Fusione fredda

Storia, stato dell'arte e un *cookbook* sperimentale
(con tutti i dettagli per chi vuole "cucinarla" in laboratorio)

Manuele Turini

12 novembre 2026 — Distribuito con licenza freeware T-FDL v1.0

Sommario

La "fusione fredda" — o, più prudentemente, *reazione nucleare a bassa energia* (LENR) — è un insieme di fenomeni osservati in celle elettrolitiche con palladio e acqua pesante, che alcuni ricercatori attribuiscono a processi nucleari non convenzionali. A oltre trentacinque anni dall'annuncio di Fleischmann e Pons (1989), il fenomeno non è mai stato riprodotto in modo affidabile e universalmente accettato. Questo documento è pensato per un pubblico divulgativo ma curioso: dopo una ricostruzione storica e scientifica, presenta un "cookbook" sperimentale con ingredienti, tensioni, elettroliti, sistemi di misura e accorgimenti tratti dalla letteratura, con l'esplicito avvertimento che *non esiste una ricetta con esito garantito*.

Licenza d'uso freeware T-FDL v1.0

Quest'opera è distribuita **gratuitamente** come *freeware* con licenza **T-FDL v1.0** (Turini Free Document License), intestata a **Manuele Turini**, che ne detiene ogni diritto. La lettura, la copia, la stampa e la distribuzione sono consentite a titolo personale, didattico e divulgativo, purché l'opera non venga modificata nei contenuti tecnico-scientifici, l'autore sia sempre citato e l'uso non sia commerciale. Il documento è fornito **"così com'è"**, **senza alcuna garanzia** e con **esonero totale di responsabilità** dell'autore per qualsiasi danno, inclusi quelli derivanti da attività sperimentali ispirate al testo. Il testo integrale della licenza è riportato nella Sezione 5 a pagina 8.

Indice

1 Introduzione **3**

2 Un po' di storia **3**

3 Cosa dice la scienza oggi **3**

4 Il "cucinalo da solo": un *cookbook* sperimentale **4**
4.1 Avvertenza preliminare 4
4.2 Sicurezza: le regole d'oro 4
4.3 Ingredienti e attrezzatura 4
4.3.1 La cella elettrolitica 4
4.3.2 Il circuito elettrico 5
4.3.3 Schema della cella 5
4.4 Procedura passo-passo 5
4.4.1 Fase 1 — Preparazione degli elettrodi 5
4.4.2 Fase 2 — Allestimento della cella 6

4.4.3 Fase 3 — Elettrolisi e caricamento 6
4.4.4 Fase 4 — Misura del calore 6
4.5 Sistemi di misura: cosa cercare e cosa evitare 7
4.6 I “segreti dello chef” 7

5 Conclusioni **8**

Avvertenze finali **8**

Licenza d’uso freeware T-FDL v1.0 **8**

Bibliografia essenziale **10**

1 Introduzione

La "fusione fredda" è uno di quei temi che, a distanza di decenni, continua a dividere la comunità scientifica. Da un lato c'è una letteratura sperimentale sterminata, spesso di qualità disomogenea, che riporta eccessi di calore, tracce di elio-4, trasmutazioni e altri segnali anomali. Dall'altro lato c'è una fisica consolidata che non prevede, a temperatura ambiente, la possibilità che due nuclei di deuterio si avvicinino abbastanza da superare la barriera coulombiana, e una serie di tentativi di replica falliti che hanno alimentato lo scetticismo.

Questo documento non intende prendere posizione. Il suo scopo è duplice: offrire una sintesi onesta dello stato dell'arte e descrivere, con il massimo dettaglio possibile, *come* è stato fatto l'esperimento originale e *quali* condizioni sono state indicate dai ricercatori come necessarie per tentare di osservare l'effetto. La seconda parte è un "cookbook" divulgativo: va letto come un esercizio di storia della scienza e di metodologia sperimentale, non come un protocollo convalidato.

2 Un po' di storia

Il 23 marzo 1989, Martin Fleischmann (Università di Southampton) e Stanley Pons (Università dello Utah) annunciarono in una conferenza stampa di aver osservato un *eccesso di calore* in una cella elettrolitica con un catodo di palladio immerso in acqua pesante. L'energia prodotta, secondo i due elettrochimici, non era giustificabile con reazioni chimiche convenzionali e suggeriva un processo di natura nucleare.

