

TECNOLOGIA ED ENERGIA: LA FRONTIERA DEEP-TECH

QUANTUM COMPUTING E FUSIONE NUCLEARE

*Dove si incontrano due scommesse deep-tech: la chimica del trizio, il calcolo
e le implicazioni per l'investitore*

Aggiornato a ottobre 2026

Report tematico — Asset class deep-tech

Documento destinato esclusivamente a investitori professionali ed istituzionali

Indice

1. Executive Summary	3
2. Perché la fusione ha un problema di calcolo.....	3
3. Il caso IBM–ORNL: simulare il sale che produce il trizio	4
4. Il trizio in numeri: non si compra, si produce	5
5. Dove il quantum può aiutare la fusione, e dove no	6
6. Due traiettorie, un possibile incrocio	7
7. Un ecosistema condiviso: criogenia, elio-3 ed energia	9
8. Implicazioni per l'investitore: un'opzione su un'opzione	10
9. Scenari 2026–2040	11
10. Rischi, limiti e cautele	11
11. Conclusioni.....	12
12. Fonti.....	12

1. Executive Summary

Il quantum computing non accelera ancora la fusione, ma ha trovato un problema concreto: simulare la chimica del sale che deve produrre il trizio. Di seguito faremo riferimento al report sulla fusione (di seguito il “Report”) scaricabile dal nostro [sito](#).

- **Il fatto.** Il 29 giugno 2026 IBM, Oak Ridge National Laboratory e Cleveland Clinic hanno calcolato su hardware quantistico nove configurazioni di FLiBe, un sale fuso per blanket. È il primo calcolo del genere; i risultati coincidono con quelli classici e il preprint non è ancora *peer-reviewed*.
- **Il problema.** Il mondo produce circa 20 kg di trizio l'anno, cioè circa 44 giorni di consumo di un impianto da 1 GW: il reattore deve fabbricarsi il combustibile. La DFT classica può sbagliare l'energia libera del sale fino al 10%, ed è lì che il quantum computing dà il suo valore aggiunto.
- **I limiti.** Un blanket reale ha un ordine di particelle di circa 10^{24} ; sul plasma il contributo quantistico è teorico e, nel caso non lineare studiato su Quantum, costa più del classico.
- **Le date.** Starling, il computer fault-tolerant IBM, è previsto per il 2029; i pilot plant a fusione per la fine degli anni 2030. Le due roadmap sono piani aziendali, non garanzie.
- **Per l'investitore.** È un'opzione su un'opzione: nessun cambio della barbel strategy del Report. Il legame più concreto è la filiera comune: criogenia, superconduttori ed elio-3.

2. Perché la fusione ha un problema di calcolo

Molti ostacoli della fusione commerciale non si superano grazie ad un nuovo record di plasma, ma con dati che oggi mancano: nessun impianto è mai stato esposto in modo continuo al calore e alla radiazione di una reazione di fusione. Quei dati si ottengono costruendo macchine molto costose oppure simulando. Il Report individua tre colli di bottiglia in cui la simulazione pesa:

- **Trizio:** il reattore deve produrne più di quanto ne consuma (tritium breeding ratio superiore a 1), ma la riproduzione è stata dimostrata solo in laboratorio. Il Report la colloca tra gli “unknown unknowns”.
- **Materiali:** il bombardamento da neutroni a 14,1 MeV rende fragili i componenti. Mohamed Abdou (UCLA) stima che quelli di prima generazione potrebbero guastarsi in media ogni 20 minuti, con riparazioni di “molti mesi”.
- **Plasma:** è instabile per natura; tenerlo caldo, denso e stabile a lungo resta tra i problemi ingegneristici più difficili mai affrontati.

La SWOT del Report conta già tra le opportunità l'ingegneria assistita da AI e simulazione. La domanda di questo nuovo documento ha portata più circoscritta: dove un computer quantistico aggiunge qualcosa che supercomputer e AI non riescono a dare?

Box di Approfondimento: cos'è la DFT

La DFT (*Density Functional Theory*) è il metodo che i chimici computazionali usano di default per calcolare come si dispongono gli elettroni in una molecola o in un materiale, e da lì energie di legame e proprietà chimiche.

Il problema di fondo è che seguire ogni elettrone con la meccanica quantistica esatta diventa impossibile al crescere del sistema: le possibili configurazioni esplodono. La DFT aggira la difficoltà con un'idea: invece di tracciare i singoli

elettroni, basta conoscere la densità elettronica, cioè quanta carica c'è in ogni punto dello spazio. Un teorema (Hohenberg-Kohn) dice che da quella densità si ricava in linea di principio tutto il resto.

