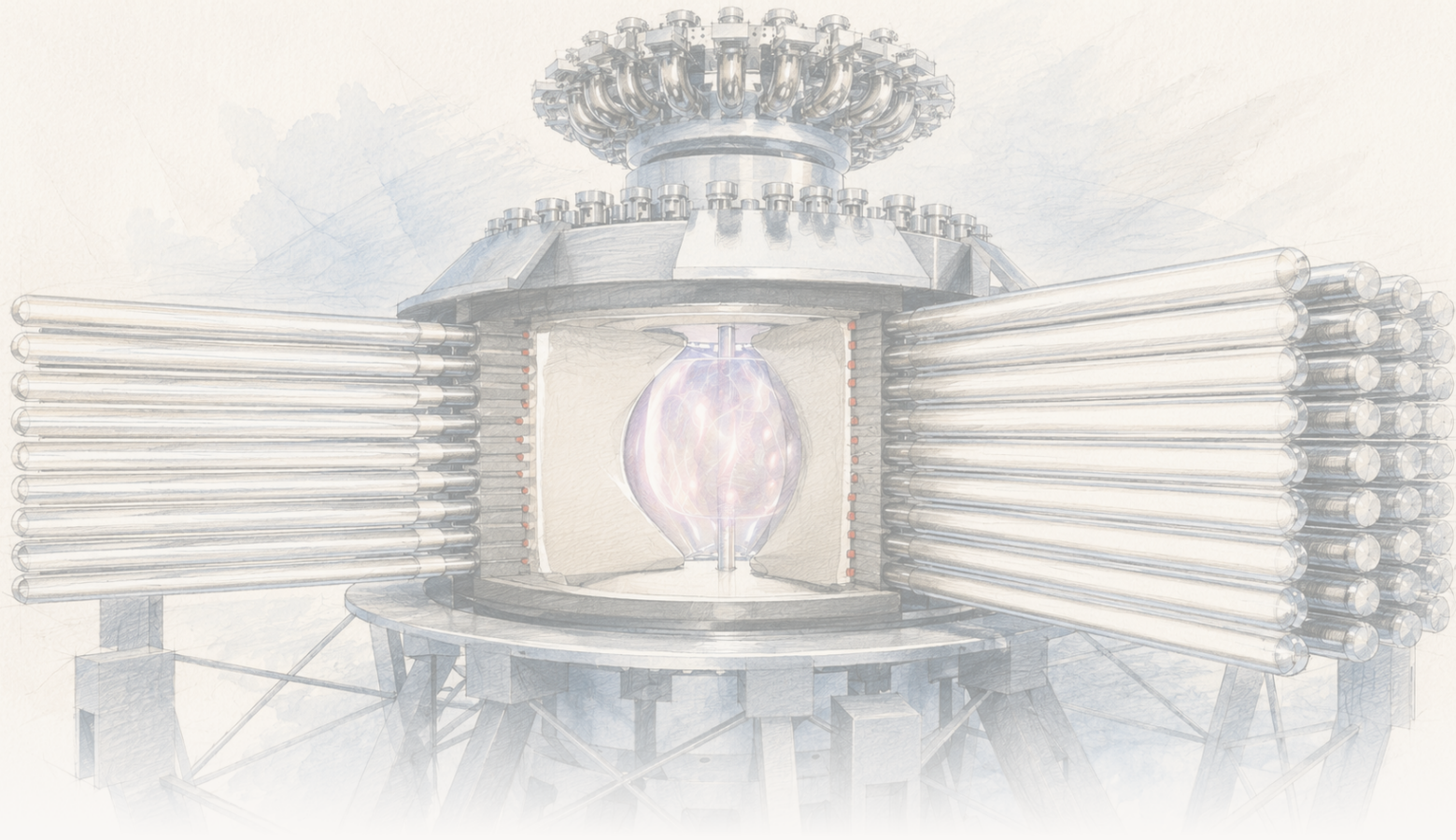




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Una macchina per la fusione ha riscaldato il plasma schiacciandolo — il passo reale, e la centrale che non è