L'annuncio, dato in conferenza stampa prima della pubblicazione peer-reviewed, scatenò un'enorme ondata di interesse mediatico e di tentativi di replica. Nel giro di pochi mesi, la maggior parte dei laboratori non riuscì a riprodurre l'effetto termico; i pochissimi che riportarono risultati positivi lo fecero con margini di errore discussi. La comunità scientifica mainstream archiviò rapidamente la vicenda come un caso di errore sperimentale (in particolare, sottostima dell'energia dissipata e dell'evaporazione dell'elettrolita).

Negli anni successivi il campo è sopravvissuto ai margini dell'accademia, con conferenze periodiche (ICCF), riviste dedicate e un piccolo ma tenace gruppo di ricercatori. Nel 2015 Google ha finanziato un progetto pluriennale di repliche controllate che, pur migliorando notevolmente la qualità delle misure, non ha fornito prove definitive del fenomeno. Il dibattito, insomma, è ancora aperto — ma non c'è consenso.

3 Cosa dice la scienza oggi

Dal punto di vista della fisica consolidata, la fusione di due deuteroni a temperatura ambiente richiederebbe di superare una barriera coulombiana dell'ordine del MeV, con probabilità di tunnelling *estremamente* bassa. Per questo motivo, qualsiasi ipotesi di LENR richiede meccanismi nuovi: screening elettronico nel reticolo di palladio, reazioni a catena in microcavità, trasmutazioni a bassa energia, e così via. Nessuna di queste ipotesi è oggi universalmente accettata.

Sul piano sperimentale, i punti critici sono tre:

- **Riproducibilità**: la stragrande maggioranza dei tentativi non produce eccessi di calore significativi.
- **Calorimetria**: molti annunci positivi si sono rivelati errori di misura (evaporazione, gradienti termici, calibrazioni inadeguate).
- **Sottoprodotti nucleari**: le tracce di elio-4, trizio o altri isotopi riportate in letteratura non sono mai state osservate in modo coerente e riproducibile, con rapporti isotopici anomali e in quantità compatibili con l'energia misurata.

Detto questo, la letteratura "eretica" esiste e merita di essere conosciuta. La sezione che segue ne raccoglie i parametri sperimentali più citati, con l'avvertenza — ripetuta più volte, e non per formalità — che *descrivere come si fa un esperimento non equivale a dire che funzioni.*

4 Il "cucinalo da solo": un *cookbook* sperimentale

4.1 Avvertenza preliminare

Quello che segue è un *esercizio divulgativo*. Descrive l'esperimento di Fleischmann-Pons e le varianti più citate, con tutti i parametri tecnici che la letteratura riporta, ma:

1. **non esiste una "ricetta esatta" universale**: l'effetto non è mai stato riprodotto in modo affidabile;
2. la maggior parte dei tentativi di replica *non* produce eccessi di calore;
3. l'esperimento comporta **rischi reali** (esplosione D_2/O_2, sostanze corrosive, elettricità) e va eseguito solo in laboratorio attrezzato, sotto supervisione.

Con queste cautele, passiamo agli ingredienti.

4.2 Sicurezza: le regole d'oro

1. **Gas esplosivi**. L'elettrolisi di acqua pesante produce D_2 al catodo e O_2 all'anodo: una miscela esplosiva. Usare sempre un sistema **aperto** o un **ricombinatore catalitico**; mai sigillare ermeticamente la cella. Lavorare sotto cappa aspirante.
2. **Corrosivi**. LiOD e LiOH sono basi forti: guanti, occhiali, camice.
3. **Contaminazione**. L'acqua normale (H_2O) "avvelena" l'effetto: tutta la vetreria va sciacquata con D_2O prima dell'uso. Evitare contaminazioni da H_2O e da altri solventi.
4. **Controllo**. Eseguire sempre una **cella di riferimento** identica, ma con H_2O + LiOH, in parallelo alla cella di prova con D_2O + LiOD. La differenza tra le due è il segnale cercato.

