

SPERIMENTAZIONE LENR: LE QUESTIONI FONDAMENTALI

Sergio Bartalucci, Laboratori Nazionali di Frascati dell' INFN, Via E. Fermi 40, 00044 Frascati (ROMA)

e-mail: Sergio.Bartalucci@lnf.infn.it

▪ Cosa sappiamo delle reazioni LENR?

- Eccesso di potenza termica
- Produzione di He and Trizio
- Produzione di nuclidi da trasmutazioni
- Emissioni di radiazioni da processi nucleari

*'Rien n'est plus dangereux que
lorsque l'ignorance et l'intolérance
sont armées de pouvoir' (Voltaire)*

▪ Dove si producono le reazioni LENR e da cosa sono influenzate?

- Nuclear Active Environment NAE, Nanoparticelle, Leghe, Litio, contenuto H/D, Superconduttività
- Fratture (cracks), Organismi viventi, ipotesi teoriche inverificate (neutroni, hydrino, condensati BE, etc.)

▪ Quali sono le osservabili fisiche e come vengono misurate?

- Calorimetria: adiabatica, isoperibolica, a flusso, termografia nell'infrarosso etc.
- Neutroni, raggi X e γ , particelle cariche

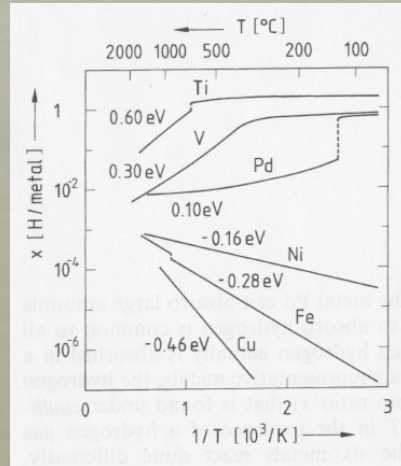
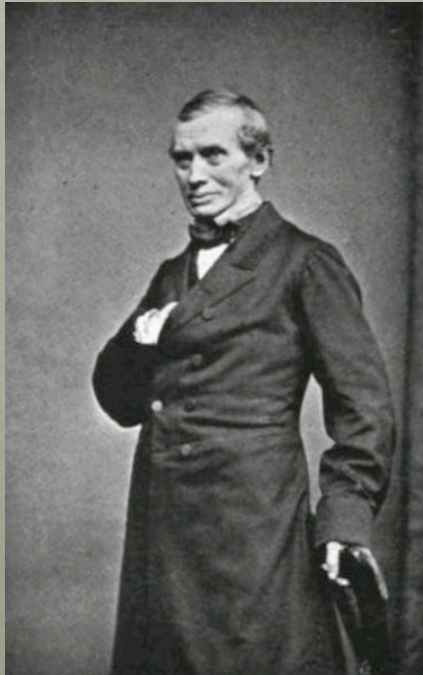
▪ Quali sono i tratti comuni agli esperimenti sulle reazioni LENR?

- Riproducibilità
- Stabilità
- Accuratezza
- *Razionale* teorico e *goal* scientifico

▪ Come dovrebbe essere fatto un esperimento 'antiscettici' sulle reazioni LENR?

H/D LOADING IN METAL LATTICES

Scoperta di T. Graham (1866)
Pd assorbe fino a 935 volte il proprio volume di H₂ in STP: più denso dell'idrogeno liquido!



Tipico dei metalli di transizione
Reazione endotermica
Variazione entalpia (calore) di soluzione positivo
Dissociazione molecola H₂ e collocazione negli interstizi del reticolo cristallino.
Profonda deformazione, abbassamento della barriera superficiale,
Alterazione delle proprietà chimico-fisiche del reticolo

Importanza tecnologica dei sistemi metallo-idrogeno:

- Accumulo e purificazione dell'idrogeno
- Sensori e rivelatori d'idrogeno
- Dispositivi termici ad idruri (condizionatori etc)
- Batterie Ni-IMH ricaricabili
- Celle a combustibile: alcuni tipi speciali

Langmuir (1909-1927): osservazione di eccessi di calore in plasmi ad idrogeno, risultati non pubblicati

Paneth-Peters (1926): tentativo di fusione di He da H con catalizzatore Pd per appl. aerostatiche (Zeppelin)

J. Tandberg (1927): osservazione di He in cella elettrolitica con Pd, brevetto rifiutato anche dopo scoperta deuterio (1932)

Fleischmann-Pons (1989): continuazione dell'esperimento di Tandberg (a loro insaputa)

