

LOW ENERGY NUCLEAR REACTIONS

Roma, Lunedì 15 luglio 2013
Aula CIRPS, Piazza San Pietro in Vincoli 10
Ore 10.30

Da Leda alla Costantana

Prof. *Massimo Scalia*, CIRPS – La Sapienza, Roma

Partire col piede sbagliato

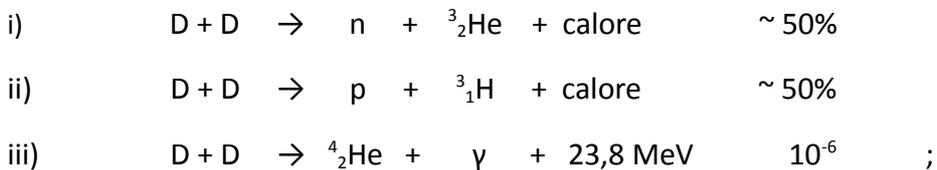
Martin Fleischmann e Stanley Pons convocano la conferenza stampa il 23 marzo 1989. È del tutto irrituale annunciare i risultati di un esperimento, per di più tramite una conferenza stampa, prima che siano stati pubblicati su una rivista scientifica, ma l'università dello Utah, dove si sono svolte le ultime ricerche, preme per un annuncio pubblico e forse anche loro – ci hanno lavorato sopra per sei anni mettendoci 100mila \$ di tasca loro – sono tentati dallo stabilire una priorità sulla ricerca e sugli eventuali brevetti. Le critiche, che esploderanno nelle settimane successive, per il momento tacciono perché Fleischmann è uno dei leader mondiali dell'elettrochimica e il contesto generale è quello del dopo la prima grande crisi energetica del 1973 e della catastrofe nucleare di Chernobyl (1986). Grande attenzione perciò a una possibile nuova fonte energetica, una reazione nucleare di fusione a temperatura ambiente, una "fusione fredda", che sembra, proprio per questo, impossibile.

Nel loro dispositivo sperimentale – una cella elettrolitica, posta in un termostato e riempita di una soluzione di *acqua pesante* – F & P hanno trovato un eccesso d'energia, cioè più energia di quella impiegata per alimentare la cella elettrolitica con la corrente continua. Una produzione di calore 'anomala' però, molto più elevata di quella ascrivibile a reazioni di tipo chimico, anche di quelle esplosive: può essere solo una reazione di fusione. È una sorta di trauma per il mondo scientifico, perché la *fusione fra atomi leggeri*, quella alla base della bomba H – la *fissione* riguarda invece *atomi pesanti* come l'Uranio – , richiede una temperatura altissima. Circa 60 milioni di gradi per la fusione tra due Deutoni, i nuclei di Deuterio, che è proprio la reazione che F & P proclamano.

Nella soluzione elettrolitica dell'esperimento, il Deuterio ($D = {}^2_1\text{H}$) – l'isotopo dell'Idrogeno con un neutrone in più – è presente con una concentrazione superiore a quella naturale, l'*acqua pesante*, appunto ($\text{D}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$). E il 'miracolo' appare dovuto alla particolare capacità del Palladio (Pd), il metallo del catodo della cella, di assorbire l'Idrogeno (${}^1_1\text{H}$) e i suoi isotopi, come il Deuterio, "caricandosi" al punto tale che i nuclei di D si avvicinino fino a *fondersi a temperatura ambiente*.

Le reazioni di fusione tra atomi leggeri erano già allora oggetto di ricerca da quasi quarant'anni, e la speranza di Edward Teller, uno dei padri della bomba H, che si potesse passare dalla "bomba a Idrogeno" alla produzione d'energia a fini civili, come era accaduto per la fissione, anche se

cominciava a incrinarsi (le previsioni tecnico-scientifiche in materia sono storicamente tra le meno azzeccate), non privava certo la ricerca sulla fusione di colossali budget. A maggior ragione c'erano dei "fondamentali" che non potevano essere violati, e non era solo la questione della temperatura. Guardando alla reazione di fusione più semplice, quella tra due atomi di Deuterio rivendicata da F & P, essa può avvenire secondo questi tre canali



si tratta di *confinare il plasma* di Deutoni, i nuclei di ${}^2_1\text{H}$, per vincere la "barriera coulombiana", cioè la repulsione elettrostatica tra le cariche uguali (positive) dei Deutoni, in modo che i nuclei possano avvicinarsi al punto tale da fondere; e il confinamento si realizza solo a temperature molto elevate. Queste condizioni non erano verificate nell'esperimento F & P, ma *se fusione è ci devono essere in uscita dalla reazione i prodotti previsti nei tre canali*: neutroni, raggi γ o X, il Trizio T = ${}^3_1\text{H}$, l'Elio = ${}^4_2\text{H}$ o il suo isotopo ${}^3_2\text{He}$.

L'Elio compare solo nel terzo canale, quello assai meno probabile, perché la gran parte decade immediatamente secondo le prime due reazioni. Il MeV è una misura d'energia usata nel mondo subatomico, pari a 10^6 eV ($1\text{eV} = 1,60 \cdot 10^{-19}$ J).

L'esperimento di F & P non è però un fungo bizzarro. Già negli anni '20 del secolo scorso due ricercatori austriaci – Friedrich Paneth e Kurt Peters – affermano di aver trovato Elio in una catalisi nucleare spontanea a temperatura ambiente, quando dell'Idrogeno viene assorbito da Palladio finemente suddiviso. Nel 1927 J.Tandberg afferma di aver fuso Idrogeno in Elio in una cella elettrolitica con elettrodi di Pd e, quando nel 1932 viene scoperto il Deuterio, prosegue gli esperimenti con *l'acqua pesante* in modo molto simile a quello che faranno F & P. Però, poiché Paneth e Peters ritrattano i loro risultati, Tandberg non ottiene il brevetto.

Nell'immediato Dopoguerra prende spazio, tra i protagonisti Andrei Sacharov, la ricerca per la *fusione a temperatura ambiente catalizzata dai muoni*, che sono particelle subatomiche simili agli elettroni ma di massa 207 volte superiore.

Se un muone sostituisce un elettrone in una molecola di Idrogeno, i nuclei divengono 207 volte più vicini e aumenta di molto la probabilità che essi possano fondere; al punto che si hanno sperimentalmente molte fusioni. Già negli anni '50, dopo le pubblicazioni di Yakov Zel'dovich e Luis Alvarez, nasce il nome di 'fusione fredda', ma l'ampio lavoro di John Jackson¹ dimostra che la fusione muonica richiede più energia di quanta ne produca e non può quindi essere una pratica sorgente d'energia, affermazione che rimane valida a tutt'oggi.

Proprio sulla fusione muonica lavorava Steven Jones, uno degli esperti incaricati della *peer review* per la richiesta di fondi avanzata nel 1988 da F & P al *Department of Energy (DoE)* degli Stati Uniti. F & P, Jones e i loro team si erano già incontrati, in precedenza, per discutere delle loro ricerche. In occasione della valutazione della richiesta di fondi fissano un appuntamento il 24 marzo 1989 per spedire a *Nature* i risultati dei loro esperimenti in modo che siano pubblicati simultaneamente, ma le pressioni dell'università dello Utah inducono F & P a non rispettare l'accordo.

La conferenza stampa ha un successo mediatico incredibile, Fleischmann non si esime dall'accendere speranze di una fonte d'energia pulita e inesauribile, e a nulla varrà il suo appello,

¹ Jackson J.D. (1957). "Catalysis of Nuclear Reactions between hydrogen isotopes by μ^- -Mesons". *Physical Review* **106** (2): 330.

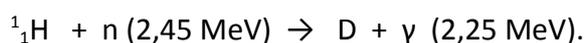
tre giorni dopo, perché si aspetti la pubblicazione dell'articolo. I molti che hanno già iniziato i tentativi di replicare l'esperimento non si fermano davvero.

Le modalità e i risultati dell'esperimento vengono pubblicati due settimane dopo, il 10 aprile, nella forma di *Preliminary note*². Che cosa dichiarano F & P di aver trovato nel loro esperimento?

- Una generazione di entalpia superiore a 10 W/cm³ all'elettrodo di Pd; sull'arco di 120 ore veniva liberato un eccesso di calore di 4MJ/cm³.
- Un flusso neutronico molto debole, di 4·10⁴ neutroni /s.
- Emissioni gamma, γ , nella regione al di sopra del termostato (confrontate con un 'pozzo' a 5 m. dalla cella dell'esperimento).

I dati numerici si riferiscono alle caratteristiche del dispositivo, registrate nei diversi esperimenti eseguiti. "*It is inconceivable that this could be due to anything but nuclear processes*"², affermano F & P riguardo all'eccesso di calore generato³. Quindi si tratta della reazione di fusione tra nuclei di Deuterio secondo i *tre canali* i), ii) e iii).