Il prezzo è un'approssimazione. La teoria richiede un termine, il funzionale di scambio-correlazione, che nessuno conosce esattamente, e tutte le versioni usate in pratica sono stime. Per questo la DFT è veloce e spesso molto utile, ma può sbagliare nei sistemi dove gli elettroni interagiscono in modo complesso.

Ai nostri fini la DFT è esattamente il punto qualificante per il quantum computing. Secondo il blog di IBM, in lavori precedenti la DFT aveva sbagliato l'energia libera del sale fuso FLiBe fino al 10%: troppo poco preciso per capire se il trizio si lega al fluoro (formando fluoruro di trizio, corrosivo) o resta libero come gas. Nel workflow a tre stadi la DFT fa il grosso del lavoro al secondo stadio, con surrogati AI per velocizzarla; il computer quantistico interviene solo sul calcolo dove la DFT è meno accurata.

Scheda 1. La Teoria del Funzionale della Densità.

3. Il caso IBM–ORNL: simulare il sale che produce il trizio

Il 29 giugno 2026 un team di Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Cleveland Clinic e IBM ha pubblicato su [arXiv](#) il primo calcolo su computer quantistico di un materiale per blanket di fusione: nove configurazioni di FLiBe, un sale fuso di fluoro, litio e berillio. È una prova di fattibilità, non un vantaggio quantistico: il preprint non è ancora peer-reviewed ([Live Science](#)) e i risultati hanno solo eguagliato i migliori metodi classici ([IBM Quantum Blog](#)).

Perché il sale conta. Il blanket avvolge il plasma: i neutroni colpiscono il litio-6 e producono trizio, il berillio moltiplica i neutroni, il sale protegge i magneti e porta via il calore. Il nodo chimico è dove finisce il trizio: se si lega al fluoro forma fluoruro di trizio, corrosivo e difficile da estrarre; se resta libero esce come gas. Prevederlo richiede energie di legame molto precise, e la DFT (il metodo classico standard) in lavori precedenti ha sbagliato l'energia libera del sale fino al 10%, secondo il blog di IBM.

Cosa è stato fatto. I ricercatori hanno estratto nove configurazioni dalle simulazioni, ciascuna un cluster di 21 ioni, e ne hanno calcolato l'energia con e senza trizio. Una tecnica di embedding spezza il calcolo in frammenti: i computer classici risolvono i più semplici, un processore quantistico IBM Heron i più entangled, poi i classici ricompongono la molecola. Il lavoro riusa il metodo con cui Kenneth Merz (Cleveland Clinic) aveva già calcolato la struttura elettronica di una proteina da 12.635 atomi.

Cosa non è stato dimostrato:

- **Nessun risultato nuovo.** I nove calcoli sono stati confrontati con i metodi classici di riferimento e coincidono: validano il metodo, non scoprono nulla.
- **Scala.** Un blanket reale è spesso un metro e contiene dell'ordine di 10^{24} particelle; per IBM resterà fuori portata della chimica computazionale per il prossimo futuro. Il piano è passare da 21 ioni a cluster più grandi e da nove a centinaia di configurazioni.
- **Un solo stadio su tre.** Il passo quantistico è il più delicato del workflow completo, ma anche l'unico che questo lavoro mette alla prova.

L'obiettivo dichiarato da ORNL è dare agli ingegneri della fusione un modo per progettare e vagliare un sale al computer prima di miscelarlo e scaldarlo in laboratorio.

Lo studio mette alla prova solo l'ultimo dei tre stadi



Figura 1. workflow IBM-ORNL · 3 stadi e ciclo di ritorno.

Il ciclo parte dall'AI, passa dal supercomputer e chiude con il passo quantistico, l'unico provato dallo studio; il ritorno dei risultati alla selezione dei sali è un obiettivo futuro.

4. Il trizio in numeri: non si compra, si produce

Ogni anno si producono circa 20 kg di trizio in tutto il mondo: bastano a far funzionare un solo impianto da 1 GW per circa 44 giorni, e il decadimento impedisce di fare scorte. Per questo il blanket non è un accessorio ma lo strumento che decide se un reattore a fusione può esistere: il Report lo riassume nel requisito di un tritium breeding ratio superiore a 1.