4.3 Ingredienti e attrezzatura

4.3.1 La cella elettrolitica

Componente	Specifiche tipiche	Note
Contenitore	Pallone Dewar in vetro, capacità 30–350 mL; parte superiore (circa 30%) argentata per ridurre l'evaporazione	Il Dewar è la scelta classica per la calorimetria: riduce le perdite di calore e permette un bilancio energetico più accurato.
Catodo (polo −)	Palladio (Pd) ad alta purezza ($\geq$ 99.9%): filo di 1–2 mm di diametro, barra di 4 mm o tubo di 5 mm (spessore 0.5 mm). Lunghezza attiva tipica 1.2–8.5 cm	Il Pd è la "pentola a pressione" che deve assorbire deuterio nel reticolo. La superficie va pulita e, nei protocolli più recenti, **incrudita a freddo** (levigata, piegata e raddrizzata più volte) per creare difetti cristallini utili all'assorbimento.

Componente	Specifiche tipiche	Note
Anodo (polo +)	Platino (Pt): filo o spirale di 1 mm di diametro, avvolto attorno al catodo a distanza uniforme di pochi mm	Il Pt è inerte e completa il circuito. La geometria a spirale distribuisce il campo elettrico.
Elettrolita (cella di prova)	D_2O (acqua pesante, purezza $\geq 99.7\%$) + **LiOD 0.1 M** (in alternativa 0.1–0.2 N)	Il LiOD rende l'acqua pesante conduttiva. La concentrazione 0.1 M è la più usata nel lavoro originale e nelle repliche.
Elettrolita (cella di riferimento)	H_2O distillata + **LiOH 0.1 M**	Serve a stimare il "rumore di fondo" del sistema. In alternativa si può aggiustare la concentrazione di LiOH per pareggiare la conducibilità con la cella di prova.

4.3.2 Il circuito elettrico

Componente	Specifiche	Note
Alimentatore DC	Regolabile in corrente (modalità **galvanostatica**) e in tensione; capace di erogare almeno 2–5 A	La modalità più usata è a corrente costante. La tensione di cella è una *conseguenza* della geometria e della conducibilità.
Tensione applicata	Tipicamente 8–12 V ai capi della cella. In fase di innesco si possono usare impulsi fino a 50 V per 0.25–0.5 s	La tensione effettiva dipende da distanza tra elettrodi, concentrazione dell'elettrolita e area.
Densità di corrente catodica	60–600 mA/cm^2 nei protocolli tipici; alcuni protocolli arrivano a 2700 mA/cm^2 in fasi di caricamento spinto	È la variabile chiave per "spingere" il deuterio nel reticolo di palladio.
Data logger	Multimetro o DAQ per misurare tensione, corrente e temperatura nel tempo, con acquisizione almeno ogni 10 s	La registrazione continua è essenziale: senza una serie temporale non si può calcolare né l'energia in ingresso né quella in uscita.

4.3.3 Schema della cella

4.4 Procedura passo-passo

4.4.1 Fase 1 — Preparazione degli elettrodi

1. **Pulizia del catodo di Pd**: levigare la superficie con carta abrasiva fine, sciacquare con acqua distillata e poi con D_2O. Nei protocolli più recenti il filo viene **incrudito a freddo** (piegato e raddrizzato più volte) per aumentare la densità di dislocazioni e di vacanze nel reticolo.

2. **Preparazione dell'anodo di Pt**: avvolgere il filo di Pt a spirale attorno al catodo, mantenendo una distanza uniforme di pochi mm. La distanza influisce sulla tensione di cella e sulla distribuzione del campo.

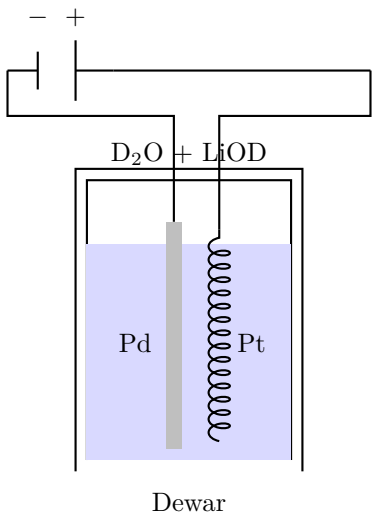


Figura 1: Schema semplificato della cella elettrolitica tipo Fleischmann-Pons: catodo di palladio (polo negativo), anodo di platino a spirale (polo positivo), elettrolita D_2O + LiOD in Dewar.

