si parla di "idrogeno verde" — un tema centrale nella transizione energetica.
 - Stoccaggio: l'idrogeno è un gas molto leggero e poco denso, quindi va compresso ad altissima pressione, liquefatto a temperature estremamente basse (circa -253°C), oppure legato chimicamente ad altri composti — tutte soluzioni tecnicamente complesse.
 - Trasporto: tramite gasdotti dedicati, autocisterne criogeniche o navi specializzate.
 - Utilizzo: come combustibile per celle a combustibile (fuel cell, che lo riconvertono in elettricità), per motori a combustione modificati, o come materia prima industriale (ad esempio nella produzione di acciaio "verde" o fertilizzanti).

La hydrogen technology condivide con il fuel-cycle problemi ingegneristici molto simili:

- l'idrogeno (e i suoi isotopi, deuterio e trizio) sono molecole piccole e sfuggenti, difficili da contenere senza perdite;
- richiedono sistemi di compressione, criogenia e materiali speciali per essere maneggiati in sicurezza;
- pongono problemi di "fragilizzazione" dei metalli (l'idrogeno può infiltrarsi nei materiali strutturali e renderli fragili nel tempo — un fenomeno chiamato "*hydrogen embrittlement*")

Una compagnia energetica come Eni, che ha già sviluppato competenze nella gestione dell'idrogeno per altri usi industriali (raffinazione, futuri progetti di idrogeno verde), possiede quindi già gran parte del know-how tecnico necessario per gestire il deuterio e il trizio nel ciclo del combustibile di una centrale a fusione — anche se si tratta di applicazioni diverse, i problemi ingegneristici di fondo (contenimento di gas leggeri, criogenia, materiali) si somigliano molto.

Il vero problema commerciale della fusione potrebbe infatti non essere più la fisica, ma il fuel cycle — proprio uno degli ambiti nei quali Eni sta costruendo competenze. Per un investitore europeo, Eni può quindi essere interpretata come una sorta di real option sulla fusione: se la fusione non dovesse funzionare, Eni rimane una grande società energetica diversificata; se diventasse industrialmente valida, Eni potrebbe possedere competenze e partecipazioni strategiche in una tecnologia potenzialmente trasformativa. Questa asimmetria è molto interessante.

General Fusion — la terza strada, ora quotata

General Fusion utilizza la Magnetized Target Fusion: il plasma viene compresso meccanicamente attraverso un sistema basato su una parete di litio liquido e pistoncini. Il vantaggio teorico è la possibilità di utilizzare componenti industriali relativamente convenzionali; lo svantaggio è la complessità della sincronizzazione meccanica e la difficoltà di ottenere simultaneamente temperatura, densità e confinamento sufficienti.

Nel giugno 2026 la società ha annunciato progressi con LM26, raggiungendo circa 8,4 milioni °C di temperatura elettronica — un risultato interessante ma ancora lontano dalle condizioni necessarie per una centrale D-T. "LM" sta per "Lithium wall Machine" (riferendosi alla parete di litio liquido usata nel design), mentre "26" indica probabilmente la generazione o versione del prototipo nella sequenza di sviluppo dell'azienda. La tecnologia si chiama *Magnetized Target Fusion* (MTF): il plasma viene compresso meccanicamente attraverso un sistema basato su una parete di litio liquido e dei pistoni. È un approccio ibrido, diverso sia dal confinamento magnetico puro (tokamak) sia dal confinamento inerziale puro (come al NIF – vedi Sezione 5):

- il plasma viene prima "magnetizzato" (parzialmente confinato con campi magnetici, per stabilizzarlo);
- poi viene compresso rapidamente e meccanicamente, tramite pistoni che comprimono la parete di litio liquido attorno al plasma;
- la compressione dovrebbe portare il plasma alle condizioni di temperatura e densità necessarie per la fusione

Il vantaggio teorico è la possibilità di usare componenti industriali relativamente convenzionali (pistoni, sistemi meccanici) invece di magneti superconduttori estremamente costosi e complessi. Lo svantaggio è la difficoltà di sincronizzare meccanicamente il tutto e ottenere simultaneamente temperatura, densità e confinamento sufficienti.

La vera svolta finanziaria è avvenuta nel luglio 2026: General Fusion è diventata la prima società pure-play della fusione quotata al Nasdaq (ticker GFUZ), entrando nel mercato con circa \$150 milioni di liquidità destinati a finanziare il programma LM26 fino alle milestone del 2028. Ciò rende GFUZ molto interessante, ma anche estremamente speculativa.

Un precedente utile per calibrare le attese: nel 2014 il fondatore Michel Laberge dichiarava l'obiettivo di vendere un prodotto commerciale entro il 2022; a gennaio 2026 il CEO Greg Twinney ha indicato agli investitori il 2035 come nuovo orizzonte per l'impianto commerciale — uno slittamento di oltre un decennio rispetto alla promessa originale (Financial Times, settembre 2026).

TAE Technologies — la scommessa proton-boro

TAE utilizza una configurazione Field-Reversed Configuration e punta nel lungo termine alla fusione proton-boro, che produce pochi neutroni rispetto alla D-T ma richiede condizioni molto più difficili da raggiungere. Nel 2025 TAE ha annunciato un accordo di fusione con Trump Media & Technology Group per un valore dichiarato superiore a \$6 miliardi; al settembre 2026 l'operazione non è ancora completata, con chiusura attesa entro fine anno.

Per l'investitore, ciò significa che il ticker DJT non può essere considerato un puro proxy della fusione: è un investimento ibrido che combina media, tecnologia, crypto/fintech, fusione e struttura societaria della transazione — con un rischio specifico enormemente superiore a quello di un investimento diretto in una società industriale.

Anche TAE mostra un pattern simile: nel 2010 l'azienda indicava il 2020 come traguardo per l'energia commerciale; oggi il sito della società parla di "primi anni 2030" (Financial Times, settembre 2026). Questi due casi — insieme al ritardo di ITER verso il 2039 — sono la miglior prova empirica disponibile a supporto dello Scenario 2 ("successo tecnico, ritardo economico") descritto più avanti: nel settore della fusione lo slittamento delle scadenze è la norma storica, non l'eccezione.

Regno Unito e STEP — la via industriale nazionale

Il progetto STEP (Spherical Tokamak for Energy Production) sarà costruito a West Burton, sul sito di una ex centrale a carbone. Il Regno Unito non vuole semplicemente costruire un reattore, ma creare una filiera industriale nazionale della fusione, con entrata in funzione prevista intorno al 2040. Nel 2026 il governo britannico ha assegnato importanti contratti industriali e portato il finanziamento della fase successiva di STEP a circa £1,3 miliardi.

È un progetto molto più lento rispetto a Helion, ma proprio questa caratteristica ne costituisce il vantaggio: STEP è meno esposto al rischio di una singola startup e più orientato alla costruzione di un ecosistema industriale. Per l'investitore, tuttavia, l'esposizione diretta è meno semplice: il valore economico della strategia britannica potrebbe emergere soprattutto attraverso i fornitori della supply chain.

Altri protagonisti: Pacific Fusion e Inertia Enterprises

Due nomi meno consolidati, ma emersi con forza nel 2026, meritano una menzione. Pacific Fusion è una startup fondata e finanziata da scienziati di alto profilo e investitori tecnologici (tra cui Eric Schmidt, ex CEO di Google); ad agosto 2026 ha avviato la costruzione di un sito sperimentale ad Albuquerque, nel Nuovo Messico, con l'obiettivo dichiarato di rappresentare un passo cruciale verso l'elettricità commerciale da fusione.

Inertia Enterprises punta invece a portare sul mercato la tecnologia a confinamento inerziale sviluppata al Lawrence Livermore National Laboratory (la stessa del NIF), rappresentando quindi una possibile via commerciale per un approccio finora rimasto nell'ambito della ricerca pubblica. Ha raccolto \$450 milioni nel suo primo round importante a febbraio 2026. Il CEO Jeff Lawson sostiene che, grazie a decenni di ricerca pubblica e \$30 miliardi di investimenti governativi statunitensi, la società non debba “risolvere un problema di fisica”, ma solo ingegnerizzare una tecnologia già dimostrata. È un'affermazione da prendere con cautela — lo stesso tipo di ottimismo dichiarato che, come visto sopra, ha già portato ad ampi slittamenti temporali in altre società del settore.

