



## Reazioni nucleari a bassa energia; prospettive di utilizzo nei settori militare e civile

### EXECUTIVE SUMMARY

*Angelantonio Rosato*

Angelantonio Rosato  
cura l'area "Settore  
Energetico" per  
L'Osservatorio  
Strategico del CeMiSS

Per reazioni nucleari a bassa energia, più comunemente note come «fusione fredda», si intende una classe di esperimenti – eseguiti a temperatura ambiente - volti a ottenere energia originata dalla fusione dei nuclei di atomi di idrogeno (deuterio o trizio). Si parla di *classe* perché non si tratta di un solo tipo di esperimento, ma di una serie di tecniche accomunate da alcuni principi fisici di base.

Questo studio consta di una prima parte introduttiva su nomenclatura e reazioni di fusione, che serve a classificare ed evitare confusione per il seguito. Seguono poi i vari tipi di esperimenti, le spiegazioni scientifiche date ed alcune brevi considerazioni finali.

### Nozioni di base: nomenclatura

Atomo: nucleo (composto da protoni e neutroni) e elettroni che “girano attorno” al nucleo. Protoni e neutroni sono particelle molto più pesanti (in termini di massa) degli elettroni, hanno quindi un'energia associata più elevata (Einstein: massa=energia).

Reazione chimica: avviene tra atomi, ovvero per interazione degli elettroni. Le energie in gioco sono dell'ordine degli elettronvolt (simbolo eV).

Reazione nucleare: avviene tra i nuclei degli atomi, ovvero per interazione tra protoni e neutroni. Le energie in gioco sono dell'ordine dei milioni di elettronvolt (simbolo MeV).

Idrogeno: atomo fatto da 1 protone (p, carica positiva) e 1 elettrone (e<sup>-</sup>). Indicato con simbolo H.

Deuterio: atomo fatto da 1 protone (p, carica positiva) e 1 elettrone (e<sup>-</sup>) e 1 neutrone (carica neutra). E' in pratica un idrogeno con il nucleo più pesante, ma è *chimicamente uguale* all'idrogeno (stesso numero di elettroni). Il deuterio è indicato, nella letteratura scientifica, con il simbolo D o con <sup>2</sup>H.

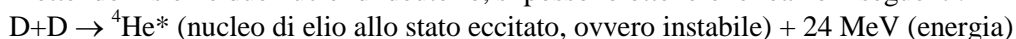
Acqua pesante: è acqua (formula H<sub>2</sub>O) nella quale si è sostituito il deuterio all'idrogeno; per questo ha la stessa formula chimica (D<sub>2</sub>O) ma è detta pesante perché il deuterio è più pesante dell'idrogeno.

Trizio: come il deuterio, ma con 1 protone e 2 neutroni. E' instabile e quindi radioattivo, ovvero tende a decadere con reazioni nucleari.

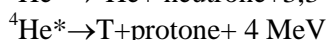
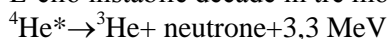
Reazioni nucleari, elementi stabili e conservazione dell'energia: la struttura dei nuclei (protoni + neutroni) si basa sulle forze nucleari che tengono insieme queste particelle di carica neutra o positiva. Ad ogni configurazione del nucleo corrisponde una certa energia, tale per cui i nuclei possono scindersi in modo spontaneo (è questo il decadimento radioattivo), rompersi a causa dei neutroni (è la fissione) o fondersi (è la fusione) se questo li porta ad avere un'energia più bassa, ovvero ad essere un sistema più *stabile*. L'energia rilasciata è quella che noi poi utilizziamo, come accade per esempio nelle normali centrali nucleari (a fissione).

### Fusione nucleare

Mettendo insieme due nuclei di deuterio, si possono ottenere le reazioni seguenti:



L'elio instabile decade in tre modi:



I primi due meccanismi di dis-eccitazione sono i più probabili (50% di probabilità), mentre il terzo ha *una possibilità su un milione* di accadere (questo particolare è da tenere a mente per il seguito).

Il punto cruciale al fine di permettere la fusione dei due nuclei di deuterio è sormontare la repulsione coulombiana (elettrostatica) tra i nuclei stessi, che sono elettricamente carichi. Questo viene fatto nella fusione nucleare "standard" portando il deuterio allo stato di plasma ad altissima temperatura, in modo tale che l'energia cinetica dei nuclei, dovuta all'agitazione termica, permetta loro di avvicinarsi sufficientemente per superare la forza repulsiva elettrostatica ed essere uniti dalla forza attrattiva nucleare.

Gli altri (possibili) meccanismi di fusione fredda, che verranno analizzati di seguito, si basano sulla possibilità di superare questa repulsione elettrostatica non con l'agitazione termica, ma sfruttando altri meccanismi fisici.