La LM26 di General Fusion ha compresso un plasma magnetizzato di deuterio con un liner di litio implodente e lo ha visto riscaldarsi — più che triplicando la temperatura elettronica fino a un picco misurato di circa 0,72 keV (718 ± 80 eV, all'incirca 8 milioni di °C), con la maggior parte del riscaldamento attribuita alla compressione stessa, il meccanismo su cui si regge il suo approccio a fusione a bersaglio magnetizzato. È un vero checkpoint ingegneristico per quella strada verso la fusione. È anche il primo gruppo di 11 spari su una sola macchina, descritto in un preprint aziendale non ancora sottoposto a revisione paritaria, a una temperatura ancora circa dieci volte sotto quella che serve a un plasma che brucia — senza energia netta, senza breakeven, senza elettricità. Un meccanismo mostrato, non una centrale costruita.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment*, S. J. Howard et al. (General Fusion), arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (preprint) · DOI: 10.48550/arXiv.2606.23974

Una macchina per la fusione ha riscaldato il plasma schiacciandolo — il passo reale, e la centrale che non è

Perché un reattore a fusione restituisca più energia di quanta ne serve per farlo funzionare, un plasma di combustibile deve essere, tutto insieme, abbastanza caldo, abbastanza denso e tenuto insieme abbastanza a lungo — le tre grandezze racchiuse in quello che i fisici chiamano criterio di Lawson. Gran parte del campo insegue questo obiettivo con enormi magneti superconduttori (i tokamak come ITER) o con schiere di laser giganti (confinamento inerziale, come alla National Ignition Facility statunitense). Un gruppo più ristretto di aziende scommette su una terza via, la **fusione a bersaglio magnetizzato** (MTF): si forma un plasma caldo e magnetizzato, poi lo si *schiaccia* meccanicamente, in fretta, così che sia la compressione a fare il riscaldamento — come un motore diesel che accende il combustibile per compressione anziché con una scintilla.

Nel giugno 2026 l'azienda canadese **General Fusion** ha pubblicato i risultati della sua **Lawson Machine 26 (LM26)** che mettono alla prova proprio questa scommessa centrale: comprimere meccanicamente un plasma magnetizzato lo riscalda davvero, come promettono i modelli? Nei primi 11 spari di compressione — in cui un plasma di deuterio in un tokamak sferico è stato schiacciato da un **liner solido di litio** implodente — gli spari migliori hanno mostrato il plasma diventare nettamente più caldo, più denso e più fortemente magnetizzato man mano che veniva compresso, e l'analisi dell'azienda attribuisce la maggior parte di quel riscaldamento alla compressione stessa.

È un risultato ingegneristico reale e specifico per l'approccio MTF. È anche un primo gruppo di spari, descritto in un **preprint aziendale non ancora sottoposto a revisione paritaria**, a una temperatura ancora molto sotto quella che serve a un plasma che brucia — e non è energia da fusione, non è breakeven, non è una centrale.

Un vero passo di riscaldamento, molto sotto un plasma in combustione

La temperatura e solo una quantità di Lawson: densità e tempo di confinamento contano ancora.

temperatura (scala log)

plasma D-T in combustione: ~10 keV (oltre 100 milioni C)

milestone General Fusion: 1 keV

picco LM26: ~0,72 keV (~8 milioni C)

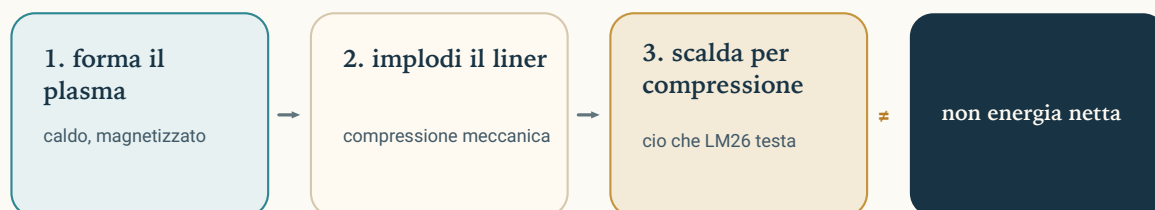
Confine: riscaldamento mostrato; un plasma in combustione è lontano un ordine di grandezza e due quantità.

Una scala di temperatura: i circa 0,72 keV di LM26, il traguardo di 1 keV di General Fusion e i circa 10 keV di cui ha bisogno un plasma deuterio-trizio che brucia. La temperatura è solo una delle tre grandezze di Lawson.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

La scommessa della fusione a bersaglio magnetizzato

Forma un plasma caldo magnetizzato, poi comprilo così che la compressione faccia il riscaldamento.