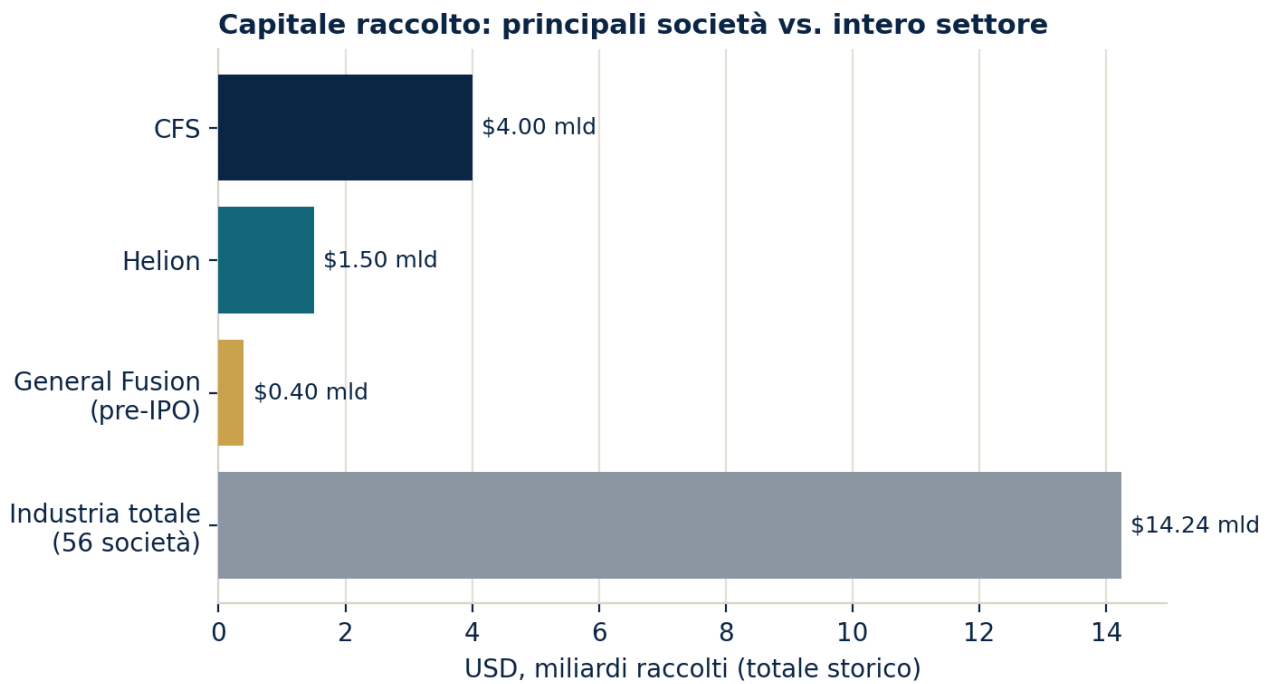
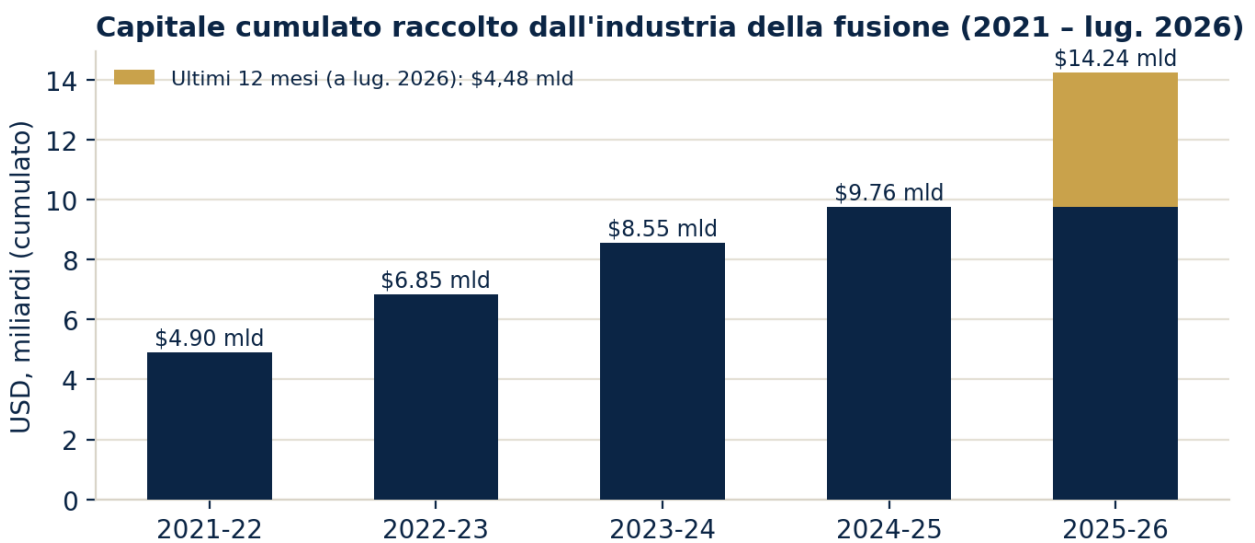


Figura 3. Capitale raccolto: principali società vs. intero settore (totale storico, USD miliardi). Fonte: Fusion Industry Association; comunicati societari.



Fonte: Fusion Industry Association, The Global Fusion Industry in 2026. Traiettorie annuali illustrative costruite sui due dati pubblicati (cumulato totale e ultimi 12 mesi).

Figura 4. Capitale cumulato raccolto dall'industria della fusione, 2021 – luglio 2026. Traiettorie annuali illustrative costruite sui due dati pubblicati dalla FIA (cumulato totale e ultimi 12 mesi); non rappresenta dati annuali ufficiali.

5. Il vero ostacolo: dal plasma all'elettricità netta

National Ignition Facility (NIF): un risultato storico, non una centrale

Il National Ignition Facility (NIF) è il più grande e potente impianto laser al mondo, situato al Lawrence Livermore National Laboratory, in California (Stati Uniti). Utilizza un approccio diverso dal tokamak: si chiama confinamento inerziale. Invece di confinare il plasma con campi magnetici per un tempo prolungato (come fanno ITER, CFS o STEP), il NIF fa l'opposto:

- concentra 192 fasci laser ad altissima potenza su un minuscolo bersaglio (target) contenente deuterio e trizio, grande quanto un grano di pepe;
- i laser colpiscono il bersaglio simultaneamente da tutte le direzioni, comprimendolo e riscaldandolo in una frazione di secondo estremamente breve
- la compressione è così rapida e intensa che il combustibile raggiunge le condizioni di fusione prima che possa disperdersi — da qui il termine "inerziale": si sfrutta l'inerzia della materia compressa, non un confinamento prolungato nel tempo

Nel dicembre 2022 il National Ignition Facility ha prodotto 3,15 MJ di energia da fusione a fronte di 2,05 MJ di energia laser consegnata al target: un risultato storico¹, ma non una centrale elettrica. Il risultato dimostra una forma di breakeven a livello del target, non un bilancio energetico positivo dell'intero impianto — una distinzione fondamentale per l'analisi degli investimenti.

Il Financial Times ha successivamente precisato il dato complessivo: il sistema di 192 laser ha richiesto circa 422 MJ di elettricità per funzionare — oltre 100 volte l'energia di fusione prodotta (3,15 MJ). È il numero che rende più tangibile la distinzione tra i vari tipi di Q descritta più avanti: un risultato scientificamente storico a livello di target, ma con un wall-plug Q ancora ampiamente negativo (Financial Times, settembre 2026).

Questo è il punto cruciale di questo esperimento (raffigurato nella Figura 5): quel risultato è un bilancio energetico positivo solo a livello del bersaglio stesso (target gain), non dell'intero impianto. Se si considera l'energia totale consumata da tutto il sistema — inclusa l'energia elettrica necessaria per generare quei 192 fasci laser, che è enormemente superiore ai 2,05 MJ consegnati al target — il bilancio energetico complessivo dell'impianto resta ampiamente negativo.

¹ Un traguardo scientifico chiamato spesso "ignition" (accensione).

Inertial confinement fusion

In 2022 the US National Ignition Facility in California used lasers to achieve fusion ignition, producing more energy from the reaction than the lasers delivered to the target. Its inertial confinement system consists of:

A gold cavity with openings at either end called a **hohlraum**

A **fuel capsule** at the hohlraum's centre

A layer of **deuterium-tritium fuel** within the capsule

How it works

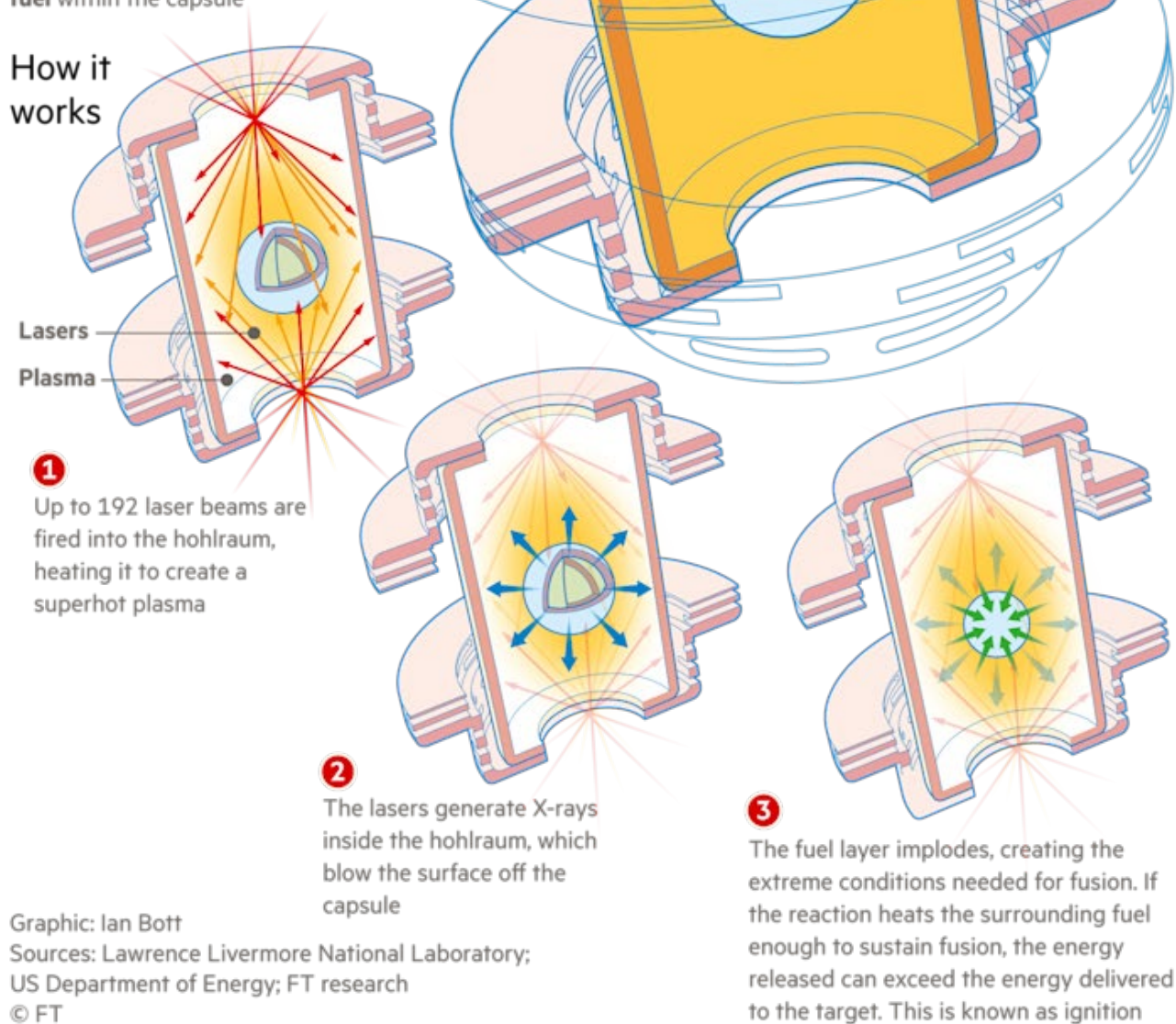


Figura 5. Esperimento condotto al NIF (2022).