La distribuzione dello spettro γ con il picco a 2,25 MeV conferma, poiché i neutroni vengono prodotti solo nel primo canale con un flusso basso, che molti neutroni si combinano con l'Idrogeno secondo la reazione



Riguardo al Trizio, T = ${}^3_1\text{H}$, ne viene riportata l'evidenza sperimentale di un'accumulazione al catodo e si descrive il metodo seguito per misurare il rapporto D/T, ma non vengono forniti i dati di misura. Anche perché le stime teoriche e le considerazioni fenomenologiche presentate nel lavoro comportano che, nel secondo canale, la reazione di fusione che produce il Trizio avvenga con un tasso estremamente basso, coinvolgendo 1-2·10⁴ atomi/s (consistente col bassissimo flusso di neutroni misurato). I dati della generazione di calore richiederebbero invece che le reazioni dei primi due canali avvenissero con un tasso di 10¹¹ – 10¹⁴ atomi/s.

F & P sottolineano che se avessero usato non solo acqua pesante ma una miscela includente anche il Trizio, come nella ricerca sulla fusione "calda", sarebbe stato ragionevole attendersi un eccesso di calore dalle cento alle mille volte superiore a quello misurato, fino a 10 kW/ cm³. Ciononostante evidenziano che nelle condizioni dell'ultimo esperimento realizzato una parte sostanziale del catodo si era fusa (il punto di fusione del Pd è 1554 °C) e gran parte del dispositivo era rimasta distrutta. Infine viene illustrato con un diagramma come i valori del parametro di confinamento raggiunti nella reazione D + D siano assai più alti rispetto a quelli della fusione "calda".

Nelle conclusioni della *Preliminary note* F & P ci tengono ad affermare che "*the most surprising feature*" del loro esperimento è il fatto che i canali di reazione i) e ii), di gran lunga i più probabili, sono solo "*..a small part of the overall reaction scheme*"². Da qui l'enfasi con cui aprono le brevi considerazioni finali: "*We realise that the results reported here raise more questions than they provide answers, and that much further work is required on this topic*"², ma questo non li salverà dalle critiche che verranno rivolte al loro lavoro.

Nello stesso giorno della pubblicazione dell'articolo di F & P, un gruppo della *Texas A & M University* pubblica risultati di eccesso di calore, il giorno dopo un rinomato laboratorio del *Georgia Institute of Technology* annuncia una replica dell'esperimento con la rilevazione dei neutroni e due giorni dopo il *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* avanza la richiesta di un

² Fleischmann M., Pons S. and Hawkins M. (1989). "Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium". *J. Electroanal. Chem.* **261** (2A): 301–308 and errata in **263**.

³ L'eccesso di calore misurato nell'esperimento ha una densità di potenza pari a 1/5 di quella di un reattore di fissione (BWR), mentre la densità di potenza delle reazioni chimiche è minore per alcuni ordini di grandezza.

brevetto basata sulla ricerca eseguita da Peter Hagelstein presso il MIT. Ma il 13 aprile il *Georgia Tech* ritira il suo annuncio e il tentativo di replica di Robert Huggins a Stanford si conclude con un fallimento dopo un apparente primo successo.

Il *New York Times* del 30 aprile 1989 dichiara "morta" la fusione fredda (FF), il *Boston Herald* sferra il suo attacco il giorno dopo. E' vero che la FF è nata come evento mediatico, ma sono passati *solo venti giorni* e le critiche di merito all'esperimento di F & P, e le loro controrisposte, appariranno solo varie settimane dopo. La dichiarazione di morte da parte del NYT è sospettamente profetica perché precede di un giorno la sessione sulla FF che l'*American Physical Society* (APS) tiene il 1° maggio a Baltimora. In quella sede vari rapporti producono tentativi di replica non riusciti e inducono otto su nove dei *leading speaker* a considerare solo una pretesa l'esperimento di F & P.

La sollecitudine dell'APS appare molto 'pelosa'. E quanti mai avranno potuto essere, e con quale approfondimento, le repliche di un esperimento che ha richiesto anni per la sua messa a punto? Su quali riviste sono stati pubblicati questi rapporti? Gli interrogativi riguardano la perdurante 'religione' dell'APS, e in generale di tutta la Fisica, di cercare di estromettere dai fondi di ricerca tutto ciò che la corporazione dei Fisici non riconosce come scienza. E infatti l'incontro fissato ai primi di maggio, che Pons dovrebbe avere con i rappresentanti del Presidente Bush per motivare la richiesta di 25 milioni di dollari avanzata dall'Università dello Utah, viene cancellato. Da luglio a novembre 1989 appaiono due articoli critici su *Nature* e un paio di repliche non riuscite su *Science* e *Physical Review Letter*, ma nell'agosto l'Università dello Utah ha stanziato 4,5 milioni di dollari per creare il *National Cold Fusion Institute*, che nel settembre 1990 censirà 92 gruppi di ricerca sulla FF in 10 Paesi del Mondo.

Il colpo decisivo lo mena il rapporto che il *panel* di esperti consegna nel novembre 1989 al committente, il DoE: i risultati presi in considerazione nella rassegna della teoria e della ricerca sulla FF non presentano evidenze convincenti che sorgenti di energia potrebbero scaturire dai fenomeni attribuiti alla FF, ed essa è inconsistente con la corrente comprensione dei fenomeni di fusione. Perciò, conclude il rapporto, nessun finanziamento particolare alle ricerche per la FF, ma solo modesti supporti, a esperimenti mirati, all'interno del sistema generale di finanziamento ⁴.

Certo, non può non stupire il "due pesi e due misure" rispetto alla fusione "calda", la cui producibilità d'energia era prevista anche allora in termine di decenni (oggi, si è spostata, forse, al 2030) e i cui finanziamenti avevano, e hanno, valori astronomici. Le conclusioni del rapporto orientano in senso decisamente negativo il mondo accademico, al punto che si arriverà presto a parlare della FF come di "*scienza patologica*" ⁵.

Dopo neanche due anni il *National Cold Fusion Institute* chiude i battenti per esaurimento dei fondi, ma già sei mesi prima F & P hanno lasciato gli Stati Uniti, nel gennaio '91, per sbarcare in Francia nel laboratorio IMRA della *Toyota Motor Corp.* Fleischmann lo lascia nel '95 per rientrare in Inghilterra, a Pons non viene più rinnovato il contratto nel '98 e l'IMRA viene chiuso dopo 12 milioni di sterline spesi sulla FF senza risultati convincenti.

In molti avevano remato contro. Già nel 1990 il Nobel Julian Schwinger stigmatizzava l'atteggiamento di riviste scientifiche che respingevano gli articoli sulla FF sulla base di "*..venemous criticism of anonymous referees.*" ⁶, concludendo con una considerazione quanto mai attuale: "*The replacement of impartial reviewing by censorship will be the death of science.*" ⁶. Eugene Mallove, nel '91 redattore scientifico dell'ufficio stampa del MIT, sostiene in un suo libro

⁴ "Cold Fusion Research". November 1989. "A Report of the Energy Research Advisory Board to the United States Department of Energy".

⁵ Morrison D.R.O.(1991). "Review of cold fusion". *Sov. Phys. Usp.* **34**: 1055-1060.

⁶ Schwinger J. (1991). "Cold fusion: Does it have a future?" *Evol. Trends Phys., Proc. Yoshio Nishina Centenary Symp. Tokyo 1990*. (1991) Sc. **57**: 171.

che le repliche positive dell'esperimento di F & P erano state sabotate al MIT da una campagna di denigrazione, orchestrata da un gruppo di accademici per difendere i finanziamenti alle loro ricerche, in particolare alla fusione "calda" ⁷. Ancor peggio, la relazione del Centro Ricerche Plasmi del MIT, che nel 1989 aveva alimentato una valutazione negativa sull'esperimento di F & P, conteneva delle modifiche nei grafici intese a precludere ogni tentativo di ottenere l'eccesso di calore dalla FF, a vantaggio dei finanziamenti per la fusione "calda" ⁸.

LA RIPRODUCIBILITA'

Il vero ostacolo alla FF sul piano più strettamente scientifico è stata la riproducibilità sperimentale, e non solo per gli esperimenti con celle elettrolitiche alla F & P (cfr. anche ⁹).

F & P risposero ad alcune critiche di merito sulla spettrometria gamma ¹⁰ e ritornarono sul loro esperimento con un lungo articolo, correggendo alcune cose ma insistendo sulla validità dei dati fondamentali ¹¹. Restava però la difficoltà di riprodurre l'esperimento, per di più nella marea montante della "scienza patologica".

A dir la verità, in tre anni e mezzo (apr.1989/sett.1992) furono pubblicati su riviste scientifiche 743 articoli, e dei 332 a carattere sperimentale 115 "si erano espressi favorevolmente" ¹²; ma, a parte i pareri negativi o i risultati millantati che non reggevano ad un'analisi critica, il dichiarato eccesso di calore non veniva corredo delle evidenze che avrebbero potuto sostenere la richiesta di brevetti (il che non comportava però che: "... vi fossero elementi sufficienti per riconoscere il fallimento della ricerca" ¹²).