### **Possibili meccanismi di fusione fredda:**

- 1) **Fusione catalizzata da muoni**
- 2) **Cella di Fleischmann-Pons**
- 3) **Esperimenti di Piantelli-Focardi-Rossi e l'E-cat**
- 4) **"Brillouin boiler"**
- 5) **Piezonucleare**

Vediamo nel dettaglio queste reazioni.

#### 1. Fusione catalizzata da muoni

Si tratta dell'unico meccanismo di fusione fredda 'riconosciuto' dalla scienza ufficiale, e studiato alla fine degli anni '50. Esso si basa sul fatto che esistono dei muoni, ovvero particelle nucleari di carica negativa, più pesanti degli elettroni ma più leggeri di protoni e neutroni. I muoni catalizzano (i.e. favoriscono) la reazione di fusione in questo modo: essi funzionano da carica negativa che attrae al contempo due nuclei di deuterio (positivi); in questo modo si crea una 'molecola' di deuterio con due nuclei positivi legati dal muone. Essendo però il muone più pesante dell'elettrone, secondo la teoria atomica di Bohr tale muone avrà un'orbita attorno ai due nuclei più piccola, in modo tale che i nuclei si troveranno sufficientemente vicini per favorire la fusione grazie all'*effetto tunnel*, un effetto tipico della meccanica quantistica.

Questo tipo di meccanismo di fusione presenta essenzialmente due svantaggi, legati proprio al fatto di usare dei muoni:

- lo scarso guadagno energetico, inteso come la differenza tra l'energia ricavata dalla fusione e quella che è necessaria spendere per produrre muoni;
- la difficoltà di gestire i muoni, che tendono a decadere o legarsi agli atomi prodotti, quindi in qualche modo a scomparire nel corso della reazione.

Di conseguenza, la fusione catalizzata da muoni è valida da un punto di vista scientifico, ma di difficile realizzazione da un punto di vista tecnologico.

## 2. Cella di Fleischmann-Pons

Iniziamo qui la parte 'scottante' dell'argomento.

La cella di Fleischmann-Pons è una cella elettrolitica 'standard', composta da un catodo e un anodo (poli positivi e negativi) immersi in un liquido, detto elettrolita. In questa cella viene immessa corrente (ovvero energia) mediante dei fili collegati ad anodo e catodo, con l'obiettivo di indurre reazioni chimiche nella cella, come ad esempio di dissociazione dell'elettrolita. In altre parole, si fornisce energia per ottenere delle reazioni.

Nell'esperimento di Fleischmann-Pons, l'elettrolita è acqua pesante (vedi nomenclatura), mentre il catodo metallico è fatto da un cristallo Palladio (Pd). La reazione complessiva, in questo schema, funzionerebbe (il condizionale è d'obbligo) in due stadi:

- la cella elettrolitica, mediante la corrente elettrica immessa, dissocia l'acqua pesante, permettendo l'inserzione di deuterio all'interno del reticolo cristallino del catodo di Pd.
- all'interno del catodo di Pd, i nuclei di deuterio riescono *in qualche modo* – ad esempio grazie all'interazione con il reticolo cristallino – a vincere la repulsione elettrostatica ed effettuare la fusione.

L'osservazione di F.-P. è che l'energia rilasciata nella cella fosse di gran lunga maggiore rispetto a quella immessa tramite la corrente elettrica, e con ordini di grandezza incompatibili con una semplice reazione chimica, ma di probabile origine nucleare. Ora, mentre il primo stadio della reazione di F.-P. è ben conosciuto dalla scienza, il secondo è, dal punto di vista teorico e sperimentale, il punto debole di tutto il discorso.

Dal punto di vista sperimentale, il problema di base è la mancata rilevazione di un corretto numero particelle derivanti dalle reazioni di fusione deuterio-deuterio (vedi introduzione), come neutroni, protoni, Trizio o  $^3\text{He}$ , che dovrebbero essere invece presenti in modo abbondante se una vera fusione è stata ottenuta. Al contrario, in sede di riproduzione di questi esperimenti molti studiosi hanno rilevato particelle di  $^4\text{He}$  e raggi gamma, ovvero come se la reazione di fusione deuterio-deuterio nel cristallo di Pd desse luogo solo alla terza possibilità di decadimento dell'elio eccitato, quella che ha un milionesimo di probabilità di accadere.