Quando una società dichiara “abbiamo raggiunto $Q > 1$ ”, l'investitore deve sempre chiedersi: Q di cosa? Plasma Q , target gain, wall-plug Q , engineering Q e net electric Q sono grandezze molto diverse tra loro.

Box di Approfondimento: i diversi Q

Esistono cinque modi diversi di misurare il "guadagno energetico" di una reazione di fusione.

1. Plasma Q (o Q del plasma)

Rapporto tra l'energia prodotta dalla fusione all'interno del plasma e l'energia usata per riscaldare il plasma stesso. È la misura più "generosa": considera solo l'energia che entra ed esce dal plasma, ignorando tutto il resto dell'impianto (magneti, pompe, criogenia). È il tipo di Q a cui si riferisce, per esempio, l'obiettivo storico di ITER ($Q \approx 10$).

2. Target gain

È il concetto specifico del confinamento inerziale (il NIF, di cui parlavamo): rapporto tra l'energia di fusione prodotta e l'energia effettivamente depositata sul bersaglio (target) dai laser. È esattamente la misura che il NIF ha superato nel 2022 (3,15 MJ prodotti contro 2,05 MJ consegnati al target). Ma nota: considera solo l'energia "consegnata al target", non quella necessaria per generare i laser stessi.

3. Wall-plug Q

Qui si allarga lo sguardo: rapporto tra l'energia di fusione prodotta e tutta l'energia elettrica prelevata dalla presa di corrente ("wall plug", letteralmente "presa a muro") per far funzionare l'intero sistema di riscaldamento/laser. Per il NIF, questo numero è molto più basso del target gain, perché i laser sono estremamente inefficienti: serve moltissima energia elettrica per generare quei 2,05 MJ di energia laser.

4. Engineering Q

È il concetto dell'"engineering breakeven": si considera l'intero impianto, non solo il riscaldamento del plasma. È molto più vicino a un bilancio energetico realistico di una centrale, perché include tutti i sistemi ausiliari necessari a farla funzionare.

5. Net electric Q

La misura più severa e più rilevante dal punto di vista commerciale: rapporto tra l'elettricità netta immessa in rete e l'elettricità consumata dall'impianto per produrla. Qui si tiene conto anche delle perdite di conversione (trasformare il calore o l'energia del plasma in elettricità utilizzabile non è mai efficiente al 100%). È esattamente il numero che conta per sapere se una centrale a fusione è economicamente sensata: un valore maggiore di 1 non basta comunque a garantire che sia conveniente, ma è la soglia minima perché l'impianto abbia senso come fonte di energia.

Un'azienda può legittimamente annunciare " $Q > 1$ " riferendosi al *plasma Q* o al target gain — un risultato scientificamente vero e importante — mentre il suo *wall-plug Q* o il suo *net electric Q* restano ampiamente negativi. Non è disonestà: sono semplicemente misure diverse, che rispondono a domande diverse. Ma per valutare se una tecnologia si avvicina davvero alla commercializzazione, l'unica misura che conta davvero è l'ultima, il *net electric Q* — quella più difficile da raggiungere e quella su cui, ad oggi, nessun progetto ha ancora fornito una dimostrazione concreta su scala di centrale.

Scheda 6. I diversi concetti legati all'indicatore Q .

Engineering breakeven

Per una centrale commerciale, il concetto veramente importante è vicino al rapporto fra energia elettrica netta prodotta ed energia elettrica consumata dall'intero impianto. Questo richiede molto più di una reazione di fusione energeticamente positiva: la centrale deve alimentare magneti, criogenia, pompe, sistemi di vuoto, riscaldamento, diagnostica, elettronica, sistemi di controllo, fuel cycle, cooling e conversione energetica. È qui che probabilmente si giocherà la partita industriale.

Il problema del trizio

Il trizio è probabilmente uno dei principali “unknown unknowns” della fusione commerciale. Un reattore D-T lo consuma, ma il trizio disponibile oggi è estremamente limitato rispetto alle necessità di una futura industria. La soluzione prevista è il breeding: i neutroni prodotti dalla fusione interagiscono con il litio presente nel blanket ($n + \text{Li} \rightarrow \text{T} + \dots$), e il reattore dovrebbe quindi produrre il proprio combustibile.

Questo crea un requisito estremamente severo: il sistema deve produrre almeno tanto trizio quanto ne consuma, compensando inoltre decadimento, perdite, inventory, processing, manutenzione e tempi di recupero. La domanda diventa: il tritium breeding ratio è superiore a 1 non solo in teoria, ma in un sistema industriale reale?

Questo dubbio ci offre l’opportunità di un approfondimento. Secondo la famosa trilogia sugli stadi della conoscenza partorita da Donald Rumsfeld, ovvero:

- **Known knowns** — cose che sappiamo di sapere (es. sappiamo che il trizio decade con un'emivita di 12 anni);
- **Known unknowns** — cose che sappiamo di non sapere, e che possiamo quindi pianificare di scoprire (es. "non sappiamo ancora se il tritium breeding ratio supererà 1 in un impianto reale, ma sappiamo che è la domanda da testare");
- **Unknown unknowns** — problemi che non siamo nemmeno in grado di immaginare finché non li incontriamo, perché non abbiamo mai avuto un sistema reale abbastanza simile su cui osservarli;

il breeding del trizio si può senza tema di smentita far rientrare nella terza categoria perché non è mai stato dimostrato su scala industriale reale, in condizioni operative continue, per periodi lunghi. Tutti i test fatti finora sono stati:

- su piccola scala, in laboratorio;
- per tempi brevi;
- senza il carico neutronico cumulativo di anni di funzionamento continuo;
- senza dover gestire contemporaneamente tutte le variabili reali insieme (decadimento, perdite di processo, corrosione dei materiali del blanket nel tempo, invecchiamento dei componenti, manutenzione, inventory management)

Quando un sistema è così nuovo che nessuno ha mai potuto osservarlo funzionare a piena scala e per periodi prolungati, possono emergere interazioni impreviste tra fenomeni che, singolarmente, sono ben conosciuti, ma che nessuno ha mai visto combinarsi in quel modo specifico. Per esempio:

- il litio nel blanket, esposto per anni a flussi neutronici intensi, potrebbe degradarsi in modi non completamente previsti dai modelli attuali
- i materiali che contengono il litio potrebbero comportarsi diversamente da come previsto quando sottoposti simultaneamente a calore estremo, radiazione e stress meccanico per anni
- i processi di estrazione e purificazione del trizio, che in laboratorio funzionano su piccole quantità, potrebbero comportarsi in modo diverso quando scalati a volumi industriali

Nessuno di questi problemi è "sconosciuto" nel senso di essere ignoto in linea di principio — sono tutti fenomeni fisici e chimici comprensibili. Ma non sappiamo ancora quali di questi problemi si presenteranno davvero, in che combinazione, e con quale gravità, perché nessun impianto ha mai fatto funzionare un ciclo di breeding del trizio in condizioni realistiche per il tempo necessario a scoprirlo.

Questo è precisamente il motivo per cui la fusione va trattata come una scommessa ad alto rischio anche oltre ai problemi già identificati (materiali, manutenzione, costi): gli "unknown unknowns" non possono essere prezzati con precisione, perché per definizione non sono ancora stati scoperti. È una delle ragioni per cui una valutazione finanziaria tradizionale (tipo DCF) è quasi impossibile per queste società, ed è invece più sensato trattarle come una real option — dove il valore aumenta progressivamente solo man mano che ogni milestone tecnica viene superata e uno di questi "unknown unknowns" potenziali viene finalmente messo alla prova su scala reale.

I materiali e il bombardamento neutronico

La reazione D-T produce neutroni ad alta energia che colpiscono le strutture del reattore, causando danneggiamento del reticolo cristallino, embrittlement, attivazione, degrado termico e riduzione della vita utile.

L'embrittlement (o infragilimento) è il fenomeno per cui un materiale, normalmente resistente e duttile (cioè capace di deformarsi senza rompersi), diventa progressivamente fragile nel tempo — perde la capacità di assorbire stress e tende a rompersi in modo improvviso, anche sotto sollecitazioni che prima avrebbe sopportato senza problemi. Come avevamo visto parlando della reazione D-T, la fusione produce neutroni ad alta energia (quelli che si portano via l'80% dell'energia della reazione, circa 14,1 MeV). Quando questi neutroni colpiscono i materiali strutturali del reattore:

- spostano gli atomi dalla loro posizione originale nel reticolo cristallino del materiale, creando difetti microscopici (vacanze, dislocazioni)
- questi difetti si accumulano nel tempo, alterando la struttura interna del materiale a livello atomico
- il risultato è un materiale che, pur sembrando fisicamente identico all'esterno, è diventato più rigido e fragile — perde resilienza e può rompersi con sollecitazioni molto minori di quelle che sopportava da nuovo

È un problema ben noto anche nei reattori a fissione nucleare tradizionali, ma nella fusione D-T è potenzialmente più severo, perché i neutroni prodotti hanno un'energia molto più alta (14,1 MeV) rispetto a quelli tipici della fissione.

Se i materiali della prima parete si infragiliscono nel tempo, vanno sostituiti periodicamente — il che significa fermare l'impianto, gestire componenti diventati radioattivi (per attivazione neutronica), e sostenere costi di manutenzione significativi. È esattamente uno dei motivi per cui la "durata operativa" e la "manutenzione dei componenti" sono tra i problemi tecnici ancora irrisolti della fusione commerciale.