Grandezza	Valore	Fonte
Produzione mondiale di trizio	~20 kg/anno	Live Science
Emivita	12 anni (perdita ≈ 5,6% l'anno)	Live Science; calcolo dell'autore
Consumo di un impianto da 1 GW	~0,45 kg/giorno, ~165 kg/anno	IBM Quantum Blog ; calcolo dell'autore
Produzione mondiale ÷ consumo di un impianto da 1 GW	~44 giorni	calcolo dell'autore
Deuterio nell'acqua di mare	33 g per m³	Live Science
Energia di 1 g di combustibile D-T	≈ 9.100 litri di petrolio	Dipartimento dell'Energia USA, citato da Live Science

Tabella 1. I numeri del trizio.

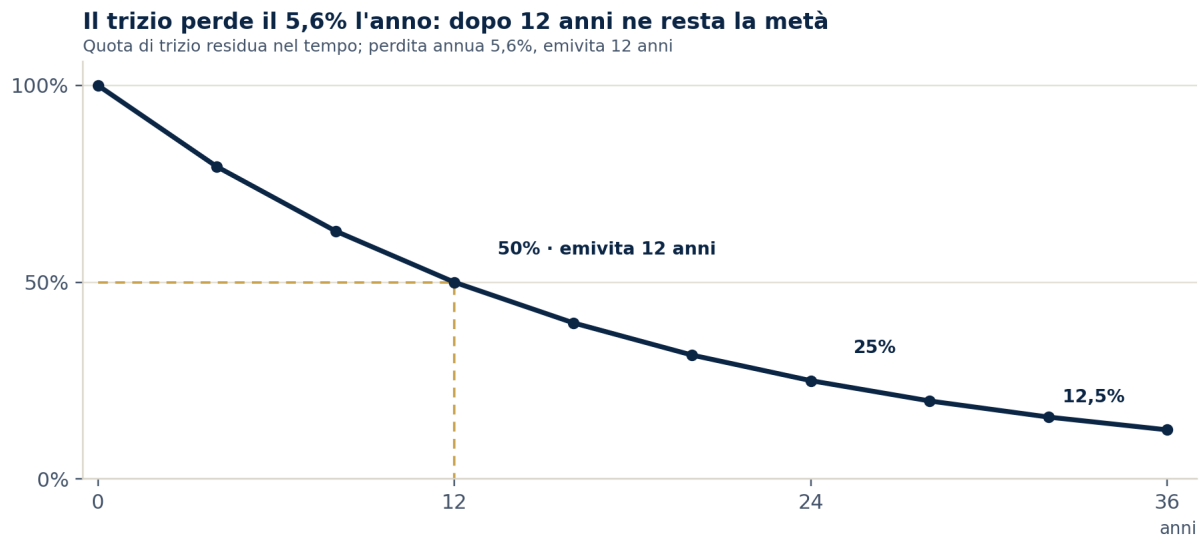


Figura 2. calcolo dell'autore su emivita di 12 anni (Live Science) · 36 anni.

Una scorta di trizio costituita oggi si dimezza in 12 anni (vedi Figura 2): il combustibile va prodotto man mano che serve.

Il consumo annuo di un solo impianto da 1 GW (~165 kg) vale circa otto volte la produzione mondiale. Il deuterio non è un problema; il trizio sì, e l'unica via è produrlo nel reattore stesso, con una chimica che nessuno ha ancora potuto osservare per anni in condizioni reali.

5. Dove il quantum può aiutare la fusione, e dove no

Il contributo quantistico più credibile riguarda la chimica del blanket; sul plasma resta teorico, e sul controllo in tempo reale non c'entra. Una [roadmap della comunità](#) (maggio 2026) sulle tecnologie post-Moore per la simulazione del plasma arriva alla stessa conclusione: nessuna tecnologia sostituirà i supercomputer, e il quantum è la meno matura ma potenzialmente la più dirompente, in particolare per la fisica della materia densa e tiepida (*warm dense matter*) e per la microfisica della fusione inerziale.

Sfida (dal Report)	Strumento dominante oggi	Dove entrerebbe il quantum	Maturità del contributo quantum	Fonte
Chimica del blanket (trizio nel sale fuso)	DFT su supercomputer, con surrogati AI	Energie di legame dove la DFT sbaglia fino al 10%	Prova di fattibilità: 9 configurazioni da 21 ioni, risultati pari al classico	IBM Quantum Blog
Materiali sotto irraggiamento neutronico	Dinamica molecolare e DFT classiche	Stati elettronici dei difetti, se la DFT non bastasse	Nessuna dimostrazione nelle fonti consultate	Valutazione dell'autore
Plasma: turbolenza e confinamento (cinetica non lineare)	Supercomputer e AI	Algoritmi per l'equazione di Vlasov	Teorica: nel caso non lineare 1D l'algoritmo studiato costa più del classico; un preprint propone uno speedup per un modello debolmente non lineare	Quantum 10, 2206
Microfisica della fusione inerziale (stopping power, opacità)	Metodi classici, limitati in regimi fortemente correlati	Calcoli di stopping power per il design dei target	Lungo orizzonte: servono ~10 ³ qubit logici e 10 ¹⁵ –10 ¹⁷ porte Toffoli	Roadmap della comunità