I bene informati sostengono invece che già alla fine del 1989 la NASA aveva riprodotto la FF, i mezzi non le mancavano certo, e le LENR rientrano, *a tutt'oggi*, tra le sue opzioni di ricerca. Così testimonia in termini decisamente positivi un suo *chief scientist*, Dennis Bushnell, nel sito *Nasa Technology Gateway* (il quale sito, oltre che per il trasferimento di tecnologie, si qualifica come *A place to purchase LENR technology*). Del resto nel *Technical Report* rilasciato da un laboratorio della U.S. Navy nel 2002, oltre alla vasta rassegna delle ricerche compiute dalla Marina nel periodo 1989 – 2002, c'è la conferma di vari esperimenti nei quali oltre all'eccesso di calore viene rilevata la produzione di ⁴He, come presumibile effetto di reazioni nucleari all'interno della cella ¹³.

Questo interesse dei militari per la FF, forse prima delle stesse ricerche di F & P, e il loro ruolo nella vicenda mi divennero più chiari, ormai più di dieci anni fa, dopo una lunghissima chiacchierata con Martin Fleischmann a Venezia, mentre era di passaggio per l'Italia. Dopo aver

⁷ Mallove E. (1991). "Fire from ice: Searching for the Truth Behind the Cold Fusion Furor". *Wiley. London*.

⁸ Mallove E. (1999). "MIT and cold fusion: a special report"; Krivit S.B. (2003). "Historical Analysis of Key 'Cold Fusion' Experiments". *New Energy Times*.

⁹ Scaramuzzi F. (2000) "Ten years of cold fusion: an eye-witness account". *Accountability in Research*. **8**:77

¹⁰ "Measurement of gamma-rays from cold fusion (letter by Fleischmann et al. and reply by Petrasso et al.)". *Nature* **339**, 29 June 1989.

¹¹ Fleischmann M., Pons S., Anderson M.W., Li L.J., Hawkins M. (1990). "Calorimetry of the palladium-deuterium-heavy water system". *J Electroanal. Chem.* **287**:293-348

¹² Dalla consulenza tecnica del Prof. Giovanni Lichieri, ordinario di Chimica Fisica, eseguita su mandato della Corte d'Appello di Roma, che, con sentenza n.3864/01 del 23-10-2001, condannava in seconda istanza il Gruppo Editoriale L'Espresso, Eugenio Scalfari e Giovanni Maria Pace a un risarcimento di cento milioni per ognuno degli appellanti – Fleischmann, Pons, Bressani, Preparata e Del Giudice – contro il carattere diffamatorio di un articolo comparso su *La Repubblica* (21-10-91): "Signori scienziati, perché ci truffate?".

¹³ U.S. Navy, *Technical Report 1862*. February 2002. "Thermal and Nuclear Aspects of the Pd-D₂O". S.Szpak, P.A. Mosier-Boss Editors. Il rapporto risponde anche alle molte critiche sulla presenza di Elio come dovute alle infiltrazioni attraverso

le pareti di vetro della cella: non è possibile perché l'esperimento è stato condotto in doppio cieco e nella cella di confronto non è mai stata rilevata presenza di Elio.

richiamato la nostra attenzione su un vecchio articolo di Bridgman degli anni '30 sugli effetti di una pressione 'ultracritica' su un metallo – Percy W. Bridgman aveva preso il Nobel nel 1947 proprio per la Fisica delle alte pressioni – Fleischmann ci pose, con qualche giro di parole, la questione di che cosa potrebbe succedere se il metallo fosse Uranio fissile 'caricato' con Idrogeno e sottoposto a una forte pressione, come quella di una 'percussione'. Il seguito della storia è ben raccontato nell'avvincente libro di Mauro Torrealta e Emilio Del Giudice¹⁴, ma è, appunto, un'altra storia.

Qui non seguirò tutte le vicende di questi 24 anni di FF, non ci sarebbe il tempo e il tema della mia introduzione è volutamente "italiano". Sono infatti stupito negativamente dallo scarso spazio che mi sembra venir riconosciuto ai ricercatori del nostro Paese nelle rassegne internazionali sulla FF¹⁵.

Non riparerò certo così a questa mancanza, ma mi fa piacere puntualizzare i contributi portati dall'Italia, in particolare quelli dei quali sono stato in qualche modo direttamente testimone.

Passano pochi giorni dalla pubblicazione della *Preliminary Note* di F&P e il 22 aprile 1989 Umberto Colombo, presidente dell'Enea, presenta all'Accademia dei Lincei una nota su un esperimento realizzato all'Enea di Frascati, *diverso da quello di F & P*, dal gruppo di Francesco Scaramuzzi: quando il Titanio assorbe un gas di Deuterio si verifica, a temperatura ambiente, un surplus d'energia con emissione di neutroni^{16,9}.

Ancora pochi giorni e, il 26 aprile, viene inviato a *Il Nuovo Cimento* un articolo sui possibili meccanismi che sottostanno alla fusione fredda¹⁷: sono i primi passi della teoria della coerenza quantoeletrodinamica della materia di Giuliano Preparata. In quegli stessi giorni Francesco Celani sta realizzando sotto il Gran Sasso degli esperimenti di verifica della *Preliminary Note*; è uno che di flussi neutronici di bassissima intensità se ne intende e vuole confutare il dato fornito da F & P.

In realtà resterà coinvolto nel mondo delle LENR, all'insegna della convinzione che gli effetti anomali – cioè la produzione di calore in eccesso – si manifestano solo in condizioni di forte non equilibrio. E oggi potrete sentire i suoi ultimi importanti risultati sperimentali.

Sempre nell'89 Francesco Piantelli, dell'Università di Siena, rileva in un'esperienza di tutt'altro tipo – siamo in un laboratorio biofisico – una produzione anomala di calore in *materiale organico*. Comunica questo risultato a Sergio Focardi, professore di Fisica dell'Università di Bologna, e, insieme a Roberto Habel della sezione INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) dell'Università di Cagliari, decidono di proseguire le ricerche sulle anomalie termiche.

Nel giro di tre anni approntano un reattore Nichel-Idrogeno, i cui risultati, dopo altri due anni di sperimentazioni, diventano oggetto di una pubblicazione scientifica¹⁸ e, il mese dopo, vengono presentati in pompa magna nell'Università di Siena.

Nella conferenza stampa (19 febbraio 1994) viene illustrato un processo di produzione di energia ottenuto seguendo una strada diversa da quella di F & P: *sono LENR, che si realizzano secondo un meccanismo sconosciuto e che potrebbero non avere niente in comune con la FF invocata per le celle elettrolitiche D – Pd*, ci tengono a sottolineare gli autori. Plaude il rettore, Luigi Berlinguer, a una ricerca che pur condotta con mezzi poveri può condurre a grandi risultati. Una replica dell'esperimento al CERN non ottiene la produzione di calore in eccesso¹⁹, che viene però ribadita

¹⁴ Torrealta M., Del Giudice E. (2010). "Il segreto delle tre pallottole". *Edizioni Ambiente*.

¹⁵ Fa eccezione, oltre al *Villaggio Globale* di Valenzi e Lippolis, il periodico on line, *New Energy Times*, di S. Krivit, che si occupa specificamente di LENR e menziona con cura le ricerche italiane (ha un portale dedicato a Preparata).

¹⁶ De Ninno A., Frattolillo A., Lolloballista G., Martinis L., Martone M., Mori L., Podda S., Scaramuzzi F. "Emissione di neutroni da un sistema Deuterio- Titanio". *Atti Accademia dei Lincei Rend. Fis.* 1989 8 LXXXIII (1990): 221.

¹⁷ Bressani T., Del Giudice E., Preparata G. (1989). "First steps towards understanding cold fusion". *Il Nuovo Cimento A*. 101 A: 845 – 849.

¹⁸ Focardi S., Habel R., Piantelli F. (1994). "Anomalous Heat Production in Ni-H Systems". *Il Nuovo Cimento A*. **107A** (1): 163–167.

¹⁹ Cerron-Zeballos E., Crotty I., Hatzifotiadou D., Lamas Valverde J., Williams M. C. S. and Zichichi A. (1996). "Investigation of anomalous heat production in Ni-H systems". *Il Nuovo Cimento A*. **109A**:1645.

in una successiva sperimentazione diretta da Focardi ²⁰ (900 MJ per una cella su un periodo di 278 giorni e 600 MJ per un'altra cella su 319 giorni, in entrambi i casi: "*Such an energy amount cannot be accounted for any chemical reaction occurring inside the cells*"). Vengono anche riportati, in un successivo articolo, la spettrometria γ e il conteggio dei neutroni che testimoniano il carattere indubitabilmente nucleare delle reazioni avvenute nelle due celle, anche se il flusso neutronico: "*..appears too small to be acceptable within the current nuclear physics knowledge.*" ²¹.

Al di là dei problemi di riproducibilità – che peraltro non hanno impedito la richiesta (2011) di un brevetto europeo, il cui processo di concessione è stato aperto a gennaio di quest'anno – non credo che sia arbitrario sostenere che il reattore Ni-H di Piantelli e Focardi ha aperto una linea di ricerca verso la fattibilità di prototipi industriali.