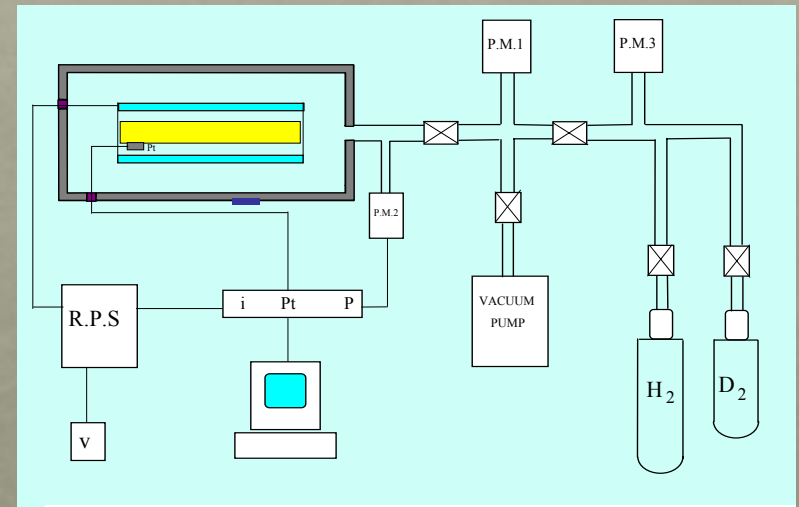
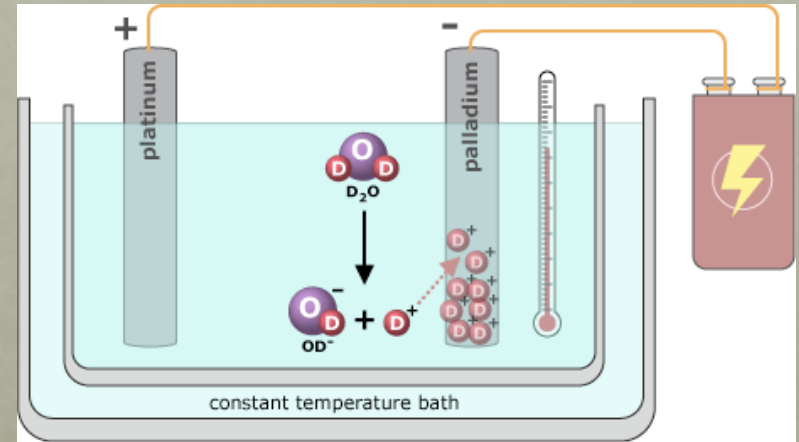
PARADOSSO:

Grande importanza per la ricerca scientifica nel settore della Materia Condensata: Quantum tunneling and Diffusion !
Grande attività con centinaia di fisici, elettrochimici, ingegneri etc
Avanzamenti significativi nel settore nell'arco di un secolo....

Eppure: diffuso disinteresse verso la possibile insorgenza di fenomeni nuovi come le LENR

LE TECNICHE

- Elettrolisi in acqua pesante (Fleischmann-Pons)
- Elettrolisi in acqua normale
- Elettrolisi con laser di bassa potenza
- Elettrodifusione con catodo a doppia struttura (Arata-Zhang)
- Elettrolisi ad alta tensione (plasma) in D_2O e H_2O
- Co-deposizione elettrolitica del Pd
- Elettrolisi su film sottili depositati su microsferi
- Elettrolisi su film sottili su substrato
- Caricamento gassoso di H_2 , D_2 su filo o sbarra
- Caricamento gassoso in nanopolveri metalliche
- Scariche a bagliore nel plasma
- Penetrazione del gas entro film sottili
- Penetrazione del gas entro fogli sottili
- **Fili esplodenti**
- **Bombardamento con fasci di elettroni**
- **Bombardamento con onde acustiche**
- **Processi biologici**
- **Elettromigrazione attraverso conduttori a stato solido**
- **Archi voltaici in carbonio**
- **Caricamento di H_2 nel Phenanthrene**



ECCESSO DI POTENZA

1989-2009: oltre 200 esperimenti con metodi diversi
 eccessi di potenza termica tra 5 mW e 183 W

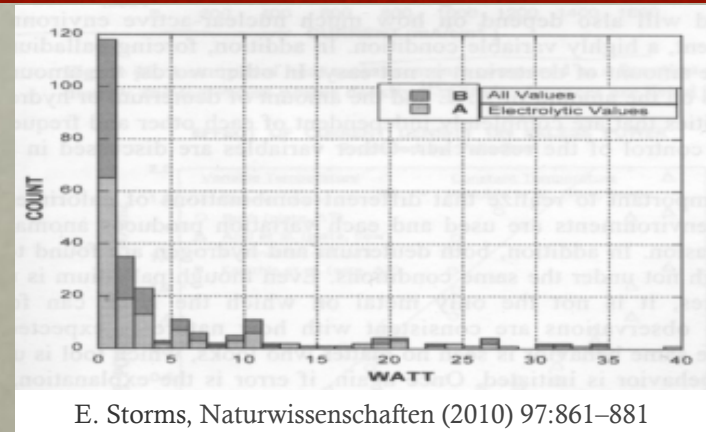
Rate di successo dipende dalla natura del Materiale Catodico: due parti dello stesso materiale possono dare risultati diversi

Errore massimo nelle misure ≤ 2 W

Lo spread nelle misure influenzato dalle condizioni della cella: dimensioni e trattamento del substrato, temperatura, energia applicata, concentrazione dei reagenti, quantità di materiale attivo

Source of Cathode Material	Maximum Excess Power, W	Success Ratio
Johnson-Matthey	0.4	9/14
Fleischmann-Pons	0.06	2/2
Johnson-Matthey	0.04	1/1
Tanaka Kikinzoku Co. (Japan)	0.06	1/3
Johnson-Matthey	0	0/1
IMRA (Japan) Pd-Ag alloy	0	0/1
Naval Research Laboratory	0	0/4
John Dash	0	0/2
Pd/Cu	0	0/2
Wesgo	0	0/6
Co-deposition	0.15	2/34