Sfida (dal Report)	Strumento dominante oggi	Dove entrerebbe il quantum	Maturità del contributo quantum	Fonte
Controllo del plasma in tempo reale	FPGA e machine learning	Nessun ruolo plausibile	Non applicabile	Valutazione dell'autore; roadmap della comunità per gli FPGA

Tabella 2. Le principali sfide per passare dalla fusione nucleare di laboratorio all'industrializzazione.

La distanza tra ambizione e hardware si misura in ordini di grandezza. La [roadmap IBM](#) punta a Starling nel 2029, con 200 qubit logici e 100 milioni di operazioni, e a Blue Jay con 2.000 qubit logici e un miliardo di operazioni. Il calcolo di stopping power richiede 10^{15} – 10^{17} porte: da 6 a 9 ordini di grandezza oltre quei traguardi (confronto indicativo dell'autore: le due metriche contano operazioni diverse).

Il preprint [Berntson et al.](#) sul plasma debolmente non lineare e lo studio pubblicato su Quantum mostrano che il vantaggio dipende dalla formulazione dell'algoritmo, non solo dall'hardware: nelle fonti consultate non risulta dimostrato per nessun problema di plasma di interesse pratico.

Box di Approfondimento: tecnologie post-Moore

Il post-Moore indica le tecnologie di calcolo che vanno oltre la legge di Moore, cioè l'osservazione che il numero di transistor su un chip raddoppia circa ogni due anni. Per decenni questo ha reso i processori più veloci e più economici quasi in automatico. Oggi quella crescita rallenta: i transistor sono arrivati a dimensioni vicine ai limiti fisici, e i colli di bottiglia si spostano sul movimento dei dati, sull'accesso alla memoria e sui consumi energetici.

Le alternative "post-Moore" sono architetture diverse da quelle tradizionali di CPU e GPU:

- Acceleratori specializzati (FPGA, SmartNIC, DPU), che eseguono su hardware dedicato i passaggi più ripetitivi.
- Architetture non von Neumann, in cui calcolo e memoria non sono separati: neuromorfiche, termodinamiche, in-memory, fotoniche.
- Il quantum computing, che sfrutta fenomeni quantistici invece dei bit classici.

Il termine viene dalla roadmap della comunità sulla simulazione del plasma, che valuta proprio queste tre famiglie. La sua conclusione è che nessuna sostituirà i supercomputer attuali: gli acceleratori sono pronti per usi mirati nel breve periodo, le architetture non von Neumann nel medio, e il quantum è la meno matura ma potenzialmente la più dirompente, soprattutto per la microfisica della fusione inerziale.

Scheda 2. Le tecnologie post-Moore e come possono essere utili allo sviluppo della fusione nucleare.

6. Due traiettorie, un possibile incrocio

Se la roadmap IBM regge, l'hardware quantistico fault-tolerant arriverà nel 2029, prima che i pilot plant a fusione entrino in funzione (fine anni 2030): in tempo per le iterazioni finali sui materiali del blanket, non necessariamente per la prima scelta (valutazione dell'autore).

Dove è il quantum oggi. Il 30 luglio 2026 IBM e partner hanno presentato tre lavori che dichiarano vantaggio quantistico con validazione incorporata: esperimenti fino a 74 qubit su dinamiche di Floquet, 56 qubit su un eco di Loschmidt degli operatori e un calcolo da 70 qubit logici con un errore effettivo per porta ridotto di circa 10 volte ([IBM Quantum Blog](#)). Sono problemi di fisica scelti per essere difficili per il classico, non problemi di chimica

industriale, e restano sotto verifica: il Quantum Advantage Tracker li confronta con i migliori metodi classici, e IBM stessa scrive che l'annuncio apre il risultato a un nuovo livello di scrutinio.

La roadmap IBM. Loon nel 2025, Kookaburra nel 2026, Cockatoo nel 2027, poi Starling nel 2029 con 200 qubit logici e 100 milioni di operazioni ([The Quantum Insider](#)). È un piano aziendale, come lo sono le date dei developer di fusione: in quel settore lo slittamento è la norma storica (General Fusion è passata dal 2022 promesso nel 2014 al 2035 attuale, secondo il Financial Times), e nessuna delle due roadmap è una garanzia.