Proprio in questa prospettiva, pur nelle differenze che appariranno dalla sua relazione, si muovono anche le promettenti sperimentazioni di Francesco Celani. E, gli altri relatori non me ne vorranno sicuramente, proprio i risultati ottenuti dal team coordinato da Celani è stata la motivazione principale che mi ha spinto a organizzare questa conferenza, in una sede, il Cirps, che ha una tradizione di eccellenza proprio per la ricerca e i progetti sulle fonti energetiche rinnovabili. Certo, si è molto parlato dell'"*E-cat di Rossi e Focardi*"; Sergio Focardi è purtroppo morto tre settimane fa – e trovo opportuno ricordarlo con affetto in questa nostra conferenza – ma la recente validazione dell' *E-cat* non mi pare proprio che regga alle critiche che sono state avanzate²².

Tornando invece alla FF secondo F & P, la strada della riproducibilità viene aperta, almeno nei laboratori non militari, da Giuliano Preparata. Tra i vari articoli pubblicati quello che sembra meglio riassumere all'epoca gli aspetti teorici della FF viene pubblicato su *Il Nuovo Cimento* a firma di Fleischmann, Pons e Preparata: "*..Tutti i tentativi teorici che si concentrano soltanto su interazioni a pochi corpi, sia elettromagnetiche che nucleari, sono probabilmente insufficienti a spiegare tali fenomeni. D'altro canto abbiamo buone indicazioni che le teorie che descrivono interazioni collettive e coerenti tra componenti elementari che portano a effetti macrosopici di natura quantistica appartengono alla classe delle teorie possibili per quei fenomeni.*" ²³.

Questo punto di vista era già stato accennato in precedenti lavori da F & P ^{2, 11}, e Preparata aveva recuperato la teoria della *superradianza* di Dicke, addirittura poche settimane prima dell'esperimento di F & P (lo spirito dei tempi!) ²⁴.

Su questa strada si muove Preparata insieme a Emilio Del Giudice, come dimostrano i vari articoli in materia da loro scritti, e nel 1995 Preparata pubblica il suo libro sulla coerenza quantoelettrodinamica (QED) della materia ²⁵.

La teoria di Robert Dicke (1954) metteva in evidenza un fenomeno del tutto inaspettato: l'emissione da parte di N

emettitori di un impulso di luce di alta intensità ($\propto N^2$), ove investiti da una luce di lunghezza d'onda molto più grande

della separazione tra gli emettitori. Che non ci sia l'atteso decadimento esponenziale del gruppo di N atomi indipendenti viene spiegato col fatto che l'interazione atomi–luce avviene in modo coerente e collettivo ²⁶. La superradianza trova conferme sperimentali e impieghi teorici, anche attuali, nei sistemi di *quantum dot* e in Astrofisica (*Zel'dovich radiation*).

²⁰ Focardi S., Gabbani V., Montalbano V., Piantelli F. and Veronesi S. (1998). "Large excess heat production in Ni-H systems". *Il Nuovo Cimento A*. **111 A** (11): 1233 – 1242.

²¹ Battaglia A., Daddi L., Focardi S., Gabbani V., Montalbano V., Piantelli F., Sona P.G. and Veronesi S. (1999). "Neutron emissions in Ni-H systems". *Il Nuovo Cimento A*, **112 A** (9): 921 – 931.

²² Göran E., Stephan P.(2013). "Comments on the report 'Indications of anomalous heat energy production in a reactor device containing hydrogen loaded nickel powder'". *arXiv:1306.6364*. Molto più dura la critica di Steven B. Krivit su *New Energy Times* del 21-5-13: "Rossi Manipulates Academics to Create Illusion of Independent Test".

²³ Fleischmann M., Pons S. and Preparata G.(1994). "Possible Theory of Cold Fusion". *Il Nuovo Cimento A*. **107 A**:143.

²⁴ Preparata G. (1989). "Quantum field theory of 'superradiance' ". *Proceedings of the 4th Winter School on Hadronic Physics, Folgaria (Trento), Italy, 6-11 February 1989. Volume 1*.

²⁵ Preparata G. (1995). "Quantum Electrodynamical Coherence in Matter". *World Scientific Publishing Co. Singapore*.

²⁶ Dicke R.H. (1954). "Coherence in spontaneous radiation processes". *Phys. Rev.* **93**: 99 – 112.

Del Giudice, che è il collaboratore di Giuliano per eccellenza, già a partire dai primi anni '80 si è interessato a comportamenti collettivi e coerenti nei sistemi biologici seguendo l'insegnamento di Herbert Frölich.

I sistemi biologici sono composti da elementi animati da vibrazioni dovute all'agitazione termica della materia. Pur essendo ogni elemento elettricamente neutro, la sua distribuzione di carica varia nel tempo generando addensamenti di cariche negative in una sua regione e quindi positive nella regione da esse abbandonata; esso si comporta, cioè, come un dipolo elettrico, cui sono associati un dato modo di vibrazione e la corrispondente frequenza elettromagnetica. Si può quindi modellizzare un sistema biologico o un suo componente, ad esempio la membrana cellulare, come un sistema di dipoli in oscillazione.

Frölich, uno dei pionieri della Fisica dello stato solido, fu tra i primi a ipotizzare che nei sistemi biologici potrebbe prodursi, sotto certe condizioni, una 'condensazione' dei modi di vibrazione dei dipoli in un'unico modo di vibrazione collettivo – un *dipolo gigante* – nello stato più basso d'energia.

Nei sistemi biologici, afferma Frölich, ci si attende un gruppo di modi di vibrazioni longitudinali in una regione di frequenze tra 10^{11} e 10^{12} s⁻¹. Se questo gruppo viene rifornito di energia a un tasso medio superiore a una certa soglia, allora l'energia fornita non si disperde del tutto come calore ma viene immagazzinata nella forma altamente ordinata di "eccitazioni coerenti" ²⁷. Queste eccitazioni sono stati stazionari (metastabili) dotati di un elevato momento di dipolo elettrico e di vibrazioni elettriche *coerenti* di alta frequenza. Il fenomeno, osserva Frölich, è considerevolmente simile alla "condensazione di Bose-Einstein" di un gas a bassissima temperatura ²⁷.

Attribuire comportamenti coerenti ai sistemi biologici è un fatto decisamente nuovo, che li assimila, per questo aspetto, ai laser, ai superconduttori e ai superfluidi. La congettura e gli studi di Frölich hanno aperto la strada a miriadi di ricerche teoriche e sperimentali sul tema della coerenza nei sistemi biologici, e vale qui la pena ricordare il complesso della produzione scientifica di Fritz-Albert Popp.

Insomma, la coerenza QED della materia non nasce davvero come oggetto esoterico, ma si alimenta di teorie, sperimentazioni e idee a tutt'oggi diffuse e praticate in diversi settori scientifici.

Ed è la teoria che fornisce a Preparata il valore di 'caricamento', cioè il rapporto tra atomi di Idrogeno e atomi di Palladio, necessario perché nell'esperimento di F & P si inneschi l'eccesso di calore: 0,95. Già questo fa capire la principale difficoltà incontrata da tanti ricercatori nel tentativo di riprodurre quei risultati: realizzare le condizioni per ottenere, appunto, quella soglia al di sotto della quale la FF, o quel che sia, diventa assai poco probabile.

Giuliano Preparata, che ha girato il mondo anche in vari laboratori sperimentali d'eccellenza e che, sebbene fisico teorico, ha sempre coltivato il gusto 'galileiano' della sperimentazione, cerca le condizioni ottimali, anche dal punto di vista della calorimetria ²⁸, per la replica dell'esperimento. Il 1° marzo 1996 viene da lui annunciata la costituzione di L.E.D.A. (Laboratorio di Elettrodinamica Avanzata) e pochi mesi dopo si vedono i primi risultati degli esperimenti realizzati con Emilio Del Giudice, che continueranno in LEDA per tutto il 1997.

Mettere in piedi un laboratorio e degli esperimenti che implicano il costo di molte centinaia di milioni di lire è stato reso possibile da un gruppo di sponsor, tra i quali Tronchetti-Provera (allora

AD di Pirelli) e Massimo Moratti, e dall' 'azione parallela' di una 'Diotima' che è Milly Moratti. E' una fisica e una militante ambientalista, che si rivolge naturalmente a un fisico eletto alla Camera

²⁷ Fröhlich, H. (1968). "Long-range coherence and energy storage in biological systems". *Int. J. Quantum chem.* 2: 641-649. E' interessante rilevare che l'ipotesi di Fröhlich ha avuto varie conferme sperimentali, ed è stata riferimento di molte elaborazioni teoriche, decisamente prima della conferma sperimentale della teoria della condensazione di Bose-Einstein (1925), che ha dovuto attendere 70 anni (e ha fruttato il Nobel, nel 2001, a Cornell, Ketterle e Wieman).

²⁸ Preparata G., Scorletti M., Verpelli M. (1996). "Isoperibolic Calorimetry on Modified Fleischmann Pons Cells". *J. Electroanal. Chem.* 411: 9.

per i Verdi. Vado varie volte a Milano e ho modo di incontrare il mio vecchio collega, Giuliano.