Il materiale della prima parete e del **divertor** deve quindi sopportare condizioni estremamente severe. Il divertor è un componente specifico dei tokamak (e di altre macchine a confinamento magnetico), posizionato tipicamente nella parte inferiore della camera del plasma. La sua funzione è gestire lo "scarico" del plasma reso necessario dalle sue imperfezioni; esso infatti contiene impurità (particelle che si staccano dalle pareti), e soprattutto produce continuamente "cenere" di elio (il prodotto della fusione D-T) che, se si accumulasse, diluirebbe il combustibile e raffredderebbe il plasma. Il divertor ha il compito di:

- deviare il plasma "di scarto" (le particelle più esterne, meno calde) verso una zona specifica della camera, separata dal cuore del plasma
- estrarre l'elio prodotto dalla fusione e le altre impurità, evitando che si accumulino
- assorbire buona parte del calore e del flusso di particelle che il plasma scarica verso le pareti

Questo lavoro rende il divertor il componente della camera che riceve il carico termico e di particelle più intenso di tutto il reattore — molto più della prima parete generale. Deve quindi sopportare temperature altissime concentrate su una superficie relativamente piccola, oltre al bombardamento neutronico e all'erosione causata dal contatto diretto con il plasma.

Il divertor è uno dei motivi per cui il tema dei materiali (uno degli ostacoli fondamentali all'industrializzazione del processo di fusione nucleare) è così critico: deve essere costruito con materiali capaci di sopportare simultaneamente calore estremo, erosione da particelle e bombardamento neutronico — spesso tungsteno o materiali compositi avanzati — e deve poter essere sostituito periodicamente senza fermare l'impianto per periodi troppo lunghi. È esattamente il tipo di problema ingegneristico "invisibile" (rispetto alla fisica del plasma) che può determinare se una centrale a fusione sia davvero economicamente sostenibile nel lungo periodo.

Questo ostacolo, tuttavia, rappresenta anche una grande opportunità d'investimento: se la fusione avrà successo, qualcuno dovrà necessariamente fornire acciai speciali, tungsteno, materiali compositi, superconduttori, ceramiche, sistemi di raffreddamento e componenti robotizzati — un classico esempio di modello "picks and shovels".

Mohamed Abdou, professore emerito di ingegneria meccanica e aerospaziale alla UCLA, offre una stima ancora più severa: con il livello tecnologico attualmente disponibile, i componenti della prima generazione di impianti esposti al plasma potrebbero guastarsi in media ogni 20 minuti, e la sostituzione di un singolo componente nel reattore richiederebbe "molti mesi". Anche un singolo guasto nella camera del plasma comporta l'arresto dell'intero reattore, un ulteriore argomento a favore di un'esposizione diversificata verso i fornitori di materiali piuttosto che verso un singolo progetto di reattore.

6. La supply chain potrebbe essere il vero investimento

La Fusion Industry Association ha evidenziato nel 2026 una crescita del 24% della spesa della supply chain fusion nel 2025: le società intervistate hanno speso circa \$538 milioni e prevedono circa \$681 milioni nel 2026. Il dato più interessante è che il 75% dei fornitori ha già investito per aumentare la propria capacità produttiva — segno che il mercato sta iniziando a prepararsi prima ancora che esista una centrale commerciale.

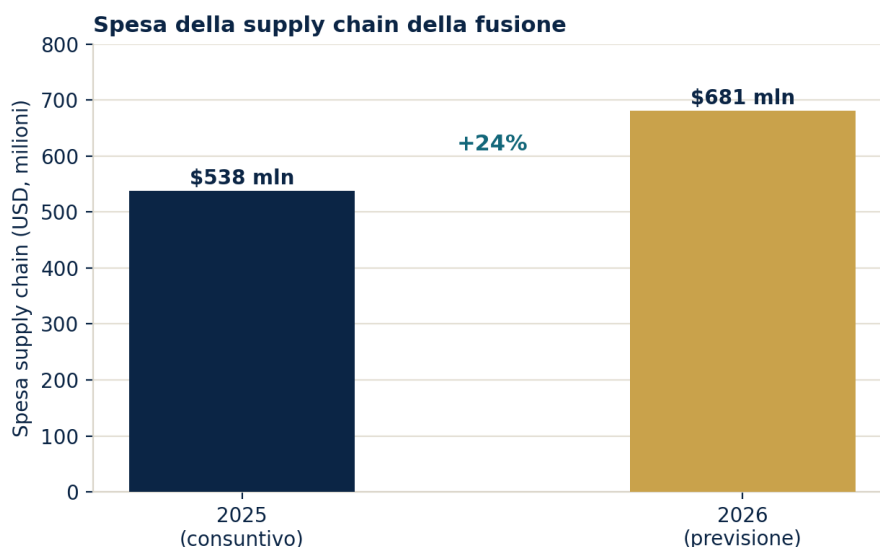


Figura 6. Spesa della supply chain della fusione, 2025 (consuntivo) vs. 2026 (previsione). Fonte: Fusion Industry Association, Fusion Industry Supply Chain 2026.

Le aree critiche comprendono power systems, heat management, vacuum, fuel cycle, first-wall materials e superconductors — esattamente il tipo di settore nel quale può essere interessante investire prima della commercializzazione finale.

Box di Approfondimento: la FIA

La [Fusion Industry Association](#) (FIA) è l'associazione di categoria che rappresenta l'industria privata della fusione a livello globale.

Struttura e fondazione

Fondata nel 2018 come organizzazione non profit indipendente per l'industria internazionale della fusione. Ha sede a Washington, D.C. Il CEO è Andrew Holland, che dal 2021 guida l'associazione come CEO fondatore, con oltre vent'anni di esperienza in ambito scientifico, energetico e politico. Conta 42 aziende del settore fusion come membri effettivi e oltre 100 membri affiliati, tra cui società di ingegneria, fornitori, utility, studi legali, organizzazioni cleantech e istituzioni accademiche.

È un'organizzazione associativa che sostiene gli sforzi per accelerare l'energia da fusione commerciale attraverso attività di advocacy (lobbying/rappresentanza) ed educazione. In pratica:

- fa da portavoce collettivo del settore verso governi, regolatori e media
- si impegna direttamente con i regolatori in modo trasparente, mentre questi definiscono una regolamentazione appropriata e commisurata al rischio per il settore
- promuove l'armonizzazione internazionale delle normative (come mostra, ad esempio, il suo impegno su partnership regolatorie tra Stati Uniti e Giappone)

- pubblica report periodici sullo stato dell'industria — tra cui proprio alcuni documenti citati in questo report: The Global Fusion Industry in 2026 e Fusion Industry Supply Chain 2026, con i dati su capitale raccolto, numero di società e spesa della supply chain utilizzati per i grafici

La FIA è probabilmente la fonte più autorevole e aggiornata sui dati aggregati del settore (capitale raccolto, numero di aziende, occupazione, spesa della filiera), proprio perché riunisce quasi tutte le principali aziende fusion del mondo come membri diretti — a differenza di singoli comunicati stampa aziendali, che raccontano solo la propria storia. È per questo che i tuoi dati chiave (i \$14,24 miliardi cumulati, le 56 società, i >16.000 addetti) provengono da loro: sono probabilmente il miglior censimento disponibile dell'intero settore, piuttosto che di una singola azienda.

Scheda 7. La Fusion Industry Association: strutturare e funzioni.

Il caso Fujikura

Fujikura, azienda giapponese produttrice di HTS wire, rappresenta un esempio particolarmente interessante: i magneti HTS sono un elemento tecnologico fondamentale per molte architetture di fusione magnetica. Nel 2026 Fujikura ha annunciato ulteriori investimenti per aumentare significativamente la capacità produttiva di HTS, oltre ad aver investito direttamente in CFS e in altre società fusion.

Questo crea una caratteristica finanziariamente molto interessante: Fujikura beneficia della crescita della fusione senza dipendere dal successo di un singolo reattore. Se Helion fallisse ma CFS avesse successo, Fujikura potrebbe beneficiarne; se CFS fallisse ma altri tokamak utilizzassero HTS, potrebbe comunque beneficiarne. Si tratta di un rischio molto più diversificato rispetto a un'esposizione diretta a una singola tecnologia.

7. AI e fusione: una nuova domanda strutturale

L'intelligenza artificiale sta aumentando rapidamente la domanda di elettricità. I data center richiedono energia continua, elevata densità, affidabilità e disponibilità 24/7 — caratteristiche che rendono teoricamente la fusione un complemento ideale alle rinnovabili intermittenti.

Il caso cinese offre già un numero concreto su questa dinamica: secondo le previsioni della società di consulenza Wood Mackenzie, i data center cinesi quadruplicheranno il proprio consumo elettrico, arrivando a 774 terawattora entro il 2030 — una crescita strutturale trainata dai carichi di lavoro legati all'intelligenza artificiale (Financial Times, settembre 2026).

Ciò non significa che i data center renderanno automaticamente la fusione economicamente valida, ma che il mercato potrebbe essere disposto a pagare un premio per energia stabile, pulita, disponibile e ad alta densità². Microsoft è già il primo esempio attraverso Helion; Google è entrata nella catena commerciale di CFS. Il tema AI non è quindi soltanto narrativo: può diventare un importante meccanismo di finanziamento della prima generazione di centrali.

² La Densità energetica significa la quantità di energia contenuta (o producibile) per unità di massa o di volume di un materiale o di un processo. Se consideriamo la reazione della Equazione 1 capiamo facilmente che l'energia liberata da una singola fusione di nuclei moltiplicata per il numero enorme di reazioni possibili in una piccola quantità di combustibile, si ottiene una quantità di energia sproporzionata rispetto al peso e al volume del materiale di partenza — molto più di qualunque reazione chimica (come la combustione) e più anche della fissione nucleare, a parità di massa.

8. Il framework di valutazione finanziaria

Oltre il Q fisico: l'economic Q

Nella Scheda 6 abbiamo approfondito i vari concetti di Q , ma ci siamo limitati al profilo ingegneristico, ovvero legato alla produzione di elettricità.

La prossima grande frontiera concettuale della fusione non sarà più semplicemente Q , ma l'economic Q , in forma estremamente semplificata: valore attuale dell'energia prodotta diviso costo totale del capitale e dell'operazione.

Una centrale potrebbe tecnicamente produrre energia netta e tuttavia essere economicamente inutile. Per essere competitiva dovrà offrire una combinazione favorevole di costo del capitale, costo operativo, availability³, capacity factor⁴, durata, costo del fuel cycle, costo di manutenzione, costo dei materiali e costo di sostituzione dei componenti. È proprio su questo punto che molti modelli finanziari delle startup fusion restano ancora estremamente incerti.