4.4.2 Fase 2 — Allestimento della cella

1. Versare l'elettrolita: nella cella di prova **D_2O + 0.1 M LiOD**; nella cella di riferimento **H_2O + 0.1 M LiOH**. Volume tipico: 30 mL (Dewar piccolo) fino a 90–350 mL.

2. Inserire gli elettrodi: catodo di Pd al polo **negativo**, anodo di Pt al polo **positivo**. Assicurarsi che siano ben immersi e che non si tocchino.

3. Chiudere la cella lasciando uno sfiato per i gas; se si vuole limitare l'evaporazione, si può aggiungere uno strato di olio minerale o un tappo forato. **Mai** sigillare ermeticamente senza ricombinatore.

4.4.3 Fase 3 — Elettrolisi e caricamento

1. Applicare la corrente in modalità **galvanostatica**. Partire da densità di corrente moderate (60–100 mA/cm^2) e osservare la tensione di cella, che dovrebbe stabilizzarsi intorno a 8–12 V (a seconda della geometria e della concentrazione).

2. **Caricamento del palladio**: il rapporto atomico **D/Pd** (atomi di deuterio per atomo di palladio) deve superare una soglia critica. La letteratura indica che sotto **D/Pd** ≈ 0.87 non si osserva mai calore anomalo; sopra questa soglia l'effetto diventa *possibile*, non garantito. Per raggiungere rapporti elevati (0.9–1.1) possono servire da alcune ore a centinaia di ore di elettrolisi continua.

3. **Cicli di carica/scarica** (opzionale): alcuni protocolli alternano periodi di corrente catodica a brevi inversioni di polarità, per "stressare" il reticolo e favorire l'assorbimento. Un protocollo recente (2022) suggerisce tre fasi: (i) Pd incrudito a freddo con D/Pd iniziale > 0.8; (ii) cicli di carica/scarica per portare D/Pd medio oltre 0.9; (iii) elettromigrazione per spingere localmente D/Pd fino a 1.14, creando una fase "a super-vacanze" (Pd_3VacD_4) considerata da alcuni l'ambiente nuclearmente attivo.

4.4.4 Fase 4 — Misura del calore

1. Registrare **temperatura interna** (termocoppia nel bagno), **temperatura esterna** (ambiente o mantello), **tensione** e **corrente** a intervalli regolari (es. ogni 10 s).

2. Calcolare la **potenza elettrica in ingresso**:

$$P_{\text{in}} = V \cdot I. \tag{1}$$

3. Calcolare la **potenza termica in uscita**. Con calorimetria isoperibolica in Dewar, a regime stazionario:

$$P_{\text{out}} = K\,(T_{\text{cella}} - T_{\text{bagno}}), \tag{2}$$

dove K è il coefficiente di scambio termico del Dewar, da calibrare con un riscaldatore di potenza nota. Con calorimetria a flusso:

$$P_{\text{out}} = \dot{m}\, c_p\, \Delta T, \tag{3}$$

dove $\dot{m}$ è la portata massica del fluido di raffreddamento, c_p il calore specifico e ΔT la differenza di temperatura tra ingresso e uscita.

4. L'**eccesso di potenza** è:

$$P_{\text{excess}} = P_{\text{out}} - P_{\text{in}}. \tag{4}$$

5. Confrontare con la cella di riferimento: un eccesso significativo dovrebbe comparire *solo* nella cella con D_2O/LiOD e superare le incertezze stimate dalla cella di controllo.

4.5 Sistemi di misura: cosa cercare e cosa evitare

Parametro	**Strumento tipico**	**Attenzione**
Temperatura	Termocoppie tipo K o T, termistori calibrati	Devono essere calibrati e posizionati in punti rappresentativi. Gradienti termici nel Dewar possono falsare la misura se non c'è mescolamento.
Tensione di cella	Multimetro digitale ad alta impedenza	Misurare ai capi degli elettrodi, non ai terminali dell'alimentatore (cadute di tensione sui cavi).
Corrente	Amperometro o shunt calibrato	Verificare che la corrente reale coincida con quella impostata.
Gas evoluti	Flussimetro o sistema di ricombinazione	In sistema aperto, D_2 e O_2 vengono rilasciati: la loro portata dà un'indicazione indiretta della velocità di reazione.
Sottoprodotti nucleari (opzionale)	Rivelatori di neutroni, spettrometro di massa per elio e trizio	Fleischmann e Pons riportarono tracce di ^{4}He e trizio, ma i risultati non sono mai stati replicati in modo affidabile.