Quam mutatus ab illo! Era una "forza sana" del '68 ²⁹, che si era guadagnato nel corso di laurea il soprannome di "io, io" per il suo ingenuo entusiasmo e la volontà di protagonismo, ed era poi volato per la strada della notorietà scientifica internazionale ai massimi livelli. Lo ritrovavo combattivo come sempre, ma messo in un angolo a causa delle sue ricerche e della sua teoria. Giuliano aveva commesso il peccato mortale di percorrere linee di ricerca che l'*establishment* considerava 'esoteriche', se non "patologiche" come la FF.

L'esperimento però funziona, c'è una produzione di eccesso di calore, niente flusso di neutroni, come gli chiedo un po' preoccupato, ma questo, mi spiega con ironia, è uno dei 'miracoli' della FF. Il Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano, presso cui è insediato LEDA, accoglie in silenzio, ma con rispetto, il seminario in cui Giuliano illustra metodi e risultati ottenuti; e l'esperimento viene validato una prima volta, la seconda volta riceve una bocciatura da un gruppo di tecnici che però odorano molto di concorrenza, per ottenere infine un'altra validazione da un team capitanato da Francesco Scaramuzzi. Gli sponsor di LEDA hanno fatto intanto un passo indietro e l'INFN non dà seguito alla disponibilità, che, in risposta a una mia interrogazione parlamentare che muoveva proprio dai risultati di LEDA, sembrava aver assicurato al Governo per "*ricerche nel settore della cosiddetta fusione nucleare fredda*".

Anche in virtù di una certa simpatia che aveva già mostrato per i Verdi, riesco a convincere Carlo Rubbia, diventato intanto presidente dell'Enea, a dare una possibilità alla sperimentazione che Preparata e Del Giudice avevano realizzato in LEDA ³⁰. E nel '99 parte l'esperimento che si giova, oltre dei due di LEDA, dei ricercatori del 'gruppo Idrogeno' dell'Enea-Frascati. Il 24 aprile 2000 Giuliano muore per la malattia che, senza incrinare la sua determinazione, lo aveva però minato negli ultimi anni; e sei mesi dopo, in occasione di un seminario in suo ricordo, Rubbia si impegnerà a rilevare anche LEDA, in modo da evitare il fallimento della piccola società ³¹.

Per l'esperimento, che segue il protocollo di F & P con alcune modifiche ²⁸, sono stati stanziati 600.000 euro e fissato un termine di tre anni. Il rapporto sull'esperimento, De Ninno et al. ³², viene pubblicato come materiale dell'Enea nell'aprile 2002 e rappresenta una risposta senz'altro positiva alla questione della riproducibilità. Purtroppo gli stanziamenti non vengono rinnovati, Rubbia non è più presidente dell'Enea, e viene finanziata un'impegnativa ricerca che, portata avanti da Vittorio Violante per l'Enea con *Stanford Research Institute (SRI)*, *Naval Research Laboratory Washington D.C.*, *Energetics Technologies Inc.*, *Energetics LLC* e *La Sapienza*, consegue risultati importanti ma parziali, il 65% di riproducibilità all'Enea e il 75% allo SRI ³³.

Che cosa ha trovato il gruppo De Ninno nella serie di esperimenti condotti a Enea-Frascati? Innanzitutto che solo se il catodo di Palladio ha la forma di una striscia stretta e sottile (un film di spessore 1-2 micron), e non di una placca, il fattore di carico $x = [D]/[Pd]$ si porta al valore 1 in pochi minuti. La fase "supercritica", sempre con $x = 1$, viene raggiunta in circa due ore e mezza

²⁹ Con questa etichetta venivano bollati dal *movement* tutti coloro che, invece di lavorare per “l’immaginazione al potere” e contro l’autoritarismo accademico e dello Stato, volevano soprattutto studiare e avevano posizioni al più riformiste.

³⁰ Preparata G., Del Giudice E., Liberti G., Agostino R.G., Buzzacchi M. (1998). “The Experiments at LEDA”. *Workshop on New Energy from Hydrogen, Frascati Centro Ricerche Enea, 28-29 maggio 1998*.

³¹ “L’energia ‘fredda’ e le fonti rinnovabili”. (2000). *Seminario in memoria di Giuliano Preparata, 24 ottobre 2000, Roma Sala della Sacrestia. Maggioli Rimini*. (reperibile anche online).

³² De Ninno A., Frattolillo A., Rizzo A., Del Giudice E. and Preparata G. (2002). “Experimental evidence of ⁴He production in a cold fusion experiment”. *RT/2002/41/FUS. ENEA*.

³³ Violante V., Sarto F., Castagna E., McKubre M., Tanzella F., Hubler G., Knies D., Grabowski K., Zilov T., Dardik I. and Sibilia C. “Joint Scientific Advances in Condensed Matter Nuclear Science”. *8th International Workshop on Anomalies in Hydrogen / Deuterium Loaded Metals. 2007. Sicily*.

dall’inizio dell’elettrolisi, dopo questa soglia appaiono le seguenti “anomalie”:

i. *Dopo circa 40 minuti, il contenuto di ⁴He inizia a crescere e l’aumento continua per tutta la fase supercritica fino a un valore, più di sette volte quello iniziale, che si mantiene poi costante per tutta la fase di osservazione.*

ii. *Un incremento di temperatura al catodo che segnala una sorgente di entalpia nella cella.*

Le due anomalie si presentano insieme, tenendo conto dei diversi tempi di risposta. L’azzeramento del potenziale del catodo (dopo dodici ore di funzionamento) determina la scomparsa di entrambe le anomalie.

Dalla quantità di ⁴He prodotta nel corso dell’elettrolisi si può calcolare la potenza prodotta, in base alla conversione

iii)
$$D + D \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma + 23,8 \text{ MeV.}$$

Gli strumenti utilizzati sono stati sottoposti ad accurati controlli (taratura, calibratura ecc.), proprio secondo i criteri richiesti per la validità dei risultati sperimentali, che qui sentirete ribadire, in generale, nella relazione di Sergio Bartalucci. Una particolare attenzione viene dedicata alla rimozione totale dei gas non inerti dalla miscela gassosa prodotta nel corso dell’elettrolisi per garantire l’affidabilità delle misure delle piccole quantità di ⁴He prodotte nei vari esperimenti.

La potenza calcolata eccede, nel corso dei vari esperimenti eseguiti, quella valutata semplicemente in base all’aumento della temperatura; questa discrepanza, che aumenta con l’aumentare della potenza prodotta, può essere ricondotta alle condizioni di non equilibrio termico in prossimità del catodo e alla conseguente perdita per irraggiamento dalla superficie del film di Pd. E’ stata addirittura raggiunta la fusione parziale del catodo (1828 °K) senza che si sia rilevato un aumento apprezzabile della temperatura dell’elettrolita, cioè senza che la fusione parziale sia stata rilevata calorimetricamente.

I ricercatori possono perciò affermare che la produzione di ⁴He – che ha luogo insieme a quella di eccesso di calore quando $x = 1$ – testimonia il carattere nucleare dei processi che hanno avuto luogo nella cella: una reazione nucleare ottenuta con processi puramente elettro-chimici.

Nelle considerazioni conclusive il gruppo riafferma come possibile interpretazione teorica del fenomeno, e non poteva non essere così, quella fornita da Giuliano Preparata. A cominciare dall’effetto Cöhn-Ahronov, come l’aveva battezzato Giuliano e che nel rapporto, in omaggio a lui che non c’è più, viene ridefinito come “effetto Preparata”: cioè, in termini sperimentali, la depressione del potenziale chimico del Deuterio nel Palladio (per $x > 0,7$) e il corrispondente aumento del tasso di caricamento, quando viene applicato al catodo un potenziale elettrico.

Nonostante l’indubbio valore scientifico, il lavoro non viene accettato né da *Science*, né da *Nature* con motivi francamente sciatti o pretestuosi. Risuona il già ricordato ammonimento di Schwinger, quando il pregiudizio si trasforma in censura. Magra soddisfazione, questo ostracismo diverrà occasione qualche anno dopo per un servizio televisivo ³⁴.

I risultati dell’esperimento vengono presentati in una succinta comunicazione alla 10^a Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda (ICCF). La Conferenza, che si svolge dal 24 al 29 agosto del 2003 a Cambridge (MA), non viene ospitata dal MIT ma è un successo di partecipazione e di lavori

presentati. C'è, ovviamente, anche Celani con la relazione su un esperimento condotto con molti ricercatori, tra i quali Ubaldo Mastromatteo.

Sembra un momento di svolta. Pochi mesi prima Peter Hagelstein e Michael McKubre hanno scritto al DoE perché riapra la "pratica" della FF. Hagelstein e McKubre sono dei pionieri della FF, tra i più impegnati e riconosciuti. A loro il DoE richiede una rassegna dei lavori, a partire dal 1989, dei risultati e delle teorie. Il rapporto, consegnato al DoE nel luglio 2004, è l'occasione per la collaborazione tra SRI e Enea, cui ho già fatto cenno, e riceve anche una certa attenzione dalla

³⁴ Angelo Saso. (2006). "Inchiesta sul rapporto ENEA n.41". *Rainews24*. 19 ottobre 2006

stampa Usa³⁵. Diverrà poi un atto dei *proceedings* di ICCF 11 ³⁶.