Il collegamento tra aspetto tecnico ed aspetto economico/finanziario è diretto e severo. Abbiamo parlato di divertor, embrittlement, bombardamento neutronico per spiegare che i componenti del reattore esposti al plasma si degradano fisicamente nel tempo e vanno sostituiti periodicamente. Ogni sostituzione richiede di:

- fermare l'impianto
- gestire componenti diventati radioattivi (per attivazione neutronica)
- eseguire operazioni di manutenzione spesso complesse su un ambiente estremo

Se questi interventi sono frequenti o richiedono molto tempo, l'availability crolla — l'impianto passa gran parte dell'anno fermo invece che a produrre elettricità vendibile. Il capitale investito per costruire una centrale a fusione è enorme (miliardi di dollari, come abbiamo visto per CFS, Helion), e quel capitale genera ricavi solo nelle ore in cui l'impianto è disponibile a produrre. Se l'availability è bassa:

- il tempo utile a "ripagare" l'investimento si riduce drasticamente
- il costo dell'elettricità prodotta (spalmato su meno ore di produzione) sale
- il ritorno economico complessivo dell'investimento peggiora, anche se la tecnologia "funziona" dal punto di vista fisico

È esattamente per questo che abbiamo introdotto metriche economiche come il capacity factor e la availability nella lista di variabili che determinano l'"economic Q ": un reattore può tecnicamente produrre energia netta ($Q > 1$ in senso fisico) e comunque essere un cattivo investimento, se passa metà del tempo fermo per sostituire

³ L'**availability** indica **per quale percentuale di tempo un impianto è tecnicamente in grado di funzionare** — cioè non è fermo per manutenzione programmata o guasti — indipendentemente da quanta energia produca effettivamente in quei momenti.

⁴ Il **capacity factor** è una misura chiave nel settore energetico: indica quanto un impianto produce effettivamente rispetto a quanto potrebbe produrre teoricamente se funzionasse sempre alla massima potenza, 24 ore su 24, 365 giorni l'anno. Differisce dal concetto di **availability** perché un impianto può avere alta availability (è quasi sempre pronto a funzionare) ma comunque un capacity factor più basso, se ad esempio funziona spesso a potenza ridotta invece che al massimo. Per una centrale nucleare (fissione o, in prospettiva, fusione), però, i due valori tendono a essere abbastanza vicini, perché una volta accesa una centrale nucleare gira quasi sempre a piena potenza — quindi il fattore principale che li fa scendere entrambi è proprio il tempo di fermo per manutenzione.

componenti danneggiati dai neutroni. È uno dei motivi per cui lo scenario n. 2 della ("successo tecnico, ritardo economico") viene indicato come il più realistico: anche risolvendo i problemi di fisica del plasma, restano da risolvere questi problemi di ingegneria operativa che incidono direttamente sui numeri economici.

Un primo benchmark concreto: il costo per MWh

Le società fusion evitano in genere previsioni ferme sul costo della propria elettricità, ma alcuni benchmark pubblici permettono un primo confronto indicativo con le fonti concorrenti (dati tratti dalla Nuclear Energy Agency):

Fonte	Costo stimato	Nota
General Fusion (fusione)	\$64–\$73/MWh	Costo lifetime stimato dalla società
Commonwealth Fusion Systems (fusione)	~\$50/MWh	Target dichiarato come indicativo, non garantito
Nuovo nucleare a fissione	~\$71/MWh	Dato Nuclear Energy Agency
Solare fotovoltaico (utility-scale)	~\$38/MWh	Dato Nuclear Energy Agency

Tabella 1. Costo di produzione di un MWh: confronto tra diverse tecnologie innovative di produzione.

Un secondo dato, ancora più rilevante per il concetto di net electric Q discusso sopra, emerge da un paper peer-reviewed di Adam Jackson, ex ingegnere di General Fusion: analizzando un progetto concettuale di impianto pubblicato dalla società nel 2023, lo studio stima che solo circa il 40% dell'elettricità generata sarebbe effettivamente disponibile per la vendita alla rete — il resto viene riassorbito dal fabbisogno energetico dell'impianto stesso. Questo significa che, a parità di elettricità netta consegnata alla rete, un impianto a fusione dovrebbe generare più del doppio dell'elettricità di una centrale termica convenzionale — un moltiplicatore che pesa direttamente sui costi di capitale e quindi sul \$/MWh finale.

Valutare la fusione come real option

Valutare una società fusion con un normale DCF è quasi impossibile: i ricavi futuri sono pari a zero oggi, possibili fra 5-15 anni e potenzialmente enormi dopo la commercializzazione — ma con una probabilità di successo incerta. La valutazione dovrebbe quindi essere trattata come una real option:

$$\text{Valore} \approx (\text{probabilità di successo} \times \text{valore industriale futuro}) - \text{capitale necessario per il prossimo milestone}$$

Questo cambia completamente il modo di investire: il valore aumenta enormemente quando una società supera milestone tecniche verificabili, che abbiamo già precedentemente discusso e che riportiamo come elencazione di seguito:

1. Plasma
2. Sustained plasma⁵
3. $Q > 1$
4. Engineering breakeven
5. Net electricity
6. Operatività continua ed alta availability dell'impianto

⁵ È sostanzialmente un plasma che a rimanere nelle condizioni necessarie alla fusione per un periodo di tempo prolungato, invece di esistere solo per un istante fugace.

7. Prima centrale commerciale e replicabilità

Il prezzo dell'azione o della società dovrebbe essere analizzato in funzione del superamento (o meno) di queste milestone.

L'ultima milestone è ovviamente quella più importante per valutare seriamente questo settore come un investimento. Le precedenti milestone sono valide anche a livello di prototipo; l'ultima (punto 7) richiede che la prima centrale progettata non per fare ricerca, ma per vendere elettricità sul mercato, venga costruita e messa in funzione in modo continuativo e a condizioni economicamente sostenibili (o quantomeno con l'obiettivo dichiarato di esserlo). La prima centrale commerciale è pensata fin dall'inizio per:

- essere collegata alla rete elettrica in modo permanente
- vendere elettricità a un cliente (utility, hyperscaler, industria) tramite un contratto reale (come i PPA di cui parlavamo per Helion e CFS)
- generare ricavi che, nel tempo, permettano di ripagare l'investimento

Abbiamo già fornito alcuni esempi concreti: Polaris/Orion di Helion (con l'obiettivo dichiarato del 2028), ARC di CFS (primi anni 2030), o STEP nel Regno Unito (intorno al 2040) puntano tutti a essere, se avranno successo, questa prima centrale commerciale.

Il passaggio successivo, il vero banco di prova finale della fusione come industria: dimostrare che quella prima centrale non è un caso isolato, un pezzo unico costruito con costi e tempi straordinari, ma che può essere costruita di nuovo, più volte, a costi decrescenti e in tempi ragionevoli. C'è una differenza enorme tra costruire una macchina che funziona (anche a costi altissimi, con team di ingegneri dedicati, con margini di errore quasi nulli) e costruire una flotta di centrali replicabili, con una filiera industriale, una supply chain matura, processi di produzione standardizzati e costi che scendono nel tempo (la classica "curva di apprendimento" industriale). È esattamente il motivo per cui l'intera sezione sulla supply chain (magneti HTS, materiali, power electronics, fuel cycle) è così importante per l'investitore: la replicabilità non dipende solo dalla società che ha costruito il primo reattore, ma da un intero ecosistema industriale che deve essere pronto a fornire, in serie, tutti i componenti necessari a costruire la decima, la centesima, la millesima centrale — a costi via via più bassi. Una società che raggiunge "first commercial plant" ma non riesce a dimostrare "replication" rischia di restare, di fatto, una società che ha costruito un pezzo unico straordinariamente costoso — validando la tecnologia ma senza creare un vero business scalabile. È solo quando la replicabilità viene dimostrata che il valore della società può davvero riflettere il potenziale di un intero mercato, e non solo il valore (per quanto storico) di un singolo impianto.

Il problema della valutazione: un esempio numerico

Supponiamo, in modo puramente concettuale, quattro scenari per una società fusion pre-commerciale:

Scenario	Descrizione	Valore potenziale (indice)
A	Successo commerciale	100
B	Tecnologia funzionante, ritardo di 5 anni	40
C	Tecnologia funzionante, economics non competitivi	10
D	Fallimento	0

Tabella 2. Esempio illustrativo (non previsionale) di distribuzione di scenari per una startup fusion pre-commerciale.

Il prezzo corretto non è il valore dello scenario A, ma la sommatoria ponderata per le probabilità ($P = \sum p_i \times V_i$) meno il capitale necessario per arrivare ai prossimi milestone. È il motivo per cui le valutazioni delle startup fusion devono essere trattate come valutazioni di venture capital, non come DCF convenzionali.

La variabile più importante: il capitale

La fusione è una tecnologia capital intensive: CFS ha raccolto circa \$4 miliardi, Helion \$1,5 miliardi, General Fusion oltre \$400 milioni prima della quotazione — numeri non necessariamente sufficienti per costruire una flotta di centrali. Il vero rischio dell'investitore non è quindi soltanto “se la tecnologia funzioni”, ma anche “se la società avrà abbastanza capitale per arrivare al momento in cui la tecnologia funzionerà”. Una tecnologia può essere valida e la società può comunque fallire per mancanza di capitale.