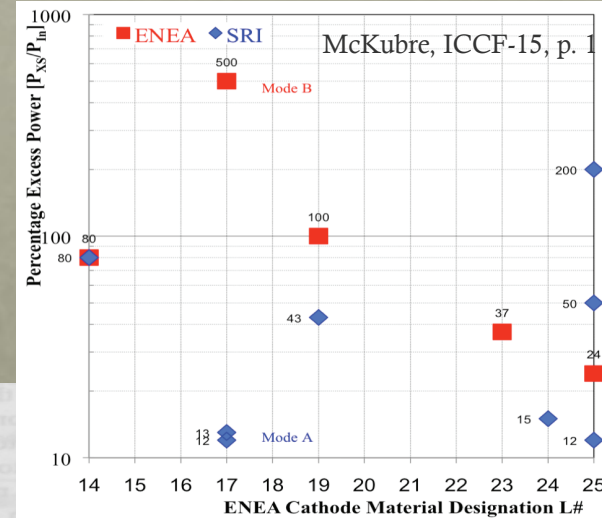
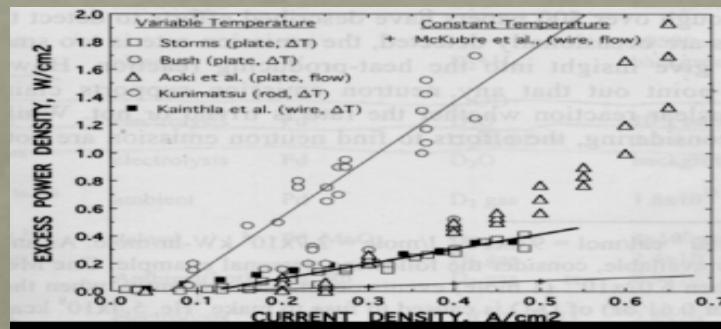
M.H. Miles, ICCF-5, p.97 (1995)



E. Storms, Naturwissenschaften (2010) 97:861–881

Misure accurate a T const. con calorimetria a flusso (McKubre et al., cella FPE)

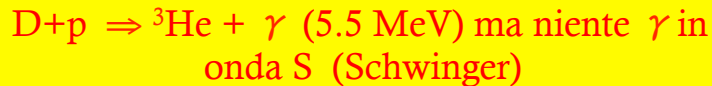
$$EP = M * (x-x_0)^2 * (i-i_0) * dx/dt$$



McKubre, ICCF-15, p. 1

ELIO E TRIZIO

REAZIONI CON DEUTERIO



Trizio: la 'firma' autentica di una reazione nucleare
T/D in D₂O è $\approx 10^{-15}$;

presenza solo occasionale, rivelato in 61 expt. su 200
con raccolte da 10^6 a 10^{16} particelle



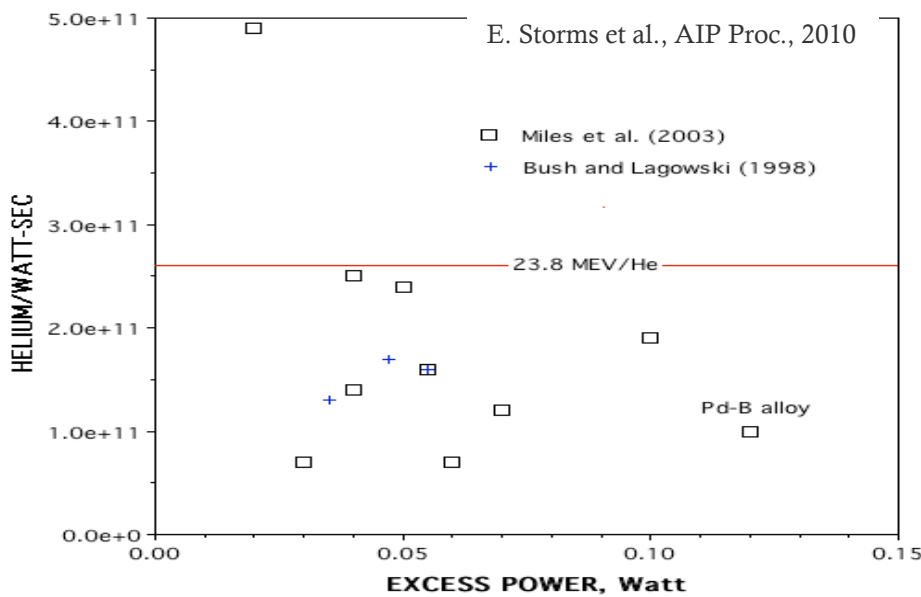
$$Q = -0.019 \text{ MeV}$$

Sovrabbondanza rispetto ai neutroni $n/T \approx 10^{-5} \div 10^{-9}$

Rivelazione difficile (LSC o contatori prop.) efficienza bassa <25%

Spettrometria di massa non semplice: misura di T via DT(5033)

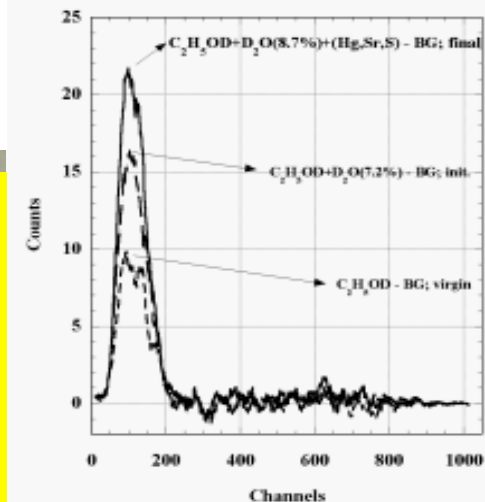
ma c'è anche DDH⁺(5036)



evidenze di eccessi anomali di Trizio in esperimenti di overloading in D/Pd

In sintesi il Trizio è:

- Raro in assoluto
- Rate instabile quando rivelato
- Dipendente dal substrato
- Osservato in condizioni 'impossibili' (Ni-H, Pd-D loading)
- Troppo per essere ignorato
- Troppo poco per essere collegato al calore anomalo



F. Celani et al., ICCF-9, Beijing 2002

$E/He = 20 \pm 5 \text{ MeV}$ ma grande incertezza sulla quantità di elio!