Confine: la compressione scalda il plasma; non mostra energia netta né confinamento lungo abbastanza per il burn.

Fusione a bersaglio magnetizzato: formare un plasma caldo e magnetizzato, poi comprimerlo con un liner imploidente così che sia lo schiacciamento a fare il riscaldamento — la scommessa della compressione diesel. LM26 ha testato che la compressione riscalda il plasma; non energia netta o confinamento.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Cosa significano "fusione a bersaglio magnetizzato", "keV" e criterio di Lawson

Nella fusione la temperatura del plasma si esprime di solito in **kiloelettronvolt (keV)** invece che in gradi: 1 keV è circa **11,6 milioni di °C**. Un combustibile deuterio-trizio deve raggiungere all'incirca **10 keV** (oltre 100 milioni di °C) per fondere in modo efficiente — ma la temperatura è solo una delle tre cose che devono valere contemporaneamente. Il **criterio di Lawson** dice che un reattore ha bisogno anche di sufficiente **densità** e sufficiente **tempo di confinamento**, di solito combinati in un unico "prodotto triplo" (temperatura × densità × tempo di confinamento). Riscaldare il plasma è necessario, ma da solo è ben lontano dall'essere sufficiente.

La **fusione a bersaglio magnetizzato (MTF)** è una via di mezzo tra i due approcci principali. Invece di confinare un plasma caldo a lungo con magneti enormi, o di riscaldare un bersaglio minuscolo quasi istantaneamente con i laser, la MTF forma un plasma magnetizzato e poi lo comprime meccanicamente nell'arco di microsecondi. Se funziona, la compressione al tempo stesso riscalda il plasma e ne aumenta la densità — arrivando potenzialmente alle condizioni di

fusione senza magneti in scala ITER o laser in scala NIF. Se la compressione fornisca davvero quel riscaldamento, in una macchina reale, è esattamente ciò a cui serve un test come LM26.

Che cosa hanno fatto gli autori

- Hanno costruito e sparato **LM26**, una macchina a fusione a bersaglio magnetizzato di General Fusion: si forma un plasma di deuterio in un tokamak sferico, poi lo si comprime con un **liner solido di litio** implodente spinto verso l'interno — all'incirca una **compressione radiale di $3\times$** .
- Hanno eseguito i **primi 11 spari di compressione** strumentandoli in modo massiccio, ricostruendo nel tempo temperatura, densità e campo magnetico del plasma e registrando neutroni, raggi X e luce visibile emessi, oltre a immagini con fast-camera dell'interazione plasma-parete.
- Hanno costruito un **modello fisico integrato** che bilancia il riscaldamento da compressione contro il riscaldamento ohmico (dalla corrente stessa del plasma) e l'energia persa al bordo, e lo hanno confrontato con i dati misurati per capire da dove venisse davvero il riscaldamento.

Che cosa hanno trovato

- **Il plasma si è riscaldato mentre veniva schiacciato.** Negli spari migliori la temperatura elettronica è salita di **più di $3\times$** , la densità elettronica di circa **$10\times$** e il campo magnetico poloidale di circa **$10\times$** , grazie alla compressione radiale di $3\times$. Nello sparo migliore il paper misura un **picco di temperatura elettronica di circa 0,72 keV** (718 ± 80 eV, tramite Thomson scattering) — all'incirca 8 milioni di °C.
- **La maggior parte del riscaldamento è attribuita alla compressione.** Il loro modello integrato conclude che la *maggioranza* dell'aumento di temperatura è venuta dalla compressione meccanica stessa — il meccanismo su cui si regge tutto l'approccio MTF — piuttosto che dal riscaldamento ohmico.
- **L'emissione di neutroni è aumentata durante la compressione**, in accordo con un plasma di deuterio più caldo e più denso.

Che cosa non dimostra

- **Non** è energia da fusione, breakeven o guadagno netto. Nulla qui ha prodotto più energia di quanta ne sia servita per funzionare. Il risultato riguarda il *riscaldamento di un plasma* — un passo del ciclo di fusione — non il bilancio energetico di un reattore.
- La temperatura è **ancora circa dieci volte sotto** quella di un plasma che brucia. Circa 0,72 keV sono all'incirca 8 milioni di °C; un combustibile deuterio-trizio ne richiede dell'ordine di **10 keV (oltre 100 milioni di °C)** e un prodotto densità $\times$ tempo di confinamento sufficiente a sostenere la combustione. Il prossimo traguardo della stessa General Fusion è **1 keV** — di per sé lontano

dall'ignizione.