Dal punto di vista teorico, i sostenitori della fusione fredda con il metodo di F.-P., come il defunto prof. Preparata di Milano e, a suo tempo, J. Schwinger (premio Nobel 1965) hanno ipotizzato, con più o meno convinzione, che la particolarità di questa reazione risieda nel fatto che la fusione avviene all'interno di un reticolo cristallino invece che nel vuoto. Il reticolo 'assisterebbe' la fusione grazie alla struttura elettronica (e fononica), al contempo esercitando una 'pressione' sui nuclei di deuterio – quindi spingendoli a fondersi, se c'è un fattore di caricamento del cristallo tale che per quasi ogni atomo di Pd è stato inserito un deuterio – e poi modificando, sempre a causa del cristallo, anche le probabilità di decadimento dell'elio eccitato. In altre parole, l'ipotesi è che la particolare reazione di fusione che avverrebbe nel cristallo metallico di Pd segua regole diverse da quelle della fusione nucleare nel plasma ad alta temperatura (da questo tipo di interazione reticolo-nuclei viene il nome di '*condensed matter nuclear reactions*' con il quale molti ricercatori cercano di "camuffare" la fusione fredda). Va sottolineato che queste tesi non sono accettate dalla comunità scientifica.

Il problema della riproducibilità è stato il primo ad essere sollevato dalla scienza ufficiale di fronte agli esperimenti di F.-P. La riproducibilità degli esperimenti e la falsificabilità delle teorie sono, secondo l'epistemologo Karl Popper, il cardine della ricerca scientifica. Quindi un esperimento difficilmente riproducibile e con risultati contrastanti a seconda di chi lo ripete, e

incostanti per coloro a cui l'esperimento riesce (spesso i ricercatori dicevano di vedere un'emissione di energia improvvisa e prolungata, ma dopo periodi di tempo variabili) porta scarse garanzie di credibilità.

Considerazioni su questa tecnologia e le sue applicazioni civili e militari sono molte, a cominciare dai problemi interni all'ENEA, al quale negli anni 2000 era stato chiesto dal presidente di allora, Rubbia, di occuparsi di fusione fredda del tipo F.-P. Le ricerche fatte da A. Di Ninno hanno portato al cosiddetto "Rapporto 41" (vedi in Documentazione bibliografica), che sembrava favorevole nei confronti di questo metodo; tuttavia sono sorte anche molte polemiche.

Oltre all'ENEA, l'unico altro ente di ricerca che ha continuato gli esperimenti è lo SPAWAR – Space and Naval Warfare Systems Center Pacific di San Diego, dipendente dall'US Navy, e che è alla base del rapporto del Department of Energy USA del 2004 che si trova nella sezione Documentazione bibliografica.

Il fatto che un tale sistema di produzione di energia interessi la US Navy è facile da capire, in quanto si basa sulle stesse motivazioni alla base dello sviluppo dei reattori nucleari civili dei primi anni '50 in America grazie al genio ed alla determinazione dell'Ammiraglio Hyman Rickover: la possibilità di avere uno strumento di produzione di energia compatto e senza bisogno di approvvigionamenti regolari a brevi intervalli di tempo, ideale per la propulsione di sottomarini.

In ambito di ricerca, inoltre, è da segnalare anche l'attività del MIT, che – senza mettersi in ballo esplicitamente – continua a fare *veglia* tecnologica sul soggetto.

Infine, l'unico altro Paese a continuare le ricerche sembra essere il Giappone, per esempio il prof. Arata dell'Università di Osaka (il cui lavoro però non sembra essere molto attendibile, almeno secondo le fonti aperte consultabili su internet).

### 3. Esperimenti di Piantelli-Focardi-Rossi e l'E-cat

Questo tipo di fusione fredda avviene in realtà a temperature più alte degli esperimenti precedenti, intorno ai 300 °C, tuttavia estremamente inferiori alle temperature delle fusioni nucleari da plasma.

Per ora si hanno solo approcci basati sull'osservazione di quello che accade nell'apparato sperimentale, senza valide speculazioni teoriche. La proposta di Piantelli-Focardi è quella di utilizzare una barra di nichel (Ni) riscaldata da una resistenza elettrica, sulla quale viene poi fatto *adsorbire* (cioè penetrare nella barretta di Ni, grazie alla pressione) dell'idrogeno (H), con l'idea di ottenere reazioni nucleari del tipo  $Ni+H \rightarrow Cu$  (rame) + energia.

Anche in questo caso mancano riscontri sperimentali della riproducibilità dell'esperimento, che ha dato esiti diversi a seconda dei vari gruppi di ricerca (Bologna, CERN, Pavia). E soprattutto manca l'osservazione evidente, in tutti gli esperimenti, della produzione di neutroni, raggi gamma o trizio.

Su questa idea di reattore di fusione al Ni si basa l'Energy-catalizer (E-cat) dell'imprenditore Andrea Rossi. Questi sostiene di aver costruito tale macchina, dalla quale riesce a ottenere energia di origine nucleare, e ottenerne poi del vapore. Queste affermazioni hanno scatenato forti critiche; è possibile trovare on-line moltissimi dibattiti. Da un punto di vista scientifico non è nemmeno possibile decidere se quella di Rossi sia una frode o meno, visto che questi si rifiuta di mostrare alla comunità scientifica come funziona il suo E-cat (adducendo segreto industriale). Molti scettici lo accusano di misurare la temperatura nel punto sbagliato del reattore, o di 'falsare' il bilancio di energia, ritenendo che il vapore emesso dall'E-cat sia vapore umido, ovvero una miscela di acqua e vapore, che si ottiene quando l'energia prodotta non è sufficiente a vaporizzare appieno tutta l'acqua del serbatoio connesso all'E-cat.