Il parere che i *reviewer* forniscono al DoE, se accoglie l'idea che la FF può essere oggetto di ricerca né più né meno come altri comparti scientifici, non cambia però rispetto a quello di 15 anni prima, per quel che riguarda i finanziamenti: nessun stanziamento federale.

Anni dopo, a 20 dall'esperimento di F & P, Hagelstein esegue delle stime per calcolare le emissioni di neutroni e raggi X nella reazione

iii)
$$D + D \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma + 23,8 \text{ MeV} ,$$

in corrispondenza all'energia con cui "nasce" l'atomo di Elio e ai diversi processi che possono originare quelle emissioni ³⁷. La conclusione cui perviene appare una sostanziale, anche se cauta, conferma della linea di ricerca e dei risultati ottenuti sull'arco di quindici anni, fin dall'esperimento di McKubre ³⁸, passato alla storia della FF come **M4** ed eseguito nei laboratori dello SRI nel 1994 (ma la prima pubblicazione dei risultati di **M4** in sede scientifica è quella citata in nota ³⁸).

L'esperimento **M4** ha continuato a esser considerato da molti addetti ai lavori come la più accurata evidenza sperimentale della reazione di fusione iii) ³⁹, e, sostanzialmente, motivò un esperimento analogo – "*the case replication experiment*" – i cui risultati di vennero riportati in un rapporto tecnico stampato nel 1998 dall'EPRI (Electric Power Research Institute), l'Istituto che era stato lo sponsor della "*replication*" effettuata sempre presso lo SRI.

Hagelstein era stato ampiamente coinvolto nel tentativo di "reinterpretare" **M4** e il "*replication experiment*" come conferma della reazione iii); e questa reinterpretazione era stata alla base della lettera e del successivo rapporto presentato al DoE nel luglio 2004, in una vicenda complessa e non certo esente da critiche ³⁹. La sua riflessione sui "*constraints*" ³⁷ suona perciò anche come una sorta di bilancio e una difesa.

In definitiva, come consuntivo di due decenni di FF, mentre appare innegabile in vari esperimenti un'evidenza per la produzione di un eccesso di calore in concomitanza con la produzione ${}^4_2\text{He}$, non vengono rilevate quantità significative degli altri prodotti attesi in uscita dalla reazione di fusione nucleare D – D : neutroni, raggi X o γ , Trizio, o trasmutazioni ⁴⁰ di elementi.

La mancanza di forti emissioni di neutroni, di forti emissioni di raggi γ o X e la penetrazione della barriera coulombiana erano stati indicati ironicamente come i tre "miracoli" della FF da John R. Huizenga, che aveva fatto parte nel 1989 della commissione per la valutazione dei finanziamenti alla FF ⁴⁰. Per giustificare questa assenza, gran parte dei ricercatori nel campo della FF, facendo peraltro fede alla "most surprising feature" subito segnalata da F & P ², hanno teso a interpretare i fenomeni della FF sulla base della reazione iii), quella di gran lunga meno probabile rispetto ai canali i) e ii). Ma nel "case replication experiment", mirato appunto a verificare che la reazione

³⁵ Sharon W.(2004). "Warming up to cold fusion". *Washington Post*. Sunday, November 21, 2004: 22

³⁶ Hagelstein P.L., McKubre M.C.H., Nagel D.J., Chubb T.A., Hekman R.J. "New physical effects in metal deuterides" *Proc. ICCF11*. **23** (2005).

³⁷ Hagelstein P.L.(2010). "Constraints on energetic particles in the Fleischmann–Pons experiment". *Naturwissenschaften*. **97** (4):345.

³⁸ McKubre M., Tanzella F., Tripodi P. and Hagelstein P. (2000). "The Emergence of a Coherent Explanation for Anomalies Observed in D/Pd and H/Pd Systems; Evidence for ⁴He and ³He Production". *8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy*.

³⁹ "The proof is the 24 MeV! McKubre nailed it", attribuita a Scott Chubb in un'intervista del 2008 e riportata in Krivit S.B. "2. The emergence of an incoherent explanation for D-D 'cold fusion' ".(2010). *New Energy Times*. **34**

⁴⁰ E' l'altra denominazione che si dà alle reazioni nucleari o al decadimento β, di sapore volutamente alchemico perché un atomo di un elemento viene cambiato nell'atomo di un altro elemento.

⁴¹ Huizenga J.R. (1993). "Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century". *Amazon*.

iii) $D + D \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma + 23,8 \text{ MeV}$

sia proprio quella che avviene, vengono misurati 32 MeV per atomo di Elio, cioè una deviazione troppo grande rispetto al valore atteso se la reazione fosse la iii); quindi una smentita, proprio da quello che è stato ritenuto l'esperimento più significativo a favore (e fu questa rilevante discrepanza all'origine del criticato tentativo di "reinterpretazione" ³⁹).

Altro dato sperimentalmente indubbio è che là dove c'è produzione di eccesso di calore, essa avviene in condizioni lontane dall'equilibrio termico.

Insomma, si è di fronte sicuramente a una reazione nucleare, ma non c'è alcuna evidenza sperimentale che comprovi che la reazione nucleare sia una reazione di fusione, la iii). E sul piano dell'interpretazione teorica non emerge una teoria condivisa in grado di spiegare i processi nucleari che presiedono alla FF.

Del resto anche Preparata e Fleischmann non si erano voluti impiccare all'esclusività della reazione iii) e avevano già sottolineato a suo tempo gli ingredienti di una teoria possibile nel quadro di riferimento della QED ²³: interazioni, sia elettromagnetiche che nucleari, collettive e coerenti e non a pochi corpi. Solo così le interazioni tra componenti elementari possono portare a effetti macroscopici di natura quantistica, del tutto imprevedibili sulla base delle conoscenze scientifiche acquisite e dei corrispondenti punti di vista dominanti.

L'insistenza sul considerare reazioni non tra due o pochi corpi (nel vuoto) e a tenere conto, inoltre, di un "mediatore" quale il campo elettromagnetico generato dalle cariche centra uno degli aspetti di maggiore incomprensione con la Fisica delle particelle elementari, la Fisica delle Alte Energie, abituata, appunto, a ragionare in termini di urti tra particelle e ad ammettere la predominanza di fenomeni collettivi e coerenti come "anomalie" accettabili, a patto però che esistano già teorie in grado di spiegarle se non di averle previste (come la condensazione di Bose-Einstein).

UN NUOVO PUNTO DI VISTA

Nel corso degli anni la cattiva accoglienza, per usare un eufemismo, riservata alla FF ha indotto la gran parte dei gruppi di ricercatori "sopravvissuti" a considerarsi dei "perseguitati": pochi fondi, quando non venivano cancellati, difficoltà a pubblicare, scherno o sospetto sulla loro attività. A questo è corrisposta, in un infelice feed-back positivo, una tendenza generale dei cultori della FF al confronto quasi esclusivamente "interno", con riviste di settore e meeting internazionali "autogestiti". Anche a non avere un'ingenua ed erronea concezione di una scienza super partes, "quintessenza astratta delle forze produttive", è evidente il danno di una tale situazione.

E proprio la preparazione di questa nostra conferenza, che aveva registrato inaccettabili episodi di veto e posizioni che definirò “neoaristoteliche”, ha visto anche, e credo che sia la prima volta qui a “La Sapienza”, una felice rottura del cerchio, con la sconfitta degli atteggiamenti più aggressivamente sciocchi e, finalmente, la celebrazione di questo incontro, così ampio, sul tema e con le persone sui quali era stato lanciato un incredibile interdetto da esagitati fautori della FF come “scienza patologica”.

E questo, mi pare, sia stato reso possibile dall’aprirsi di un confronto – anche se su posizioni contrastanti come è naturale nel dibattito scientifico – nel quale chi si occupa di LENR non è più un paria del pensiero scientifico, anche se, nella drammatica situazione dei finanziamenti alla Ricerca nel nostro Paese, rischia di esserlo o diventarlo per il budget.

Di questa aria nuova, decisamente meno inquinata, voglio ringraziare anche Enzo Naso, il direttore del CIRPS che ci ospita, oltre che caro amico.

Questa aria nuova è, sul terreno più strettamente della ricerca scientifica, la conseguenza di nuovi punti di vista, di nuove interpretazioni teoriche e di significativi risultati sperimentali. Della significatività di questi ultimi, come ho già detto, vi parleranno Celani, Bartalucci e Mastromatteo. Permettetemi un’osservazione personale. Penso che questo percorso si sia in qualche modo giovato maggiormente dell’altro filone di ricerca, quello che, a partire dagli esperimenti di Scaramuzzi, poi il reattore di Piantelli-Focardi e più recentemente la Costantana di Celani, non ha fatto ricorso alla cella elettrolitica di F & P e ha sperimentato altri procedimenti e altri materiali, rivendicando la natura nucleare delle reazioni, ma non come una reazione di fusione D – D¹⁸.