Altre reazioni possibili: D-cluster, $d({}^6\text{Li}, \alpha) \alpha$ etc.

IDENTIFICARE I NUCLEI

SIMS Secondary Ion Mass Spectrometry :

Alta sensibilità ≈ 1 ppm

Non distingue atomi da molecole

AMS Accelerator Mass Spectrometry: uso di Acceleratori Tandem di bassa energia; sistema ingombrante ; alta risoluzione isotopica

Super-SIMS = Accelerator-SIMS o Trace Element AMS

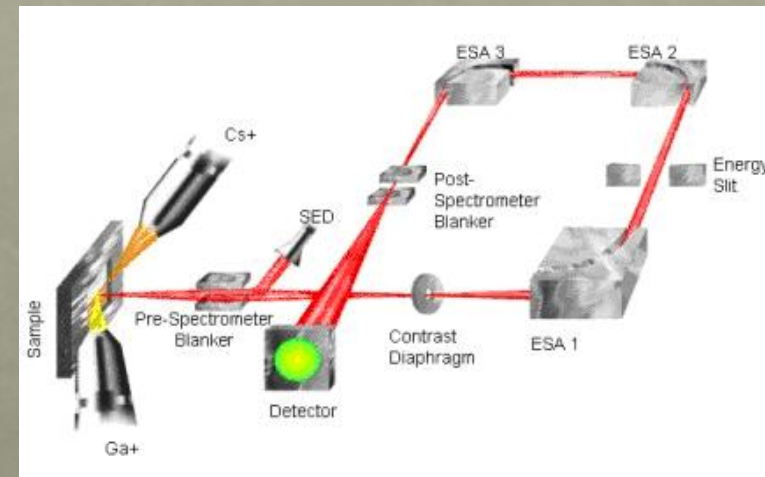
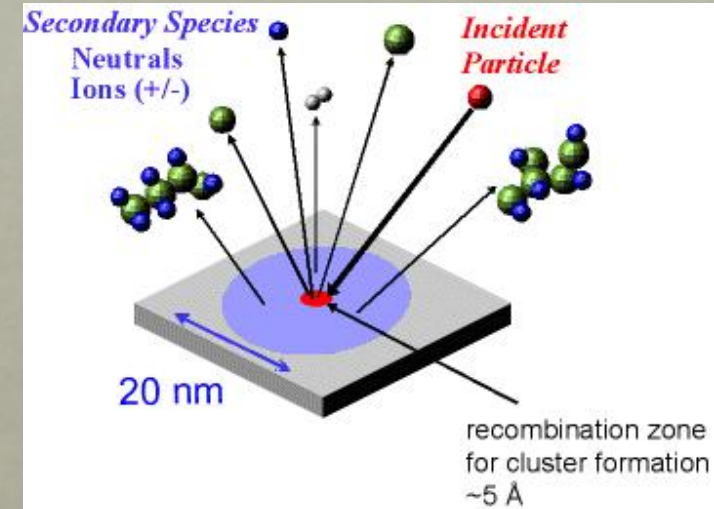
Altissima sensibilità ≈ 1 ppb \rightarrow 1 ppt

La migliore risoluzione in massa $m/\Delta m \approx 5000$

Però: Acc. alta energia: Molecole possono venir dissociate durante accelerazione

Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (ToF-SIMS)

Alta sensibilità ≈ 1 ppm, ottima risoluzione 0.001 amu



TRASMUTAZIONI

SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy)

risoluzione 0.5 amu

versus

SUPERSIMS (SIMS + AMS) risoluzione molto migliore ma solo al Tof MiniSIMS con $m\Delta m > 600$ si è potuto distinguere singoli elementi da molecole

Cella elettrochimica con catodi in Pt a thin-film:

Ni + p

$^{63}\text{Cu}/^{65}\text{Cu}$ (nat)=2.2

$^{63}\text{Cu}/^{65}\text{Cu}$ (meas)=0.165 !!

Molecole C_5H_3^+ e C_5H_5^+ dal polietilene

Esperimento di Iwamura

Diffusione D_2 attraverso sandwich 'caldo' Pd- CaO

Composizione elementare variata nel *upstream film*

$^{133}\text{Cs} \Rightarrow ^{141}\text{Pr}$ osservata con X-ray spettroscopia

Non osservato sviluppo calore come previsto, effetto *cluster*

Repliche hanno avuto scarso successo

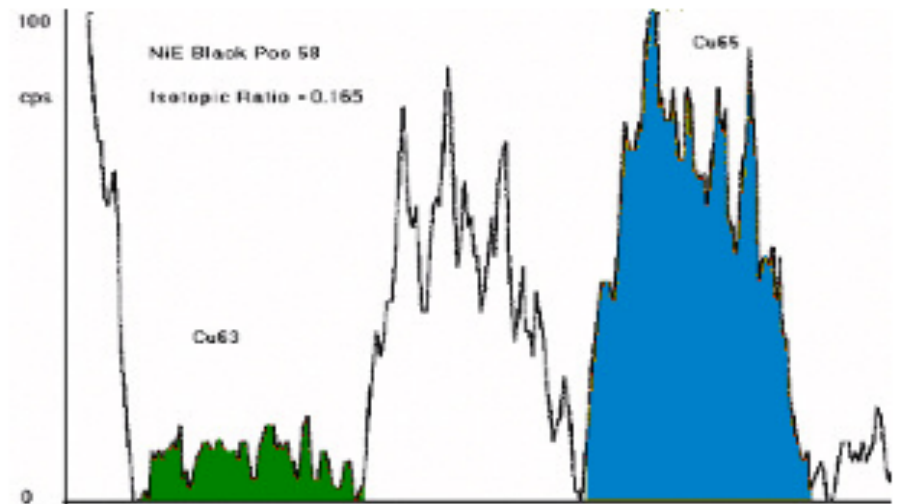
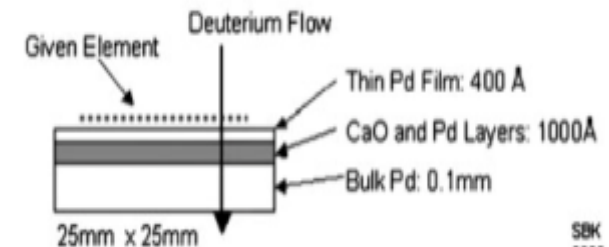