9. Analisi SWOT

SWOT della fusione nucleare (settore)

PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
- Densità energetica estremamente elevata - Emissioni operative molto basse (nessuna CO₂ durante la reazione) - Combustibile potenzialmente abbondante (deuterio dall'acqua marina) - Sicurezza intrinseca rispetto alla fissione - Poteniale baseload⁶, a differenza di solare/eolico - Possibilità di industrializzazione globale una volta risolto il problema tecnologico	- Tecnologia non ancora commercialmente dimostrata - Capex potenzialmente enorme per i primi impianti - Fuel cycle complesso (il trizio è un problema strutturale) - Materiali: il bombardamento neutronico riduce la vita dei componenti - Manutenzione: possibili sostituzioni frequenti dei componenti esposti al plasma - Disponibilità: produrre energia per pochi secondi ≠ produrla 24/7
OPPORTUNITÀ	MINACCE
- AI e data center: domanda crescente di energia stabile e pulita - Decarbonizzazione industriale (acciaio, alluminio, chimica, cemento) - Energy security: minore dipendenza da combustibili fossili importati - Nuova supply chain: HTS, materiali avanzati, power electronics, cryogenics, fuel cycle - Geopolitica: vantaggio industriale per il primo Paese con tecnologia competitiva - AI-assisted engineering: simulazione e ML per ridurre tempi e costi di R&D	- Metodi alternativi: solare+batterie, advanced fission⁷, geotermico, storage - Ritardi: un rinvio di 5 anni può avere impatto enorme sul valore attuale - Sforamento dei costi preventivati, come tipico nei grandi progetti nucleari - Regolamentazione: licensing e grid connection come colli di bottiglia - Supply chain: materiali e componenti specializzati potenzialmente scarsi - Funding risk: necessità di capitale per molti anni prima dei ricavi “Theranos moment”: alcuni investitori ed esperti citati dal Financial Times temono che promesse eccessive sui tempi e sui costi possano danneggiare la credibilità dell'intero settore, con un parallelo esplicito alla vicenda Theranos (settembre 2026)

SWOT comparata: i principali pure-play (attori della fusione nucleare)

⁶ Il **baseload** (carico di base) indica il livello minimo e costante di domanda elettrica che una rete deve soddisfare in ogni momento, 24 ore su 24 — e, per estensione, indica anche le fonti di energia capaci di fornire quella produzione costante e continua, indipendentemente dall'ora del giorno o dalle condizioni meteo.

⁷ Con **advanced fission** intendiamo sostanzialmente *Small Modular Reactor* (SMR) di cui abbiamo parlato nel nostro [Approfondimento](#) del 8 agosto 2025.

	Helion	Commonwealth Fusion Systems	General Fusion
Punti di forza	FRC compatta; conversione diretta dell'energia; PPA con Microsoft; ~\$1,5 mld raccolti; valutazione ~\$15,5 mld; Orion in costruzione	Tokamak consolidato + HTS/REBCO; SPARC/ARC; 5 paper peer-reviewed 2026; ~\$4 mld raccolti; PPA con Eni; accordo con Google	>20 anni di R&D; approccio ingegneristico originale (LM26); capitale pubblico; prima pure-play quotata
Punti di debolezza	Tecnologia non ancora dimostrata commercialmente; execution risk elevato; tempi molto aggressivi; fuel cycle da dimostrare	Grande fabbisogno di capitale; complessità del tokamak; fuel cycle e materiali; commercializzazione ancora pluriennale	Tecnologia distante dalla commercializzazione; capitale molto inferiore a CFS/Helion; risultati preliminari; elevata volatilità del titolo
Opportunità	Se Orion funzionasse, vantaggio first-mover enorme; Microsoft potrebbe essere il primo di molti hyperscaler	Potrebbe diventare il “Tesla” della prima generazione di centrali fusion se SPARC confermasse le attese	Se LM26 validasse la Magnetized Target Fusion, GFUZ potrebbe diventare uno dei titoli più esplosivi del settore
Minacce	Un rinvio non distruggerebbe la tecnologia ma ridurrebbe drasticamente il valore finanziario attribuito	Helion potrebbe arrivare prima; altre architetture più economiche; rischio di sfioramento dei costi su ARC	Quotazione pubblica come potenziale svantaggio; rischio di nuovi aumenti di capitale ben prima della commercializzazione

10. Classifica tecnologica e universo investibile

La valutazione qualitativa, a settembre 2026, è la seguente. Questa tabella non deve essere interpretata come una classifica di “chi vincerà”: rappresenta piuttosto il rapporto fra maturità tecnologica e optionality.

Società/progetto	Tecnologia	Maturità	Capitale	Rischio	Potenziale
CFS / ARC	Tokamak + HTS	Alta	Molto alto	Alto	Molto alto
Helion	FRC	Media/alta	Alto	Molto alto	Estremo
TAE	FRC / advanced fuel	Media	Alto	Molto alto	Estremo
General Fusion	MTF	Media	Medio	Estremo	Molto alto
STEP	Spherical tokamak	Media	Pubblico	Alto	Alto
ITER	Tokamak	Molto alta (scientifico)	Pubblico internazionale	Basso scientifico / alto economico	Strategico
First Light	Inertial/hybrid	Media	Medio	Molto alto	Molto alto

Tabella 3. Classifica tecnologica d'investimento, valutazione qualitativa dell'autore a settembre 2026.

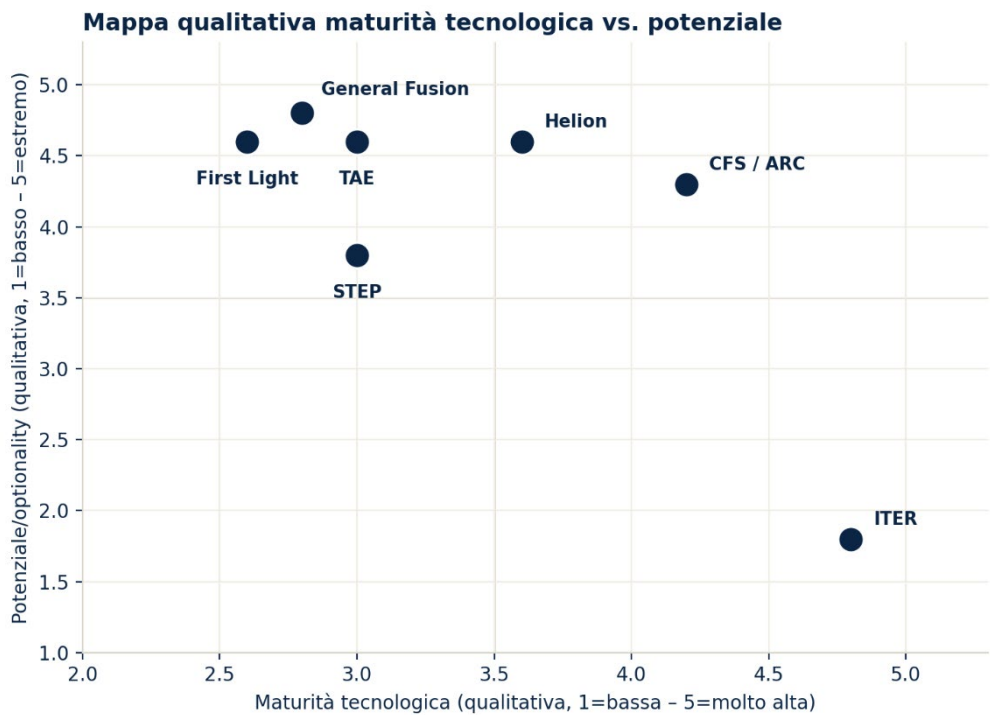


Figura 7. Mappa qualitativa maturità tecnologica vs. potenziale/optionality, posizionamento indicativo derivato dalla Tabella 2.

L'universo pubblicamente investibile

Il problema per l'investitore è che la maggior parte dei leader della fusione non è quotata, producendo una situazione paradossale: la tecnologia più interessante è prevalentemente privata. L'universo pubblico è costituito da società con esposizione indiretta oppure da società appena quotate.

Esposizione	Ticker	Nota
General Fusion (diretta)	Nasdaq: GFUZ	Caso più puro di fusione quotata, ma anche uno degli investimenti più speculativi: va trattato quasi come una venture investment quotata.
TAE (indiretta)	Nasdaq: DJT	Potenziale proxy pubblico di TAE se l'operazione con Trump Media si completasse; non va trattato come pure-play fusion, essendo un investimento ibrido e complesso.
Eni (strategica)	—	Esposizione diretta a CFS, PPA, competenze energetiche e fuel-cycle, capacità industriale: rischio fusion diluito in un gruppo molto più grande.
Fujikura (supply chain)	—	Esposizione agli HTS: non conta quale società vincerà, ma quanto crescerà la domanda di superconduttori; forma di optionality più diversificata.

Tabella 4. Alcuni esempi di investimenti che si potrebbero fare nel settore della fusione nucleare. Il contenuto di questa tabella non va considerato come proposta o consulenza di investimento, ma solo come esemplificazione. Infatti la scelta è stata determinata proprio per esemplificare le differenze di rischio rendimento di diversi approcci come l'investimento diretto o indiretto o sul “picks and shovels”.

11. Strategia di portafoglio: la barbell strategy

In un settore a così alto rischio adottare un approccio prudentiale ci sembra quasi d'obbligo. Il modo migliore per diversificare questo enorme rischio è un'esposizione "distribuita e bilanciata" (*barbell strategy*) alla fusione: evitare di concentrare tutto su una singola tecnologia costruendo il portafoglio come un bilanciante da palestra: pesi concentrati alle due estremità, quasi nulla al centro.

Il concetto di base è il seguente: invece di distribuire il capitale in modo uniforme lungo tutto lo spettro di rischio (dal molto sicuro al molto rischioso), si concentra l'investimento su due estremi opposti:

- da un lato, posizioni molto sicure/conservative
- dall'altro, posizioni molto rischiose ma ad altissimo potenziale

evitando deliberatamente la "zona di mezzo" — investimenti a rischio/rendimento moderato, che in teoria offrono un compromesso, ma che in pratica non danno né la sicurezza degli estremi bassi né l'esplosività degli estremi alti. L'idea, resa famosa soprattutto da Nassim Taleb, è che:

- la parte "sicura" del portafoglio protegge il capitale e garantisce che, nel peggiore dei casi, non si perda tutto
- la parte "rischiosa" offre esposizione a eventi rari ma potenzialmente enormi (i cosiddetti "cigni neri" positivi) — dove anche una piccola quota di capitale, se l'evento si verifica, può generare un rendimento sproporzionato

Il "centro" viene evitato perché spesso è la zona più ingannevole: sembra bilanciato, ma in realtà espone a rischi non completamente compresi senza offrire un vero potenziale di upside eccezionale.