4.6 I "segreti dello chef"

- **Non tutto il palladio è uguale.** La microstruttura (grani, dislocazioni, vacanze) influenza la capacità di assorbire deuterio. Alcuni ricercatori ottengono risultati migliori con Pd incrudito a freddo o con film sottili depositati elettroliticamente.
- **La soglia D/Pd.** D/Pd > 0.87 è una condizione necessaria (ma non sufficiente). Più si supera questa soglia, maggiore è la probabilità — ma non la certezza — di osservare calore anomalo.

- **Il "poisoning" da acqua normale.** Anche piccole contaminazioni di H_2O possono abbattere il segnale: usare D_2O ad alta purezza ($\geq 99.7\%$) e lavorare in ambiente pulito.
- **La pazienza.** Quando l'effetto si manifesta, può richiedere centinaia di ore di elettrolisi. Non è un esperimento da pomeriggio.
- **La cella di controllo.** Senza una cella di riferimento con H_2O/LiOH, qualsiasi misura di eccesso di calore è priva di significato.

5 Conclusioni

La fusione fredda resta uno dei capitoli più controversi della scienza del Novecento. Il "cookbook" che abbiamo presentato descrive *come* è stato fatto l'esperimento e *quali* condizioni sono state indicate come necessarie, ma non può e non vuole garantire alcun risultato: la stragrande maggioranza delle repliche non ha prodotto eccessi di calore significativi, e il fenomeno non è oggi dimostrato in modo inequivocabile.

La lezione metodologica, però, è preziosa: la calorimetria è difficile, la riproducibilità è tutto, e la fretta mediatica può fare molto male alla scienza. Che la LENR si riveli un giorno un fenomeno reale o un errore collettivo, il modo in cui è stata (e viene) indagata resta un caso di studio affascinante.

Avvertenze finali

AVVERTENZA — Esonero di responsabilità

1. **Nessuna garanzia di successo.** Questo documento descrive un esperimento storico e le sue varianti, non un protocollo convalidato.
2. **Rischio di esplosione.** La miscela D_2/O_2 è esplosiva: usare sistemi aperti o ricombinatori, mai sigillare la cella.
3. **Rischio chimico.** LiOD e LiOH sono corrosivi: guanti, occhiali, camice.
4. **Solo in laboratorio attrezzato.** L'esperimento va eseguito sotto supervisione, con impianto elettrico e di ventilazione adeguati.
5. **Responsabilità dell'esecutore.** Qualsiasi attività sperimentale ispirata a questo documento è di esclusiva responsabilità di chi la esegue. L'autore declina ogni responsabilità per danni a persone, cose o ambiente.

Licenza d'uso freeware T-FDL v1.0

Turini Free Document License (T-FDL) — versione 1.0

Copyright © 2026 **Manuele Turini**. Tutti i diritti riservati.

La presente licenza disciplina l'uso dell'opera intitolata *"Fusione fredda: guida divulgativa e cookbook sperimentale"* (di seguito, "l'Opera"), comprensiva di testo, tabelle, figure, equazioni, codice LaTeX e ogni altro materiale in essa contenuto.

1. Concessione d'uso

È concessa a chiunque, a titolo **gratuito**, una licenza **non esclusiva** e **non trasferibile** per leggere, scaricare, copiare, stampare, distribuire e utilizzare l'Opera per scopi **personali, didattici e divulgativi**, alle seguenti condizioni:

a) il nome dell'autore originario (**Manuele Turini**) e il testo integrale della presente licenza siano sempre riportati in modo chiaro, integro e ben visibile;

b) l'Opera non venga modificata nei contenuti tecnico-scientifici senza esplicita autorizzazione scritta dell'autore;

c) l'Opera non venga utilizzata per scopi commerciali senza preventivo consenso scritto dell'autore.

2. Divieto di attribuzione

Chiunque distribuisca copie dell'Opera non può attribuirsene la paternità, né presentarla, in tutto o in parte, come opera propria o di terzi.