Box di Approfondimento: dinamiche di Floquet ed eco di Loschmidt

Le dinamiche di Floquet descrivono come si comporta un sistema quantistico quando viene "colpito" ripetutamente da impulsi di energia a intervalli regolari, invece di essere lasciato evolvere da solo. Il nome viene dal teorema di Floquet, che dice che se il sistema è guidato in modo periodico, la sua evoluzione ha a sua volta una struttura ricorrente che si può studiare passo per passo, a ogni ciclo.

Perché interessano: un sistema di molte particelle che interagiscono, spinto periodicamente, può mostrare comportamenti che senza la spinta non avrebbe, per esempio oscillazioni che persistono nel tempo invece di spegnersi. Sono anche un banco di prova naturale per i computer quantistici, perché simulare queste dinamiche con molte particelle diventa rapidamente troppo costoso per i metodi classici.

Nel documento compaiono nel paragrafo sullo stato dell'arte del quantum. Secondo il blog di IBM, i ricercatori di Qedma, con RIKEN e BlueQubit, hanno usato circuiti fino a 74 qubit per seguire la magnetizzazione di un sistema nel tempo e hanno osservato oscillazioni persistenti che due metodi classici di simulazione, eseguiti su uno dei più grandi supercomputer di RIKEN, non riproducevano. Nel regime più difficile i due metodi classici davano risposte discordanti tra loro.

È un problema di fisica scelto proprio perché difficile per il classico, non un problema di chimica industriale: per questo nel documento lo cito come esempio di dimostrazione di vantaggio quantistico ancora sotto verifica, non come risultato utile per la fusione.

L'eco di Loschmidt misura quanto un sistema è sensibile ai piccoli disturbi, facendolo evolvere nel tempo e poi, idealmente, "riavvolgendolo".

L'idea. Si parte da uno stato iniziale e si lascia evolvere per un tempo t . Poi si inverte l'evoluzione, ma con un piccolo errore: l'Hamiltoniana (la regola che governa il sistema) del ritorno differisce di poco da quella dell'andata. Se non ci fosse l'errore, il sistema tornerebbe esattamente al punto di partenza. L'eco è il grado con cui ci torna davvero: in formule, la sovrapposizione tra lo stato di partenza e quello ottenuto dopo andata e ritorno.

Perché è interessante. Se l'eco resta alta, il sistema è robusto: il disturbo conta poco. Se crolla rapidamente, il sistema è caotico: l'errore piccolo si amplifica e l'informazione iniziale si disperde. Per questo è uno strumento standard per studiare il caos quantistico e la decoerenza, cioè la perdita di "quantisticità" per effetto dell'ambiente.

Il nome. Viene dal paradosso di Loschmidt (XIX secolo): le leggi microscopiche sono reversibili nel tempo, eppure i fenomeni macroscopici non lo sono (un uovo rotto non si ricompone). L'eco è il modo di tradurre quel paradosso in un esperimento: quanto è davvero "riavvolgibile" l'evoluzione?

La versione per gli operatori. Invece di guardare lo stato del sistema, si guarda come evolve una grandezza misurabile (un operatore). Secondo il blog di IBM citato nel documento, questa quantità tiene traccia di come l'informazione si propaga in sistemi quantistici eterogenei. È su questa misura che Algorithmiq ha lavorato con 56 qubit, in un regime dove tre gruppi di simulazione classica davano previsioni incoerenti.

Scheda 3. Lo stato dell'arte della computazione quantistica.

Starling (2029) precede di 8-10 anni i pilot plant a fusione

Date di piano: roadmap IBM, annunci delle società e stime dei ricercatori, non garanzie