Fig. 1 - SIMS spectrum of the active film in the range of 63-65 nominal masses.

M.L. Apicella et al., Proc. of ICCF-15, p. 227 (2009)

Iwamura Gas Permeation - Multilayer Substrate



SBK
2009

Iwamura Y., et al. ICCF9 2002 Beijing, China p. 141.

RADIAZIONI DA PROCESSI NUCLEARI

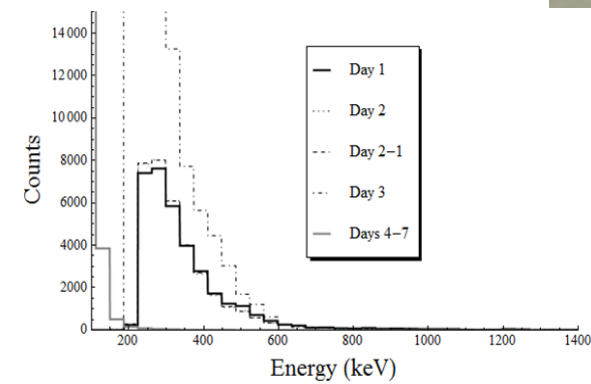
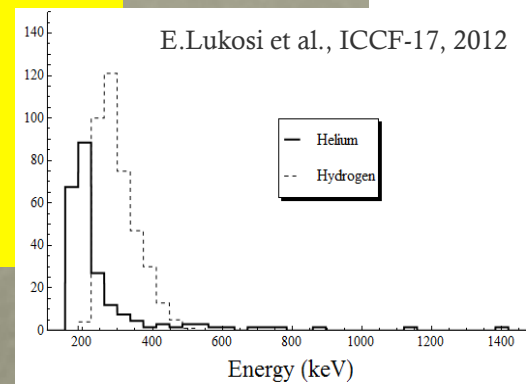
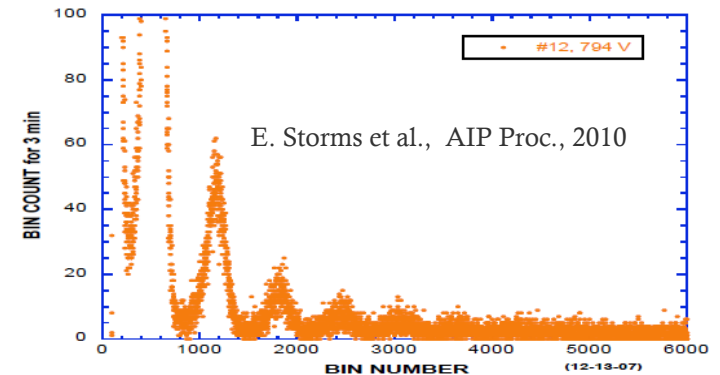
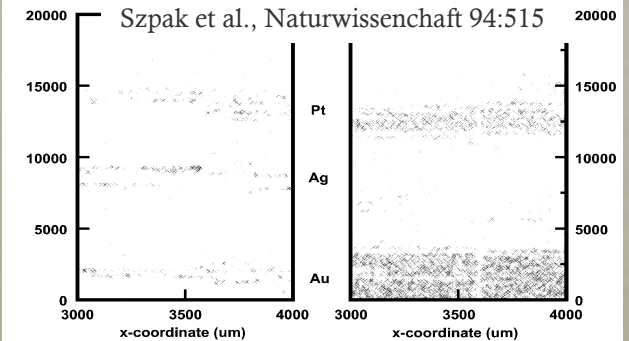
Neutroni: misure occasionali ed inaccurate
Radiazione γ da fusione nucl. 'standard' non osservata
Bursts di raggi X ma correlazione temporale?

Emissione di particelle durante elettrolisi
Uso di CR-39 con SSB (Silici a barriera superf.) per ΔE -E
Separazione isotopica difficile

Emissione di particelle dal catodo durante scariche nei gas: α , p, d ; da dove proviene questo tipo di radiazione?