3. Esonero di responsabilità (disclaimer)

L'OPERA È FORNITA **"COSÌ COM'È"** ("AS IS"), SENZA ALCUNA GARANZIA ESPLICITA O IMPLICITA, INCLUSE, A TITOLO ESEMPLIFICATIVO E NON ESAUSTIVO, LE GARANZIE DI COMMERCIABILITÀ, IDONEITÀ PER UNO SCOPO PARTICOLARE, ACCURATEZZA DEI CONTENUTI, COMPLETEZZA E NON VIOLAZIONE DI DIRITTI DI TERZI. L'AUTORE NON FORNISCE ALCUNA GARANZIA CIRCA LA CORRETTEZZA, L'AFFIDABILITÀ O LA SICUREZZA DELLE INFORMAZIONI, DELLE PROCEDURE E DEI DATI IN ESSA CONTENUTI.

4. Limitazione di responsabilità

In nessun caso l'autore **Manuele Turini** potrà essere ritenuto responsabile per qualsiasi danno **diretto, indiretto, incidentale, speciale, esemplare o consequenziale** (inclusi, senza limitazione, danni alla persona, danni materiali, perdita di dati, danni economici o mancato guadagno) derivanti dall'uso, dall'interpretazione o dall'impossibilità di usare l'Opera, anche qualora l'autore fosse stato avvertito della possibilità di tali danni.

5. Attività sperimentali pericolose

L'Opera descrive procedure sperimentali che comportano **rischi significativi** per la salute e la sicurezza (gas esplosivi, sostanze corrosive, elettricità, radiazioni). **QUALSIASI ATTIVITÀ SPERIMENTALE Ispirata ALL'OPERA È DI ESCLUSIVA RESPONSABILITÀ DI CHI LA ESEGUE**, il quale deve adottare tutte le precauzioni previste dalla normativa vigente e operare sotto la supervisione di personale qualificato, in laboratori idonei e con le necessarie autorizzazioni. L'autore declina ogni e qualsiasi responsabilità per infortuni, danni a persone o cose, contaminazioni ambientali o conseguenze legali derivanti da attività sperimentali svolte da terzi sulla base dell'Opera.

6. Nessuna garanzia di risultato

L'autore non garantisce che gli esperimenti descritti possano essere riprodotti con successo, né che producano alcun risultato scientificamente valido. L'Opera ha finalità esclusivamente divulgative, storiche e metodologiche.

7. Accettazione dei termini

La lettura, l'uso o la distribuzione dell'Opera implicano l'**accettazione integrale** dei presenti termini. Chi non accetta tali termini è tenuto a non utilizzare l'Opera.

8. Legge applicabile e foro competente

La presente licenza è regolata dalla **legge italiana**. Per qualsiasi controversia derivante dall'interpretazione o dall'esecuzione della presente licenza sarà competente in via esclusiva il **Foro di Pisa**.

Manuele Turini — 12 novembre 2026

Bibliografia essenziale

Riferimenti bibliografici

[1] M. Fleischmann, S. Pons, *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*, J. Electroanal. Chem. **261** (1989) 301–308.

[2] M. Fleischmann, S. Pons, M. Hawkins, *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium (Errata)*, J. Electroanal. Chem. **263** (1989) 187–188.

[3] Proceedings of the International Conferences on Cold Fusion (ICCF), varie edizioni, 1990–oggi.

[4] C. P. Berlinguette et al., *Revisiting the cold case of cold fusion*, Nature **570** (2019) 45–51.

[5] AA.VV., *The Fleischmann–Pons heat effect: a review of the "three-stage" protocol and the role of the Pd_3VacD_4 phase*, Revisione apparsa in letteratura LENR, 2022 (riferimento divulgativo).

[6] J. R. Huizenga, *Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century*, University of Rochester Press, 1992.

[7] G. Taubes, *Bad Science: The Short Life and Weird Times of Cold Fusion*, Random House, 1993.

[8] M. Turini, *Turini Free Document License (T-FDL) v1.0*, 2026. Documento rilasciato con l'Opera.

[9] D. Lgs. 81/2008 (Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro) e s.m.i., con particolare riferimento al Titolo VIII (agenti chimici) e al Titolo III (attrezzature e impianti).