Lavorando su quattro livelli riportati dalla Tabella 4,

Livello	Descrizione	Esempi	Profilo di rischio
1 — Core	Società energetiche diversificate con esposizione strategica	Eni	Moderato
2 — Picks & shovels	Produttori di HTS, materiali, power electronics, cryogenics, vacuum, componentistica	Fujikura e altri fornitori	Medio-alto, diversificato
3 — Fusion pure-play	Reactor developer, per lo più privati (VC, PE, secondary, fondi specializzati)	Helion, CFS, TAE, General Fusion	Molto alto
4 — Public venture bet	Posizione venture quotata, estremamente speculativa	GFUZ	Estremo

Tabella 5. Struttura a quattro livelli per un'esposizione professionale alla fusione (*barbell strategy*).

invece di investire una somma "media" in una via di mezzo (ad esempio, un'azienda energetica generica con vaga esposizione alla fusione, né abbastanza sicura né abbastanza esplosiva), una valida soluzione è — a nostro avviso — combinare il "core" solido (Eni) con piccole posizioni ad altissimo rischio/rendimento (le pure-play), evitando posizioni intermedie che non offrirebbero né vera protezione né vero potenziale.

La fusione è l'esempio da manuale per applicare questa strategia: è un settore dove la probabilità di fallimento totale di una singola società è alta, ma dove il potenziale payoff in caso di successo è enorme (un mercato energetico globale da trilioni di dollari). In un contesto così, mettere "tutte le uova" in una posizione di rischio intermedio sarebbe probabilmente la scelta peggiore: si prenderebbe comunque un rischio tecnologico significativo senza guadagnare l'upside esplosivo che giustifica quel rischio.

Per un investitore europeo professionale (ma anche istituzionale), la gerarchia indicativa è la seguente:

- 1. Eni — esposizione strategica diversificata
- 2. Fujikura e altri fornitori HTS/materiali — picks and shovels
- 3. CFS — probabilmente il miglior profilo tecnologico, ma non quotato
- 4. Helion — maggiore optionality e maggiore rischio tecnologico
- 5. TAE — grande potenziale ma complessa esposizione societaria
- 6. General Fusion / GFUZ — venture capital quotato
- 7. ITER/STEP — fondamentale dal punto di vista industriale, meno direttamente investibile

a meno che l'investitore non sia una di queste target (come ad esempio Eni e la sua partnership con CFS).

Perché evitare un investimento unico in GFUZ

Il fatto che General Fusion sia la prima società fusion quotata è importante dal punto di vista storico, ma non significa che sia il miglior investimento. La capitalizzazione di una società fusion pre-commerciale incorpora una distribuzione di scenari estremamente ampia (si veda la Tabella 5), e il prezzo corretto non è il valore del solo scenario migliore, bensì la sommatoria ponderata per le probabilità, al netto del capitale necessario per i prossimi milestone.

12. Il nuovo ruolo dello Stato e il 2026 come punto di svolta

Il settore sta diventando una partnership pubblico-privata. Gli Stati finanziano laboratori, materiali, infrastrutture, supply chain, regolamentazione⁸, formazione e ricerca; le startup finanziano prototipi, engineering, commercializzazione, IP e manufacturing. Questo modello ricorda più l'industria aerospaziale che il venture capital software, ed è importante per la valutazione: la probabilità di successo tecnologico non dipende più soltanto dal capitale privato, ma anche dalla volontà dello Stato di costruire l'infrastruttura necessaria.

Il 2026 è probabilmente il primo anno nel quale è ragionevole parlare della fusione come di un'industria nascente — non perché sia stata commercializzata, ma perché sono comparsi contemporaneamente capitali miliardari, clienti industriali, PPA, impianti prototipali, supply chain, aziende quotate, roadmap governative, regolamentazione specifica, investimenti dei grandi gruppi energetici e domanda potenziale degli hyperscaler.

Il DOE (il Ministero dell'Energia) statunitense ha pubblicato nel giugno 2026 una roadmap esplicitamente orientata alla realizzazione di fusion pilot plants nella metà degli anni 2030 — un cambiamento qualitativo rispetto alla tradizionale ricerca pubblica sulla fusione.

La domanda decisiva del prossimo decennio non sarà “quale società raggiungerà per prima la fusione”, ma “quale società riuscirà a costruire la prima centrale che possa essere replicata a costi competitivi”. Una macchina può funzionare una volta; una centrale deve funzionare 24 ore al giorno, 365 giorni all'anno, per decenni — e deve poter essere costruita più volte. Il vero test sarà quindi la replicabilità industriale.

13. Il fattore Cina

Il report, finora, ha descritto la fusione quasi esclusivamente attraverso il prisma di Stati Uniti, Regno Unito ed Europa. È una lettura incompleta: la Cina sta emergendo come un attore di primo piano nell'intero comparto nucleare, fusione inclusa, e lo sta facendo con una combinazione di scala industriale, pianificazione statale centralizzata e capitale che non ha equivalenti diretti altrove.

Il quadro macro è netto: delle 58 nuove centrali nucleari convenzionali attualmente in costruzione nel mondo, oltre la metà si trova in Cina, che sta investendo pesantemente anche in una nuova classe di small modular reactor (SMR), mentre riversa risorse di ricerca e sviluppo verso quello che l'articolo definisce il “santo graal” dell'energia: la fusione nucleare. Con i costi e le preoccupazioni ambientali che rallentano lo sviluppo nucleare in gran parte del resto del mondo, la competitività industriale cinese apre uno spazio concreto per dominare un'altra industria del futuro.

Il segnale più rilevante per un investitore è probabilmente politico-industriale, non finanziario: la fusione nucleare è una delle otto aree tecnologiche indicate come prioritarie nell'ultimo piano quinquennale di sviluppo economico del Partito Comunista Cinese. Secondo una ricerca dello Special Competitive Studies Project, un think-tank statunitense, la Cina avrebbe già mobilitato circa tre volte il capitale investito in progetti fusion “rilevanti ai fini della commercializzazione” rispetto a quanto avvenuto nei progetti paragonabili sostenuti dal Dipartimento dell'Energia statunitense.

⁸ La regolamentazione è uno dei tasselli fondamentali per creare una industria matura: pensiamo ai recenti casi delle valute crittografiche e l'intelligenza artificiale.

Damien Ma, ricercatore non residente del centro studi Gavekal con sede a Pechino, sostiene che la Cina avrà “l'industria nucleare più dinamica e significativa al mondo” nel prossimo decennio, “con un ampio margine”. A suo avviso, un'espansione sostenuta negli Stati Uniti si scontra con vincoli di intensità di capitale e ostacoli regolatori, mentre la Cina punta a rafforzare una filiera industriale già “formidabile”, trasformare il proprio know-how interno in un'industria orientata all'esportazione e raggiungere il “santo graal” dell'energia pulita rappresentato dalla fusione. Questa dinamica si inserisce peraltro in un contesto di crescente tensione tra Stati Uniti e Cina, inclusi ampi controlli statunitensi sulle vendite di tecnologia al Paese — un tema che rende la traiettoria della fusione cinese rilevante anche dal punto di vista geopolitico, oltre che industriale, e che rafforza il punto già presente nella SWOT di questo report riguardo al vantaggio industriale per il primo Paese con tecnologia competitiva.

NovaFusionX e Junhe Atomic: i player privati cinesi

Accanto ai grandi gruppi statali, anche in Cina sta emergendo un ecosistema di società private, spesso con legami con fondi statali e istituti di ricerca pubblici, che cercano di sviluppare nuove tecnologie nucleari e di fusione.

NovaFusionX, con sede alla periferia orientale di Shanghai, sta sviluppando una configurazione Field-Reversed Configuration (FRC) — la stessa tecnologia di confinamento magnetico del plasma utilizzata da Helion Energy. Il fondatore, Guo Houyang, non è un nome qualsiasi nel panorama FRC: ha guidato in precedenza il principale programma di ricerca FRC del Dipartimento dell'Energia statunitense presso l'Università di Washington, ed è poi diventato responsabile sperimentale e capo del dipartimento sperimentale di TAE Technologies, la società fusion statunitense già trattata in questo report. La sua ricerca ha contribuito, per sua stessa ammissione, a gettare le basi tecniche successivamente riprese anche dall'approccio di Helion.

NovaFusionX punta a raggiungere il “primo plasma” entro la fine del 2026 e un “guadagno energetico netto” (l'energia prodotta supera quella necessaria a sostenere la reazione) entro il 2029 — un passaggio cruciale verso la commercializzazione. La società sta negoziando con governi locali cinesi la localizzazione del proprio primo reattore dimostrativo, che punta a costruire nei primi anni 2030 a un costo di circa Rmb 3 miliardi (\$440 milioni). Ha già raccolto Rmb 2,4 miliardi (\$360 milioni) da investitori, con una valutazione superiore a Rmb 10 miliardi (\$1,5 miliardi).

Junhe Atomic, anch'essa con sede a Shanghai, sviluppa invece small modular reactor (SMR) a fissione. È stata fondata nel 2025 da Tian Jiashu, in precedenza vicedirettore tecnico di due dei maggiori gruppi nucleari statali cinesi, China National Nuclear Corporation e China General Nuclear Power Corporation — un profilo che segnala quanto la nuova generazione di startup nucleari private cinesi attinga direttamente al know-how accumulato nei grandi programmi statali. Junhe ha raccolto Rmb 300 milioni (\$44,1 milioni) in capitale di rischio, incluso il sostegno di HongShan Capital (l'ex Sequoia China guidata da Neil Shen), e punta a un progetto dimostrativo operativo intorno al 2031. Un dirigente della società, che ha chiesto di restare anonimo, ha inoltre suggerito un'applicazione interessante per una flotta di piccoli reattori: sostituire gli impianti a carbone cinesi in via di dismissione, riutilizzandone i siti e ponendo la domanda — tutt'altro che scontata — di cosa accadrà a impianti, siti e lavoratori di una tecnologia energetica in declino strutturale.

Un intervento più cauto arriva da Zheng Mingguang, chief designer presso la State Power Investment Corporation, che a una conferenza di Pechino di aprile 2026 ha riconosciuto come restino ancora molti sforzi necessari sullo sviluppo di nuovi materiali a supporto dell'industria nucleare. Ha però anche rivendicato con decisione i punti di forza cinesi: “abbiamo le squadre di progettazione, R&S e i centri di test più forti. Abbiamo la filiera industriale più forte e completa, e il miglior bacino di talenti — nessun altro Paese straniero ha una filiera industriale completa”.