Questo tipo di reazione, se gli esperimenti di Rossi non dovessero essere smentiti, avrebbe un impatto importante in ambito civile, in quanto Rossi intende già commercializzare queste macchine.

Rossi subisce la concorrenza di una società greca, la Defkalion, basata sullo stesso progetto di fusione.

#### 4. “Brillouin boiler”

Si tratta di una tecnologia statunitense, presentata dalla società BEC, che riprende e modifica al contempo le idee di Fleischmann-Pons e Focardi. Si usa sempre un sistema nichel+idrogeno, ma invece di aspettarsi una reazione nucleare del Ni con H, si sostiene che la produzione di energia è data da reazioni dovute al solo idrogeno.

Lo schema di reazione presentato dalla BEC è il seguente: si immette idrogeno in una barra di nichel (o altro metallo), e in seguito si avvia una serie di impulsi elettromagnetici (Q pulse) tali da favorire una reazione nucleare conosciuta come cattura elettronica, ovvero  $1 \text{ protone} + 1 \text{ elettrone} \rightarrow 1 \text{ neutrone} + \text{neutrino}$ . I neutroni così creati vanno ad essere incorporati dall'idrogeno, che diventa deuterio, poi trizio, infine  $^4\text{H}$  (un idrogeno con tre neutroni: molti scienziati sono scettici sulla reale possibilità di ottenerlo); infine,  $^4\text{H}$  decade essendo instabile formando elio e rilasciando energia. Secondo i tecnici della BEC, il fatto di essere in un reticolo cristallino favorisce tale catena di reazioni (ma in modo diverso da quanto sostenuto da Preparata per la reazione F.-P.). Questa catena di reazioni è detta “controller electron capture reactions”.

Anche qui, l'aspetto di uso civile è evidente, visto che la BEC è una società che intende commercializzare questo “boiler”.

#### 5. Piezonucleare

Il piezonucleare è salito all'onore delle cronache pochi mesi fa, a seguito della presentazione di A. Carpinteri, prof. del Politecnico di Torino, messo a capo dell'INRIM di Torino, assistito da F. Carbone, del CNR. Costoro sostengono che, rompendo un blocco di granito con una pressione meccanica, si rilevano dei neutroni, per il fatto che la pressione avvicinerrebbe o riuscirebbe a fissionare (secondo loro) i nuclei degli atomi di elementi *stabili* come il ferro, presenti all'interno della pietra; e questo sarebbe confermato dall'osservazione di neutroni. Secondo molti esponenti della comunità scientifica, queste rivendicazioni sono contrarie a tutte le leggi della fisica, e vanno persino contro il principio di conservazione dell'energia: come si possa infatti fissionare un nucleo stabile, quindi ad energia nulla, ottenendo due nuclei a energia positiva resta un mistero. La tesi non è attendibile per il migliaio di ricercatori italiani che hanno firmato una petizione di protesta al CNR, visto che imputa tali reazione a presunti effetti di deformazione dello spazio-tempo.

In conclusione, data l'incertezza scientifica intorno ai vari esperimenti e teorie proposti, è troppo presto per poter parlare seriamente di prospettive di utilizzo nei settori militare e civile della cosiddetta “fusione fredda”.

#### **Documentazione bibliografica**

- Report ENEA (2008):

[http://www.sede.enea.it/com/ingl/New\\_ingl/publications/pdf/Cold\\_Fusion\\_Italy.pdf](http://www.sede.enea.it/com/ingl/New_ingl/publications/pdf/Cold_Fusion_Italy.pdf)

- Report DOE degli USA (2004):

[http://web.archive.org/web/20080226210800/http://www.science.doe.gov/Sub/Newsroom/News\\_Releases/DOE-SC/2004/low\\_energy/CF\\_Final\\_120104.pdf](http://web.archive.org/web/20080226210800/http://www.science.doe.gov/Sub/Newsroom/News_Releases/DOE-SC/2004/low_energy/CF_Final_120104.pdf)

- Presentazione dell' US Navy SPAWAR Research center (2009):

<http://bisbee.net/wp/wp-content/uploads/2011/12/SPAWAR-MAY-9-2009.pdf>

#### **Ringraziamenti**

Si ringrazia sentitamente per la consulenza scientifica e tecnica Massimiliano Picciani, ing. nucleare e PhD, Politecnico di Milano.