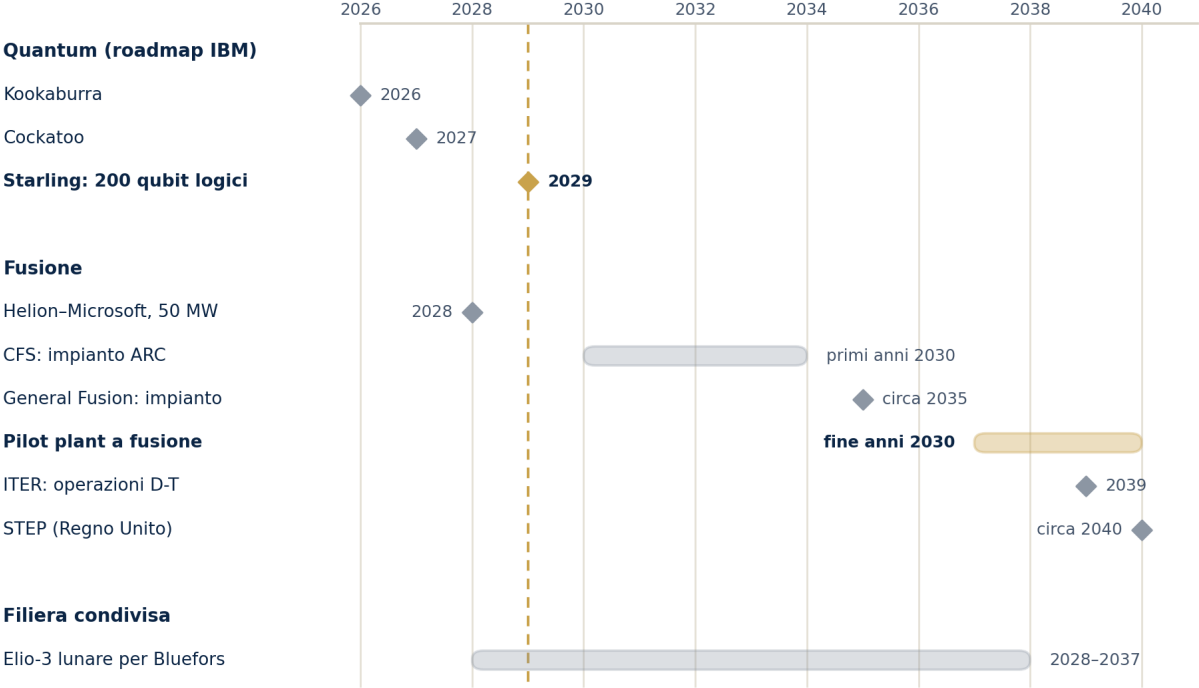


Figura 3. Date di piano · roadmap IBM, il Report, Financial Times, Quantum Computing Report.

La finestra utile per il quantum va dal 2029 alla fine degli anni 2030: se Starling arriva in tempo, i calcoli sui materiali possono servire i pilot plant; se slitta, serviranno la generazione successiva (valutazione dell'autore).

7. Un ecosistema condiviso: criogenia, elio-3 ed energia

Fusione e quantum non condividono un prodotto ma una filiera industriale, e il legame più concreto oggi è l'elio-3.

Filiera	Ruolo nella fusione	Ruolo nel quantum	Sovrapposizione
Criogenia	Raffreddamento dei magneti superconduttori HTS, a temperature sotto i -180 °C	Refrigeratori a diluizione: i processori lavorano sotto i 10 millikelvin	Competenze industriali comuni; non lo stesso prodotto (circa quattro ordini di grandezza di differenza)
Elio-3	Combustibile della reazione D-He3, raro sulla Terra	Componente necessario dei refrigeratori a diluizione	Domanda commerciale concreta oggi solo dal quantum
Superconduttori	Nastri HTS (REBCO) per i magneti, con fornitori come Fujikura	Qubit superconduttivi	Know-how condiviso, filiere separate
Vuoto ed elettronica di controllo	Camera del plasma e power electronics	Isolamento ed elettronica di controllo dei qubit	Fornitori e competenze simili (valutazione dell'autore)

Tabella 3. La filiera di produzione: sia per la fusione nucleare sia per la computazione quantistica.

Elio-3: il quantum è arrivato prima. Il Report cita l'elio-3 come combustibile della reazione D-He3 e giudica il mining lunare più speculativo che pratico. Ma l'accordo che lo ha reso un affare è del quantum: Bluefors, produttore di refrigeratori a diluizione (oltre 1.500 consegnati), ha concordato di acquistare fino a 10.000 litri l'anno da Interlune, con consegne dal 2028 al 2037 ([Quantum Computing Report](#)). Un percorso di fusione basato

su D-He3 dovrebbe quindi confrontarsi con un acquirente che ha già contrattualizzato la fornitura (osservazione dell'autore).

Calcolo ed energia si chiamano a vicenda. I data center cinesi quadruplicheranno i consumi fino a 774 TWh entro il 2030 secondo Wood Mackenzie, cioè circa 88 GW di carico medio. Il contratto Microsoft–Helion da 50 MW, atteso dal 2028, ne coprirebbe circa lo 0,06% (calcolo dell'autore; confronto di scala tra operatori diversi). Il nesso con l'AI è quindi finanziario prima che fisico, come già scritto nel report sulla fusione: gli hyperscaler sono i primi clienti, non ancora la soluzione alla loro fame di energia. E il calcolo, a sua volta, serve a progettare la fusione, come mostra il caso IBM–ORNL. Nessun anello del circolo è garantito: ciascuno dipende da tecnologie non ancora commerciali.