- **“La maggior parte del riscaldamento viene dalla compressione”** è una **conclusione basata su un modello**, non una lettura diretta. Deriva da un modello fisico integrato adattato ai dati diagnostici; quanto ci si fida della ripartizione tra compressione, riscaldamento ohmico e perdite dipende da quanto ci si fida di quel modello.
- È un **preprint aziendale, non sottoposto a revisione paritaria**. I risultati sono riportati dallo stesso team che ha costruito la macchina e ha raccolto fondi sulla sua promessa; la revisione indipendente non c'è ancora stata.
- L'aumento di neutroni **non** è una resa di fusione rilevante per l'energia. Qualche neutrone è atteso dal deuterio a queste condizioni, molto al di sotto di qualunque cosa utile a produrre potenza.
- Non dice nulla sulla dichiarazione, separata, dell'azienda secondo cui un **futuro impianto fornirà elettricità alla rete** — un'affermazione che il giornalismo indipendente ha trattato con molta cautela.

Quanto è forte l'evidenza

- **La tesi centrale è circoscritta e verificabile.** “Abbiamo compresso un plasma magnetizzato ed è diventato più caldo, soprattutto per la compressione” è esattamente il test di meccanismo che l'approccio MTF deve superare, e il paper lo sostiene con un insieme di spari fortemente strumentati e con un esplicito modello di bilancio energetico. Se supera la revisione paritaria, è una validazione genuina — anche se iniziale — dell'approccio.
- **I caveat sono strutturali, non cosmetici.** Undici spari, una macchina, un team, non ancora revisionati, e una temperatura di punta un ordine di grandezza sotto un plasma che brucia. La conclusione portante — *la maggior parte del riscaldamento viene dalla compressione* — poggia su un modello, quindi la domanda centrale della revisione è se quella ripartizione sia robusta.
- **Lo stato onesto è: un meccanismo dimostrato, non un traguardo verso l'energia rivendicato.** Sposta la MTF da “la compressione *dovrebbe* riscaldare il plasma” verso “la compressione *riscalda* il plasma”, e nulla di più grande.

Perché è importante

La cosa interessante della fusione a bersaglio magnetizzato è l'economia, non i record. Se la compressione meccanica può riscaldare un plasma verso le condizioni di fusione, forse ci si arriva senza magneti in scala ITER o laser in scala NIF — una via più economica e più rapida da iterare, *se funziona*. Quel “se” è tutto il gioco, e dipende da checkpoint poco spettacolari come questo: la compressione fornisce davvero il riscaldamento che i modelli promettono? La risposta di LM26, nei suoi primi spari, è un sì con riserva. E vale la pena notarlo proprio *perché* è con riserva — un gradino di una lunga scala, riportato da chi la sta salendo, non ancora verificato da nessun altro, e molto sotto la cima.

Riepilogo pulito

La LM26 di General Fusion ha compresso un plasma magnetizzato di deuterio con un liner di litio implodente e lo ha visto riscaldarsi — più che triplicando la temperatura elettronica fino a un picco misurato di circa 0,72 keV (718 ± 80 eV, ~8 milioni di °C) — con l'analisi dell'azienda che attribuisce la maggior parte del riscaldamento alla compressione stessa, il meccanismo su cui si regge il suo approccio a fusione a bersaglio magnetizzato. È un passo ingegneristico reale e specifico per questa strada verso la fusione. È anche il primo gruppo di 11 spari su una sola macchina, descritto in un preprint aziendale non ancora sottoposto a revisione paritaria, a una temperatura circa dieci volte sotto quella che serve a un plasma che brucia, senza energia netta, senza breakeven, senza elettricità. Un meccanismo mostrato, non una centrale costruita.

Sources

S. J. Howard et al. (General Fusion), The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment, arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (2026)

<https://arxiv.org/abs/2606.23974>

General Fusion, 'General Fusion Achieves Compressional Plasma Heating with LM26 Magnetized Target Fusion Machine' (company announcement, June 2026)

<https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-lm26-magnetized-target-fusion-machine/>

Nature news, 'Nuclear-fusion firm says plant will deliver electricity to grid - but big questions remain' (2026)

<https://www.nature.com/articles/d41586-026-01795-z>