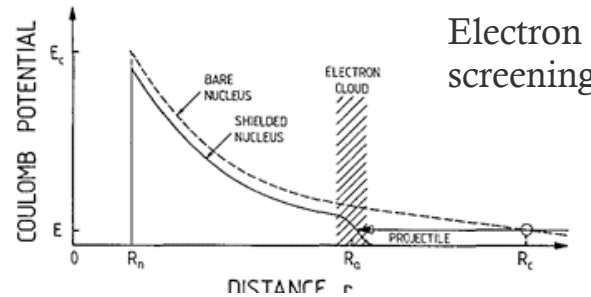
CR-39 plastics: misura solo l'accumulo di radiazione, senza correlazione temporale.
Danneggiamento da' informazioni sull'energia e natura delle particelle interessate
Identificazione e misura energia non sempre univoca, comportamento erratico
Calibrazione? Efficienza? Stima del fondo?
Pd depositato su vari metalli

Rivelatori al diamante: adattabili alle LENR ma spettri incompatibili con emissioni nucleari, background non stimato

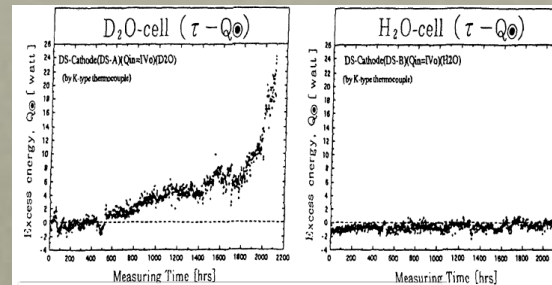
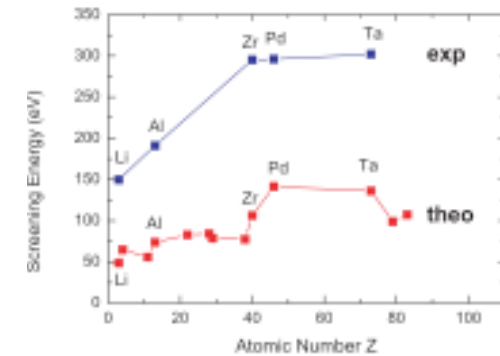


NUCLEAR ACTIVE ENVIRONMENT

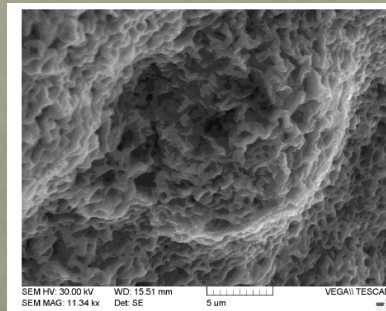
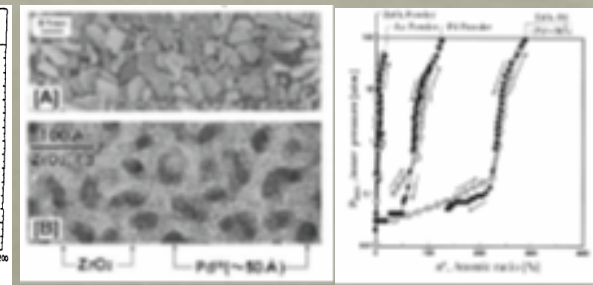
- NAE: influenza dell'ambiente 'atomico' sui fenomeni LENR
- Aumento di reattività ed alterazione del bilanciamento 'hot fusion' D-D nei reticoli metallici?
- Erraticità dei fenomeni termici: conseguenza dei NAE?
- Frattali-cracks-dendriti- clusters: tecnologia per riprodurli?
- Nanoparticelle: riproducibili?
- Organismi viventi: biotrasmutazioni?
- Ipotesi teoriche non facilmente verificabili: neutroni, hydrino, heavy electron, stati quantici correlati, condensati di Bose-Einstein etc.



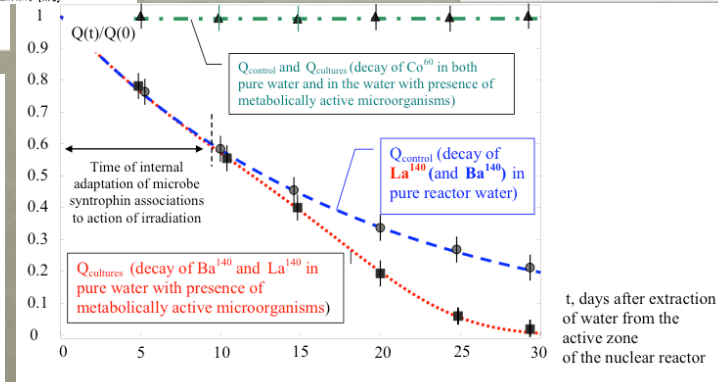
A. Huke et al., PR C 78, 015803, 2008



Y. Arata et al., ICCF-17, 2012



F. Celani et al., ICCF-17, 23012



V.I. Vysotskii et al., ICCF-10, 2003

CALORIMETRIA

Adiabatico Capacità termica Sempre applicabile Calibrazione difficile

Isoperibolico Conduttività 10(d.w.) ÷ 250 mW Condizioni stazionarie gradienti termici, convettive FPE, double wall

A flusso Capacità termica Condizioni stazionarie

Seebeck Conduttività Condizioni stazionarie

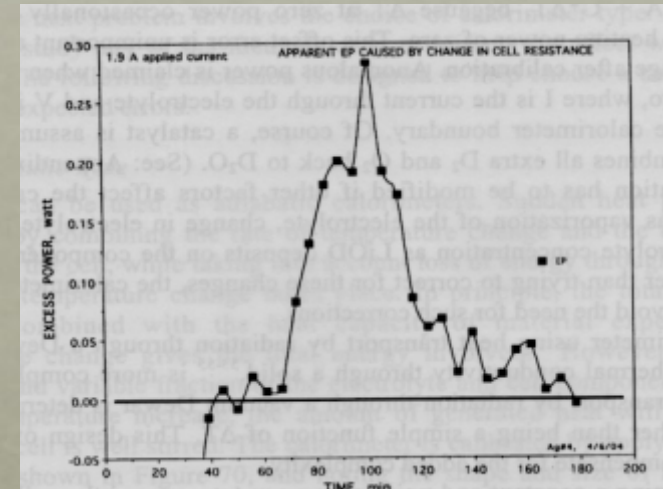
Termografia infrarosso

Problemi comuni: Precisione scarsa, calibrazione instabile, drift termici di varia natura

(stanza, flow rate, potenza applicata, strumentazione e componenti usate).