8. Implicazioni per l'investitore: un'opzione su un'opzione

Il quantum applicato alla fusione ha valore solo se due eventi incerti e in gran parte indipendenti si verificano insieme: che la fusione diventi commerciale e che il computer quantistico batta i metodi classici proprio dove conta. Come nel framework del report sulla fusione, il valore si legge come una opzione reale, qui annidata:

$$V_{\text{quantum} \rightarrow \text{fusione}} \approx P(\text{fusione commerciale}) \times P(\text{vantaggio quantistico utile} \mid \text{fusione}) \times \Delta V$$

Formula 1. Approssimazione del valore della computazione quantistica applicata alla fusione nucleare.

dove:

- $V_{\text{quantum} \rightarrow \text{fusione}}$:** il valore del quantum applicato alla fusione.
- $P(\text{fusione commerciale})$:** la probabilità che la fusione diventi commerciale.
- $P(\text{vantaggio quantistico utile} \mid \text{fusione})$:** la probabilità che il quantum dia un vantaggio utile, dato che la fusione arrivi (la barra $\mid$ si legge "condizionata a").
- ΔV :** il valore incrementale che il quantum aggiungerebbe in quel caso.

Il prodotto di due probabilità è più piccolo di ciascuna: il quantum non rende la fusione più probabile in modo misurabile oggi, e la fusione non è necessaria perché il quantum abbia un mercato. Per questo non cambia la struttura a barbell del Report; al più rafforza il livello dei picks and shovels.

Livello	Cosa si compra	Attori	Esposizione a quantum e fusione	Rischio
1. Core IT e HPC diversificato	Gruppi che integrano quantum, AI e supercalcolo	IBM, protagonista del caso di studio	Diluita: il quantum è una linea tra molte	Moderato
2. Picks and shovels comuni	Criogenia, superconduttori, vuoto, power electronics	Fujikura (fusione); Bluefors (quantum)	Beneficia di entrambe le tecnologie senza scommettere su una	Medio-alto, diversificato
3. Pure-play quantum quotate	Società specializzate in hardware o software quantistico	non nominate in questo report	La fusione è un'applicazione marginale	Molto alto
4. Pure-play fusione	Sviluppatori di reattori, privati o appena quotati	Helion, CFS, TAE, General Fusion (GFUZ)	Il quantum non è la leva principale della loro tesi	Molto alto o estremo

Tabella 4. Le opzioni per l'investitore.

Cosa monitorare, in ordine di rilevanza:

- Peer review e replica del risultato IBM–ORNL, oggi solo un [preprint](#).

- Il passaggio da cluster di 21 ioni a sistemi più grandi e da nove a centinaia di configurazioni ([IBM Quantum Blog](#)).
- Kookaburra nel 2026, Cockatoo nel 2027 e Starling nel 2029 consegnati nei tempi della [roadmap IBM](#).
- Una dimostrazione di vantaggio quantistico su un problema di chimica dei materiali, con un confronto classico equo (il [Quantum Advantage Tracker](#) esiste per questo).
- La verifica sperimentale: i sali scelti al computer provati in laboratorio e il breeding del trizio in impianti reali, il vero test del report.
- Segnali contrari: lavori che mostrano che DFT potenziata dall'AI basta, e il quantum diventa superfluo.

9. Scenari 2026–2040

Il caso più probabile è che il quantum resti uno strumento di nicchia per i materiali della fusione, non il suo acceleratore. Le probabilità sono valutazioni qualitative dell'autore, non stime numeriche, nello stesso spirito dell'analisi per scenari del Report.

Scenario	Descrizione	Probabilità (qualitativa)	Implicazione per l'investitore
1. Convergenza	Starling arriva nei tempi (2029), il quantum entra nel ciclo di progettazione dei blanket e i pilot plant degli anni 2030 partono con materiali scelti meglio	Bassa	Rafforza picks and shovels comuni e fusione insieme; è lo scenario per cui nessun titolo è già prezzato
2. Il classico basta	DFT migliorata, surrogati AI ed esperimenti irraggiati colmano il divario; il quantum resta marginale per la fusione	Medio-alta	La tesi sulla fusione non cambia; il quantum va giudicato altrove
3. Quantum utile, fusione in ritardo	Il quantum funziona sulla chimica (anche in altri settori), ma i pilot plant slittano oltre il 2040	Media	Valore per il quantum, non per la fusione; conta la diversificazione
4. Entrambi in ritardo	Le roadmap del quantum e della fusione slittano insieme, come è già successo a General Fusion e TAE	Media	Opzione annidata con valore vicino a zero nell'orizzonte; pesa il costo di attesa

Tabella 5. Possibili scenari 2026-2040. Le probabilità qualitative sono elaborate dall'autore senza l'uso di modelli di stima e riflettono quindi la sua opinione personale.