A questo proposito mi devo scusare per non aver citato il tanto lavoro fatto in tanti altri laboratori internazionali nei due filoni che in modo molto schematico ho abbozzato, ma avevo premesso la scelta di illustrare soprattutto quanto fatto dalla ricerca italiana nel settore.

Il nuovo orizzonte teorico delineato negli ultimi anni sottrae il discorso sulle reazioni nucleari a bassa energia a quel che è ormai diventato un ridotto, la FF. Se, come spero risulti ora chiaro, non è produttore intestardirsi sull’interpretazione dell’esperimento di F & P come reazione di fusione, *perché i dati sperimentali non lo consentono e le teorie proposte spiegano troppo o troppo poco, non è però certo da buttare quella messe di solidi dati sperimentali accumulati per vent’anni sulle LENR, e che non possono essere scartati come affetti da errore*. D’altro canto, perché nel tentativo di spiegare i risultati *non si è mai invocato il “modello standard”,* cioè la teoria delle interazioni elettrodeboli e forti tra tutte le particelle elementari, note o previste dalla teoria stessa, costruito a partire dagli anni ’60 e universalmente accettato?

Ci vuole un nuovo punto di vista, come mostreranno le relazioni di Yogendra Srivastava e Allan Widom, che ringrazio, insieme agli altri relatori, per la loro disponibilità.

Widom, Larsen e Srivastava (WLS) hanno prospettato a partire dal 2006^{42, 43, 44} un’elaborazione teorica sulle Low Energy Nuclear Reactions per spiegare non solo quella che abbiamo chiamato FF nei metalli carichi di protoni o deutoni (*metallic hydride*), ma, più in generale, fenomeni, alcuni presenti in processi del tutto naturali, che hanno origine proprio dalle LENR.

E’ importante sottolineare subito che, nonostante certi elementi teorici risultino di difficile ‘digeribilità’ per molti, come vedremo, la teoria WLS si è proposta, fin dai suoi primi passi, di spiegare i risultati sperimentali senza invocare una “nuova fisica” al di là del “modello standard”⁴².

Un filo elettrico di Tungsteno percorso da corrente può esplodere, come vediamo nelle comuni lampadine a incandescenza. Wendt e Irion, in un esperimento di novant’anni fa, rilevarono che se il filo viene attraversato da grandi impulsi di corrente si formano a seguito dell’esplosione dei prodotti di trasmutazione⁴⁵. La loro comunicazione generò interesse nella stampa e Sir Ernest Rutherford, richiesto di un commento in poche parole, si mostrò scettico sul fatto che il flusso di

elettroni attraverso il filamento potesse portare energia sufficiente a indurre disintegrazioni nucleari ⁴⁶.

⁴² Larsen L., Widom A. (2006). "Commercializing LENRs: A "Green" Next Generation Energy Source For Dense, Long Lived Portable Power". *presented at Defense Threat Reduction Agency/ASCO High Energy S&T workshop. Lattice Energy Proprietary.*

⁴³ Widom A., Srivastava Y.N. and Larsen L. (2007). "Energetic electrons and nuclear transmutations in exploding wires". *arXiv: nucl-th/0709.1222v1*

⁴⁴ Widom A., Larsen L. (2007). "Theoretical standard model rates of proton to neutron conversions near metallic hydride surfaces". *arXiv:nucl-th/0608059v2*

⁴⁵ Wendt G.L. and Irion C.E.(1922). "Experimental attempts to decompose tungsten at high temperatures". *J. of Amer. Chem. Soc.* **44**:1887

⁴⁶ Rutherford E.(1922). "Disintegration of elements". *Nature* **109**:418

Wendt rispose ⁴⁷ alle obiezioni di Rutherford che la potenza di picco che produceva l'esplosione del filo era molto più elevata rispetto a quella, relativamente piccola, trasferita al target dal fascio d'elettroni nei tubi a raggi X citato come esempio da Rutherford. In poche parole: "*Rutherford has big voltage but small current. One poor electron arrives at a time. Rutherford sees nothing. Wendt and Irion have a small voltage but big current. Many electrons arrive at it collectively. Wendt and Irion see transmutations.*" ⁴².

Per spiegare fenomeni di questo tipo *la teoria WLS, rifiutata l'ipotesi della reazione di fusione D-D, propone come "protagonista" delle LENR l'inversione del decadimento β*. Il decadimento β, il cui studio fruttò il Nobel a Fermi nel 1938, è la transizione da neutrone a protone con l'emissione di un elettrone e⁻, la particella β appunto, e un antineutrino $\bar{\nu}_e$



L'esistenza di $\bar{\nu}_e$ fu prevista teoricamente da Wolfgang Pauli subito dopo la dimostrazione sperimentale dell'esistenza del neutrone (1932): infatti, se il decadimento β avesse avuto come esito un processo a due soli corpi (protone – elettrone), e non a tre come in iv), si sarebbe violata la conservazione della quantità di moto.

L'inversione di iv) è



dove ν_e è il neutrino associato al neutrone, sempre per la conservazione della quantità di moto; \tilde{e}^{-} è l'elettrone 'vestito', reso cioè massivo da un campo di radiazioni elettromagnetiche di potenza W. Ciò vuol dire che, in virtù dell'equivalenza di Einstein $E = m c^2$, l'elettrone ha acquistato energia sufficiente per interagire con il protone e produrre neutroni. Lo schema completo per la v) è quindi



e il 'rivestimento' dell'elettrone da parte del campo elettromagnetico è *la "rinormalizzazione", secondo quanto prevede il modello standard.*

Si può pensare al catodo di Palladio della cella elettrolitica di F & P o a un semplice filamento *metallic hydride*. I deutoni, o protoni, si dispongono sulle superficie del metallo in "*patches*" in grado di attrarre gli elettroni che fluiscono nel catodo, o nel filamento, come corrente generata da una differenza di potenziale. I "*patches*" oscillano collettivamente e le loro oscillazioni coerenti iniziano ad accoppiarsi sulla superficie del metallo con le oscillazioni collettive del plasma di elettroni.

All'aumentare dell'ampiezza delle oscillazioni dei protoni aumenta il campo elettrico medio della radiazione da loro emessa, la cui potenza W produce la "rinormalizzazione" della massa degli elettroni, $m = \beta m_e$ ($\beta \geq 1$), maggiore di m_e , massa dell'elettrone "nudo" (cioè libero da interazioni). Al di sopra di una certa soglia β_0 ($\beta \geq \beta_0$) ⁴⁷ gli elettroni del plasma acquisiscono tanta energia da poter reagire con i protoni (o i deutoni) per creare neutroni attraverso la v).

I neutroni prodotti sono “*ultra-cold*”, hanno cioè un impulso estremamente piccolo e quindi una bassissima probabilità di sfuggire dalle micro-regioni della superficie metallica dove sono stati originati. Hanno invece enormi sezioni d’urto d’assorbimento da parte del metallo, cioè un’elevatissima probabilità di produrre localmente delle reazioni nucleari; e si può mostrare che c’è anche *un’elevata soppressione di raggi γ* , dovuta agli elettroni divenuti più pesanti^{48, 49, 50}.

⁴⁷ Wendt G.L. (1922). “The decomposition of Tungsten”. *Science*. **55**:567

⁴⁸ Srivastava Y.N., Widom A. and Larsen L. (2008). “A primer for electro-weak induced low energy nuclear reactions”. *arXiv:nucl-th/0810.0159v1*.

⁴⁹ Cirillo D., Germano R., Tontodonato V., Widom A., Srivastava Y.N., Del Giudice E. and Vitiello G. (2011). “Experimental Evidence of a Neutron Flux Generation in a Plasma Discharge Electrolytic Cell”. *Key Engineering Materials*. **495**:104

⁵⁰ Widom A. and Larsen L. (2006). “Nuclear Abundances in Metallic Hydride Electrodes of Electrolytic Chemical Cells”. *arXiv:cond-mat/0602472*

I fenomeni che hanno cercato risposte per vent’anni cominciano a poter essere interpretati senza dover ricorrere a spiegazioni e teorie che vadano oltre quelle scientificamente condivise, ma possono essere inquadrati, secondo le iv), v) e v’), nell’ambito della teoria delle interazioni elettrodeboli del ‘modello standard’.

Ai tre “miracoli” della fusione fredda, sui quali ironizzava Huizenga⁴¹, il modello WLS risponde: i) non c’è flusso di neutroni “energetici” da attendersi in uscita perché i neutroni generati tramite la v) sono “*ultra cold*”, non hanno cioè energia sufficiente per fuggire dalla superficie del catodo in cui “nascono” e vengono invece assorbiti nel metallo; ii) non ci sono significative emissioni esterne di raggi γ o X perché questi vengono catturati dagli elettroni massivi del plasma, che re-irraggiano nella forma di energia elettromagnetica molto più “leggera” (infrarosso); iii) non c’è infine il problema di superare la “barriera coulombiana” (che esisterebbe tra le cariche di ugual segno, i Deutoni, se la reazione fosse di fusione) perché nella v) ci sono neutroni (e neutrini), che non hanno carica, e protoni e elettroni, che si attraggono.