Difficoltà' di eseguire frequenti calibrazioni, non menzionate in letteratura. Necessità di taratura con reazioni chimiche note, mai effettuata.

MANCANZA TOTALE DI MISURE INTEGRALI DI ENERGIA!!



Calorimetric Power Terms Reported

GROUP	P_{CALOR}	P_{EI}	P_X	P_H	P_C	P_R	P_{GAS}	P_w
F-P *	YES	YES	YES	YES	-	YES	YES	NO
MILES	YES	YES	YES	YES	YES	-	YES	YES
CALTECH	NO	YES	NO	NO	YES	-	NO	NO
MIT	NO	YES	NO	YES	YES	-	NO	NO
HARWEL L	NO	YES	NO	NO	-	YES	NO	NO
GRENOBL E	YES	YES	YES	YES	-	YES	YES	NO

* Fleischmann - Pons

$$P_{calor} = P_{EI} + P_X + P_H + P_C + P_R + P_{gas} + P_w$$

Analisi dati inaccurata in calorimetria isoperibolica
Solo FP ottennero $\Delta P = 0.1$ mW

I TRATTI COMUNI

- **(Ir)riproducibilità**
 - Alcuni gruppi non vedono niente
 - Laboratori diversi hanno risultati diversi
 - Risultati inconsistenti nello stesso laboratorio con campioni simili
- **(In)stabilità:**
 - Non-equilibrio chimico, monitoraggio continuo, calibrazione, tempi di rilassamento
- **(In)accuratezza**
 - Eccesso di potenza resta all'interno dell'incertezza sperimentale
 - Le sistematiche non sono mai ben comprese tutte: **solo gli errori statistici sono riportati nelle pubblicazioni e non sempre!**
- **Assenza di un *rationale* teorico e di un *goal* sperimentale: **il problema più grave!****
 - necessità di un protocollo tecnico-scientifico
 - Modello predittivo/computazionale assente

L'ESPERIMENTO IDEALE?

Alcune domande fondamentali a cui dovrebbe rispondere:

- 1) Quanti sono i meccanismi fisici che attivano le LENR?
- 2) L'eccesso termico osservato nel caricamento elettrochimico e in quello a gas ha la stessa origine?
- 3) Come realizzare e mantenere i materiali attivi dal punto di vista delle impurità e dei difetti?
- 4) Le nanostrutture sono solo desiderabili, o veramente indispensabili al verificarsi delle LENR?
- 5) Quale è il ruolo rispettivo di deutoni e protoni negli esp. LENR? C'è intercambiabilità?
- 6) Dove avvengono le LENR? Solo sulla superficie o c'è anche un effetto 'bulk'?
- 7) Qual è il ruolo degli ossidi metallici ed altre interfacce?
- 8) Si può realmente escludere l'intervento di reazioni non-nucleari nello sviluppo di calore?
- 9) Che rapporto c'è tra l'emissione di particelle nucleari e l'eccesso termico?
- 10) Quali sono le ragioni fondamentali che minano la riproducibilità degli esperimenti?
- 11) Etc. etc. etc.

Una combinazione delle migliori tecniche sperimentali già utilizzate nel settore

Una preparazione metodica degli apparati e dei materiali.

Una numerosa equipe sperimentale con competenze multidisciplinari

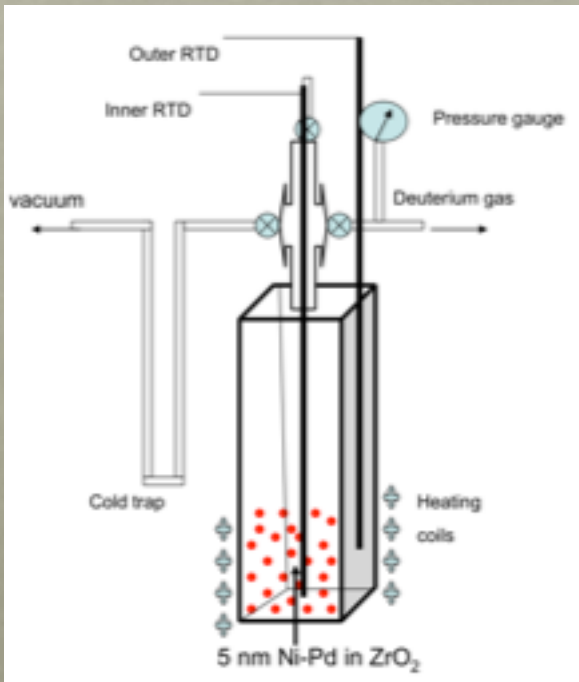
La sperimentazione finora è stata condotta con esiguità di mezzi finanziari e di personale .

Soltanto un ente/istituto di ricerca di medie dimensioni appare in grado di ospitare un'attività sperimentale 'seria', che permetta di rispondere a queste domande in modo esauriente

A WATERSHED EXPERIMENT

EPRI Technical Update 1025575, August 2012

EPRI - Vibronic Corp. (B. Ahern): approccio trasparente
Repliche con nanopolveri di leghe Pd-Ni 5-10 nm immesse in ZrO_2



Fase I: Arata 2008

Eccesso di pot. $\approx 100 \text{ mW}/^\circ\text{C}$

$\approx 18 \text{ eV}/\text{atomo}$ per $0.5 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow$

Chimica Esclusa, Nucleare
pure

per assenza di radiazioni
misurate

da 4 rivelatori diversi!