10. Rischi, limiti e cautele

La prova più solida oggi è un preprint su nove configurazioni; ogni conclusione più forte va trattata come ipotesi.

- **Evidenza preliminare.** Il lavoro IBM–ORNL non è peer-reviewed, riguarda cluster da 21 ioni e ha solo eguagliato metodi classici di riferimento.
- **Hype impilato.** Fusione e quantum condividono la stessa narrativa di promesse a lungo termine. Il Report ha già segnalato il rischio "Theranos moment"; unire due settori esposti allo stesso rischio non lo diluisce, lo moltiplica.
- **Il modello non sostituisce l'esperimento.** Il breeding del trizio è stato dimostrato solo in laboratorio. L'obiettivo di ORNL è vagliare i sali al computer *prima* del laboratorio, non al posto del laboratorio.
- **Vantaggio quantistico contestato.** Le dichiarazioni di vantaggio sono confrontate pubblicamente con i migliori metodi classici; alcune potrebbero essere superate da nuovi metodi classici.

- **Fonti non allineate.** Sui volumi di trizio, IBM parla di pochi chili l'anno e Live Science di 20 kg; la conclusione sulla scarsità non cambia, i numeri precisi sì.
- **Dipendenze di filiera non provate.** L'elio-3 lunare è un piano commerciale con consegne previste dal 2028, non una fornitura in corso.
- **Limiti di questo report.** Si basa su fonti pubbliche e su preprint; le probabilità e le valutazioni segnate come dell'autore sono giudizi, non misure.

11. Conclusioni

Il quantum computing non accelera ancora la fusione: oggi è uno strumento promettente per un problema stretto, la chimica del blanket, dentro un workflow in cui AI e supercomputer fanno la parte più grande del lavoro.

- **Un passo vero, un risultato modesto.** Il caso IBM–ORNL è il primo calcolo quantistico di un materiale per blanket, ma i nove calcoli coincidono con il classico.
- **Il valore potenziale è sugli "unknown unknowns" del trizio.** Conta solo se l'hardware raggiunge la scala fault-tolerant prevista da IBM per il 2029 e se i risultati sopravvivono al test sperimentale.
- **Sul plasma il quantum resta teorico; sul controllo non serve.**
- **Per il portafoglio nulla cambia nella struttura a barbell:** si monitorano gli indicatori, non si scommette su un incrocio ancora da dimostrare.

Il test decisivo non sarà un altro record di qubit, ma un sale progettato al computer che produce e rilascia trizio in un reattore vero.

12. Fonti

- [Live Science, "Quantum computing wielded to create extremely rare material critical to nuclear fusion"](#) (9 luglio 2026)
- [IBM Quantum Blog, "Oak Ridge National Laboratory, Cleveland Clinic model chemistry of fusion reactor material"](#) (6 luglio 2026)
- [Preprint arXiv:2606.30402, "Quantum Computations on Fusion Blanket Molten Salts"](#) (29 giugno 2026)
- [IBM Quantum Blog, "Researchers demonstrate quantum advantage through trusted quantum computation"](#) (30 luglio 2026)
- [The Quantum Insider, roadmap IBM verso un computer quantistico fault-tolerant](#) (10 giugno 2025)
- [Vaszary, Datta, Goffrey, Appelbe, "Solving the Nonlinear Vlasov Equation on a Quantum Computer", Quantum 10, 2206](#) (10 settembre 2026)
- [Pennati et al., "Post-Moore Technologies for Plasma Simulation: A Community Roadmap", arXiv:2605.07722](#) (2026)
- [Berntson et al., arXiv:2607.14308](#) (2026), citato nella pubblicazione su Quantum
- [Quantum Computing Report, accordo Bluefors–Interlune sull'elio-3](#) (16 settembre 2025)
- Custodia Wealth Management SA, *Fusione Nucleare: tecnologia, settore ed investimenti* (settembre 2026)
- Financial Times, "Nuclear fusion's moment of truth" e "AI energy demand accelerates China's quest for nuclear fusion" (settembre 2026), articoli forniti dall'utente

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 sono quelle dell'autore a ottobre 2026 e possono cambiare senza preavviso.