Last but not least, le LENR possono essere sorgenti di energia “pulita”, proprio perché non vengono emesse quelle radiazioni che ci si attenderebbe se la FF fosse una reazione di fusione. E in effetti, non è morto per radiazioni nessuno dei molti ricercatori che pure nel corso degli anni si sono cimentati con gli esperimenti di FF.

Tutto liscio, allora? Eh no, l’inversione della transizione β configurata in v), seppure a opera di elettroni molto energetici, non è facile da accettare; e quello che è il punto centrale della teoria WLS viene infatti definito “*intriguing possibility*” e confutato (Ciuchi *et al*)⁵¹.

Il fatto significativo però, in questa logorante guerra nella quale le LENR erano “junk science”, è che si è aperto un recente confronto tra opposenti, per di più all’interno della stessa teoria – le interazioni deboli – e i risultati hanno la stessa sede di pubblicazione.

Nel merito, la critica si appunta sul calcolo del tasso di decadimento dello stato legato $\bar{\epsilon}^{\pm}p$, che è quello che origina - vedi v) - il decadimento β inverso: WLS hanno sbagliato di un fattore 300 e conseguentemente il tasso di produzione di neutroni è 300 volte più piccolo⁵¹. Oddio, un’inezia se si considera che uno degli autori dell’articolo (Ciuchi *et al*)⁵¹ aveva comminato un “interdetto” contro uno dei tre della teoria WLS, sostenendo pubblicamente, raccontano le cronache, che quel risultato era sbagliato per un fattore 10^{40} , poi, in successive valutazioni, per un fattore 10^{20} , e poi ancora 10^7 !

WLS rispondono a stretto giro⁵² che la funzione d’onda che Ciuchi *et al.* utilizzano per il calcolo è quella relativa a uno stato costituito da un solo elettrone e un solo protone, mentre invece si tratta di un problema a molti corpi in presenza di un catodo surriscaldato⁴⁹. “*It is this truncation from the many body collective aspect .. to the two body .. which is the heart of difference in their and our estimate of rates*”⁵².

Ma l’eccesso di calore che aveva richiamato e richiama tante speranze?

Nell’ambito della teoria WLS esso viene rimandato alle molteplici reazioni nucleari dei neutroni, prodotti secondo la v), con i materiali al catodo. Se il riferimento è a una cella elettrolitica, ad

esempio, e se la superficie metallica è rivestita da Litio, l'assorbimento successivo di neutroni porta da ${}^6_3\text{Li}$ a ${}^4_2\text{He}$. La reazione

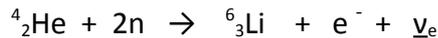


produce una rilevante quantità di calore, Q : $Q \approx 26,9 \text{ MeV}$.

⁵¹ Ciuchi S., Maiani L., Polosa A.D., Riquer V., Ruocco G. and Vignati M. (2012). "Low energy neutron production by inverse β decay in metallic hydride surface". *arXiv:nucl-th/1209.6501v1*.

⁵² Widom A., Srivastava Y.N. and Larsen L. (2012). "Erroneous wave functions of Ciuchi *et al.* for collective modes in neutron production on metallic hydride cathodes". *arXiv:nucl-th/1210.5212v1*.

A sua volta, l'Elio può assorbire neutroni e riprodurre Litio, tramite la catena di reazioni che porta a



con $Q \approx 2,95 \text{ MeV}$.

Il ciclo completo delle reazioni sopra descritte rilascia una significativa quantità calore di alta temperatura attraverso reazioni nucleari che non sono reazioni di fusione.

Non c'è più la FF, ma resta un'indicazione di fondo di Fleischmann, Pons e Preparata, quella dell'interazione collettiva tra le oscillazioni coerenti del plasma di protoni e le oscillazioni del plasma di elettroni, che ha luogo sulla superficie metallica del catodo durante l'elettrolisi. La teoria WLS aggiunge che è l'energia elettromagnetica conferita agli elettroni dalle oscillazioni dei protoni a rendere possibile l'accoppiamento con i protoni per produrre neutroni, secondo lo schema v'). I neutroni così generati, di bassissima energia, interagiscono a più riprese con gli elementi leggeri presenti al catodo: niente fusione quindi, ma reazioni nucleari che producono significativi eccessi di calore, reazioni nucleari a bassa energia (Low Energy Nuclear Reactions).

La teoria WLS si è estesa poi recentissimamente alla possibilità di indurre l'elettro-disintegrazione di nuclei nei sistemi di materia condensata – in virtù di una "interazione elettro-forte", sintesi di un intenso accoppiamento fra interazioni forti ed elettromagnetiche nella regione delle decine di MeV – resa possibile da strumenti fatti di materiali "smart"⁵³. O allo studio delle disintegrazioni nucleari del Ferro per compressione o fratturazione delle rocce che lo contengono, reazioni particolarmente forti quando le rocce sono piezoelettriche o piezomagnetiche⁵⁴. A queste nuove ricerche faranno cenno nelle loro relazioni Srivastava e Widom.

A questo punto, accanto alle relazioni che meglio illustreranno la teoria, diventa essenziale comprendere se il livello di fattibilità sperimentale prelude a un'ingegnerizzazione che renda disponibile nel breve-medio periodo la tanto attesa energia pulita ottenuta, non più dalla FF in quanto tale, ma dalle Low Energy Nuclear Reactions.

La densità di potenza rilevata in corrispondenza alla produzione di calore "anomalo" è molto elevata già negli esperimenti con le celle elettrolitiche: un volume di reazione pari a quello di un fiasco di vino fornisce la stessa potenza del Totem, qualcuno lo ricorderà, cioè 15 kW; con un volume di reazione pari a quello di una valigia si avrebbero 250 kW, adeguati per il riscaldamento di ambienti, il calore di processo per una piccola industria, una fornitura elettrica residenziale. Stimando l'ingombro complessivo del dispositivo pari a dieci volte il volume di reazione, per la produzione di 100 kW esso potrebbe essere agevolmente ospitato nel cofano di un autovettura (di potenza medio-alta): un motore che non produrrebbe scarichi inquinanti.

Se si pensa invece alla produzione di calore anomalo in metalli di transizione, come Rame o Nichel, riscaldati (400 °C) in atmosfera di Idrogeno e con la superficie nanostrutturata, allora in un filamento di Costantana (lega Cu-Ni) di 50 mg si è rilevato un eccesso di potenza di 2 W, come ci

dirà Ubaldo Mastromatteo. Le proporzioni le sappiamo fare tutti, e quindi a 50 g di Costantana, ove siano realizzate tutte le condizioni sperimentali, corrisponderebbe una potenza di 2 kW.

Ad ancor più elevate prestazioni fa riferimento Luca Gamberale – direttore tecnico-scientifico della società Defkalion Europe, una società di ricerca e sviluppo e non di produzione di impianti – a proposito del reattore Nichel-Idrogeno “R5”, progettato dalla Defkalion. La prudenza è d’obbligo,

⁵³ Swain J., Widom A. and Srivastava Y.N.(2013). “Electrostrong nuclear disintegration in condensed matter”. *arXiv:nucl-th/1306.5165v1*.

⁵⁴ Widom A., Swain J. and Srivastava Y.N.(2013). “Photo-disintegration of the Iron nucleus in fractured magnetite rocks with magnetostriction”. *arXiv:physics.gen-ph/1306.6286v1*.

come insegna l’esperienza dell’E-cat, ma sono sicuro che Gamberale – che è stato un allievo di Preparata ed è sincero il rammarico che esprimo perché non ha potuto partecipare alla nostra conferenza – prima dell’ingresso sul mercato di quella tecnologia, anzi *come condizione necessaria alla sua credibilità*, vorrà sottoporre R5, o altre sue evoluzioni, a una *vera* validazione. Premessa oltre tutto necessaria se, come lui auspica, le aziende vorranno integrare la tecnologia Defkalion in prodotti vendibili, in modo che: *“Ognuno produrrà l’energia che gli serve, sia termica che elettrica”*.

Penso che lo stato dell’arte consenta di valutare come *realistica* la previsione che *entro un paio d’anni* saranno disponibili prototipi industriali della tecnologia che risulterà più applicabile. Anche se i moduli di produzione potranno essere messi in parallelo per raggiungere e superare il megaWatt di potenza, la vocazione delle applicazioni energetiche delle LENR è nel livello locale dell’uso e della produzione d’energia. Nel contesto, cioè, del modello di energie “pulite” e diffuse nel territorio, con la partecipazione o la gestione diretta dei cittadini, per il quale sempre più in molti si stanno battendo: per sostituire così il vecchio e tuttora imperante modello delle grandi fonti energetiche ad alta concentrazione, ad elevato inquinamento e impatto sanitario, il cui controllo è nelle mani di pochi.