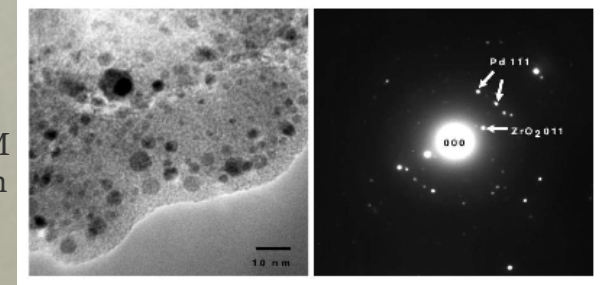
Thermal triggering cruciale ma

$\Delta T_{\text{max}} = 2.2 \text{ }^\circ\text{C}$

Errore in calorimetria $\pm 30\%$

Per le polveri di Ni non c'è
rapporto tra eccesso di calore e
alto valore del caricamento H

Immagini TEM
di Isole di Ni in
 ZrO_2



Fase II: Piantelli - Focardi – Rossi

Meccanismi di trigger nel sistema Ni-H

Catalizzatori metallici inefficaci

Sinterizzazione polveri previene eccesso termico

Ottimo risultato ma unico nell'ultimo exp:

Eccesso termico 21 watts per 5 g di nanopolveri!

Equivalente a **4W/g** vs. **7 W/g** dichiarato per E-cat

**'Such a thermal power in a gas phase system
at 525°C is potentially exciting because of
possible high pressure steam turbine applications!'**

Raccomandazioni: studio high voltage pulse triggering; possibili effetti risonanti

Cicli termici di pressione e temperatura: ruolo riconosciuto ma non capito

Proprieta' ferromagnetiche dei nano-ossidi metallici ancora sconosciute; fluttuazioni
di energia tra domini magnetici

Calore in eccesso da nanopolveri: **possibili transizioni di fase di nuovo tipo?**

ROSSI'S AFFAIR



Focardi-Rossi (2011)

E-cat: fusione Ni-H ?
O qualcos'altro?
Barriera del brevetto
Assenza di conferme
Fenomeno
intrinsecamente
mediatico, che esula dall'
ambito scientifico

Critiche al test <http://arxiv.org/abs/1306.6364>

Sperimentatori non realmente indipendenti

Test non in 'campo neutro'

Materiale attivo solo presunto, non accertato

Invocato segreto industriale => impossibilità di controllare le varie fasi del test, ristretto alla sola misura di potenza in/out

Assenza di radiazioni: manca un report dettagliato, necessario in vista dell'enorme densità di energia 250 kWh/g (reattore fissione 750kWh/g)

Inoltre la densità di potenza in un caso è ancora maggiore (>15 kW/cm³) => **fusione del reattore!**

Sorgente di potenza elettrica esterna: non ne viene giustificata la necessità, nè viene caratterizzata la correlazione con l'emissione di calore, viene misurata solo durante il run di calibrazione e non con il reattore

Potenza elettrica ed potenza termica appaiono in fase: **strano!**

Run di calibrazione non significativo: effettuato in condizioni diverse dalla misura con l'E-cat (**le distr. di temperatura richiedono una sorgente interna o possono essere semplicemente spiegate come diffusione termica?**)

Le possibili cause dei fenomeni osservati, che non invocano uno 'straordinario' eccesso di energia, non sono state considerate.

Test indipendente (<http://arxiv.org/abs/1305.3913v2>)

Primo esempio di misura di potenza con termografia infrarossa

Controllo dell'isolamento elettrico ma non dell'input al reattore

Nanopolveri di Ni con caricamento di H

Due run sperimentali di 96 e 116 ore, rispettivamente, con un run di calibrazione

Sviluppi di calore anomali osservati, oltre un fattore 10 maggiori di qualunque altra sorgente convenzionale, anche nell'ipotesi più conservative

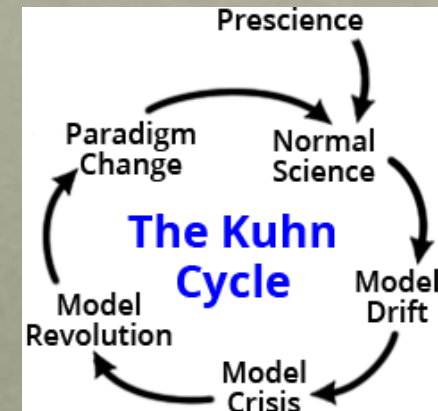
CONCLUSIONI

- Successi della scienza: condivisione universale di regole (Metodo Scientifico)
- Fallimenti della scienza: accettazione prematura o rifiuto pregiudiziale di nuove verità; entrambi sono contrari al Metodo Scientifico
- Fallimento di uno o più esperimenti non basta ad inficiare la validità di altri, ma deve comunque servire a migliorarne la qualità scientifica
- Ciclo di Kuhn (**Storia della Rivoluzioni Scientifiche**)

**Se una nuova rivoluzione scientifica è alle porte,
non può che scaturire dalle LENR**

“È sorte comune delle nuove verità cominciare
come eresie e finire come superstizioni” (T.H. Huxley)

La Scienza Ufficiale è già nell'epoca della superstizione?



Grazie dell'attenzione!

Sergio.Bartalucci@lnf.infn.it

Sergiobarta@tiscali.it