Per l'investitore, l'implicazione principale non è che la Cina “vincerà” la corsa alla fusione — nessuna fonte, cinese o occidentale, offre a oggi prove sufficienti per affermarlo — ma che il numero di attori seri, capitalizzati e con competenze tecniche di alto livello è significativamente più ampio di quanto una lettura centrata solo su Stati Uniti ed Europa suggerirebbe. Questo rafforza, se possibile, la tesi centrale del report: puntare sull'ecosistema tecnologico e sulla supply chain, piuttosto che su una singola società o un singolo Paese, resta la strategia più razionale.

14. Analisi per scenari: 2030–2040

Scenario	Descrizione	Probabilità (qualitativa)
1. Fusion breakthrough	Helion, CFS o un altro player dimostra produzione elettrica netta commerciale prima della metà degli anni 2030: enorme afflusso di capitale, rivalutazione delle società fusion, boom della supply chain, forte interesse degli hyperscaler.	Bassa/media
2. Technical success, economic delay	La fusione funziona, ma le prime centrali sono troppo costose; servono ulteriori 5-10 anni per arrivare a economics competitivi. Scenario comunque positivo per il settore, ma con valutazioni molto volatili.	Ritenuto il più realistico
3. Scientific success, commercial failure	Il plasma funziona, ma materiali, trizio, manutenzione, availability e capex rendono la tecnologia non competitiva: lo scenario più pericoloso, perché dimostrare la fusione non equivale a creare un'industria.	Non trascurabile
4. Fusion perde la corsa economica	Solar + storage, advanced fission, geotermico e batterie grid-scale ⁹ diventano più economici; la fusione resta scientificamente possibile ma economicamente irrilevante. Le pure-play possono perdere quasi tutto; i fornitori diversificati, invece, continuano a generare valore.	Non trascurabile

Tabella 6. Scenario analysis 2030–2040 per l'industria della fusione. Probabilità qualitative, non stime numeriche.

⁹ Le batterie grid-scale (letteralmente "su scala di rete") sono sistemi di accumulo di energia elettrica di dimensioni molto grandi, progettati non per un singolo edificio o veicolo, ma per essere collegati direttamente alla rete elettrica e servire un'intera area, città o regione.

15. Voci a confronto: ottimisti e scettici

Prima delle conclusioni, vale la pena riportare alcune posizioni esplicitamente divergenti raccolte dal Financial Times (settembre 2026) tra gli addetti ai lavori, utili a bilanciare il quadro descritto finora.

Alain Bécoulet, chief scientist di ITER, è tra i più scettici sui tempi: sostiene che collegare un impianto a fusione alla rete elettrica “non accadrà mai” nei prossimi 5-10 anni, e che anche superato questo orizzonte gli impianti sperimentali produrrebbero probabilmente solo “burst” di energia della durata di circa 20 secondi — insufficienti per interessare qualsiasi gestore di rete (“non si può vendere nulla da una fonte intermittente”, sono le sue parole). Nella sua lettura, la fusione entrerà nel mix energetico solo nell’“ultimissimo decennio di questo secolo”.

Steven Cowley, direttore del Princeton Plasma Physics Laboratory e tra i massimi esperti mondiali di fisica del plasma, offre una posizione più articolata: si dice “fiducioso” che verso la fine degli anni 2030 esisterà un pilot plant capace di produrre più elettricità di quanta ne consumi, ma insiste sulla necessità di tenere nettamente separati, nella comunicazione al pubblico e agli investitori, i concetti di “pilot plant” e “impianto commerciale”: i primi impianti sarebbero piuttosto “esperimenti tecnologici” da testare per un decennio, con un impianto realmente commerciale non prima di metà secolo.

Un investitore intervistato in forma anonima offre invece una lettura più ottimista, criticando la lentezza dei laboratori pubblici e dei grandi progetti internazionali: a suo avviso questi “hanno l'abitudine di pensare a ITER come al percorso critico verso la fusione commerciale”, spingendo le tempistiche implicite ben oltre il 2050, mentre capitale privato, mercati pubblici e finanziamento pubblico ben coordinato rappresenterebbero oggi “la miglior possibilità di ottenere fusione commerciale prima del 2040”.

Questa pluralità di vedute — tra chi lavora nei grandi progetti pubblici, chi guida la ricerca accademica e chi investe capitale privato — riflette bene l'incertezza strutturale del settore descritta in questo report, e conferma indirettamente perché una strategia di investimento diversificata (*barbell strategy*) resti, a nostro avviso, la scelta più razionale.

16. Conclusioni e giudizio finale

La fusione nucleare non è ancora un investimento energetico tradizionale: è una opzione tecnologica sulla futura struttura del sistema energetico mondiale. Il potenziale è enorme, ma la probabilità di successo rimane sufficientemente incerta da rendere inadatto un approccio “all in”.

La strategia più razionale resta quindi una *barbell strategy*: da una parte società energetiche diversificate con esposizione strategica alla fusione, dall'altra piccole posizioni ad altissimo potenziale nelle pure-play e nella supply chain.

La frase secondo cui Helion potrebbe “battere ITER” è giornalmisticamente efficace ma tecnicamente fuorviante: ITER e Helion non sono due società che corrono verso lo stesso traguardo, ma due modelli diversi. ITER cerca di dimostrare scientificamente e ingegneristicamente il funzionamento della fusione su scala sperimentale; Helion cerca di dimostrare che una startup può saltare direttamente alla produzione commerciale; CFS rappresenta una terza via, la fisica del tokamak resa compatta dai magneti HTS; STEP rappresenta una quarta via, un'intera filiera industriale nazionale.

È proprio questa pluralità che rende il settore interessante per l'investitore. Nel 2026 non sappiamo ancora quale tecnologia vincerà, ma sappiamo qualcosa di molto più importante rispetto a cinque o dieci anni fa: il mercato sta iniziando a finanziare il tentativo di scoprirlo¹⁰.

Il vero turning point non sarà il giorno in cui un esperimento raggiungerà un nuovo record di temperatura, ma il giorno in cui una società potrà dichiarare contemporaneamente:

net electricity + continuous operation + acceptable availability + positive economics + replicable plant design

Quando tutte e cinque queste condizioni saranno vere, la fusione smetterà di essere una promessa tecnologica e diventerà una nuova industria. Dal punto di vista dell'investitore, quello sarà probabilmente il momento in cui il maggior rendimento sarà già stato realizzato dalle società private che avranno superato i primi milestone. Per questo, il 2026-2030 potrebbe essere il periodo più interessante per costruire esposizione opzionale alla fusione, ma non necessariamente il momento per scommettere sul vincitore finale.

La strategia più robusta è quindi investire nell'ecosistema — reactor developers, energy companies, HTS, materials, power electronics, fuel cycle, engineering. In altre parole:

non cercare necessariamente di indovinare quale sarà il primo reattore commerciale; cerca di identificare quali tecnologie saranno indispensabili indipendentemente da quale reattore vincerà.

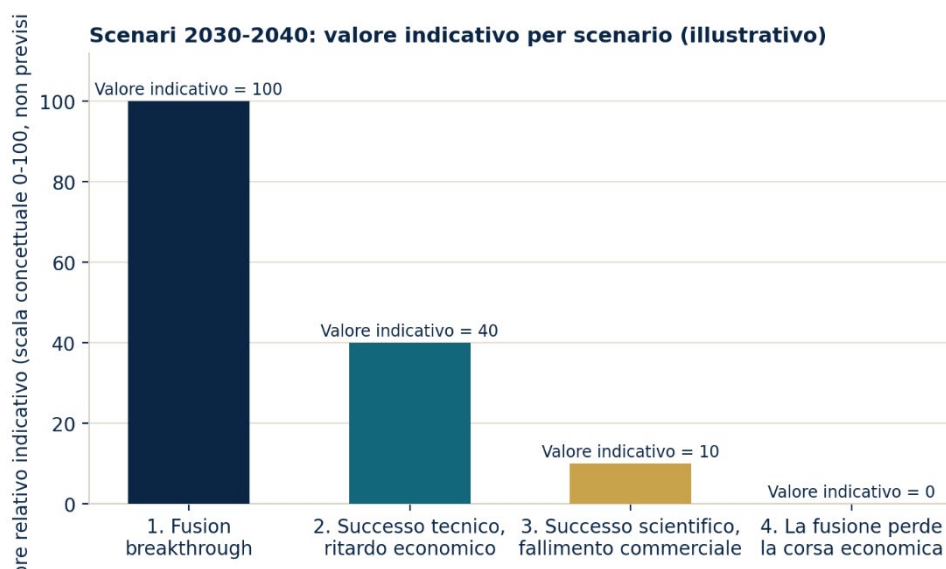


Figura 8. Rappresentazione concettuale (non previsionale) del valore relativo indicativo dei quattro scenari 2030-2040.

¹⁰ Ai nostri "10 lettori" questo dovrebbe indurre una reminiscenza perché è esattamente il paradigma di sviluppo che caratterizza un'altra grande industria di frontiera tecnologica di cui ci siamo abbondantemente occupati. Quale?

Fonti principali

- Megaprojects, Helion Energy: Fusion Before ITER, gennaio 2026.
- ITER Organization, nuova baseline ITER.
- U.S. Department of Energy, Fusion Science and Technology Roadmap, 2026.
- Fusion Industry Association, The Global Fusion Industry in 2026.
- Fusion Industry Association, Fusion Industry Supply Chain 2026.
- Commonwealth Fusion Systems, ARC Physics Basis Papers, 2026.
- Helion Energy, Polaris e Orion.
- Eni, partnership strategica con Commonwealth Fusion Systems.
- UK Government / UKAEA, STEP Fusion.
- General Fusion, LM26 e quotazione Nasdaq.
- TAE Technologies / TMTG, documentazione sulla fusione e sulla prevista operazione societaria.

Il presente documento ha finalità informative e di ricerca; non costituisce consulenza finanziaria, raccomandazione di investimento né sollecitazione all'acquisto o alla vendita di strumenti finanziari. Le opinioni espresse sono quelle dell'autore a settembre 2026 e sono soggette a modifica senza preavviso.