

# La fusione fredda da sogno a realtà: gli esperimenti in Italia e nel mondo

**Francesco CELANI**



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Laboratori Nazionali di Frascati

V. Presidente ISCMNS (International Society of Condensed Matter Nuclear Science)

---

**Evento divulgativo “La fusione fredda è diventata realtà?” – Viareggio, 23 luglio 2011**

**Sponsor: Delta Energie srl - Patrocinio: Comune di Viareggio.**

# Le reazioni conosciute che forniscono energia

Sono di 4 tipi diversi, di cui uno *nuovo*:

	Reactions Initiated By	Propagating Reactions	Runaway Reactions
<b>Chemical</b>	Flame	Burning	Explosions
<b>Fission</b>	Slow Neutrons	In Nuclear Reactors	Atomic Bombs
<b>Fusion</b>	Very Hot Plasmas	Possibly in Tokamaks	Hydrogen Bombs
<b>LENR</b>	Unknown	Possibly HAD	Unknown

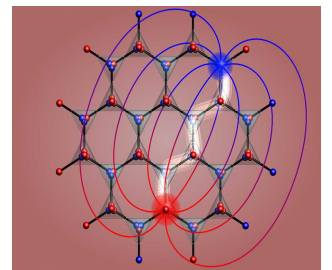
“**LENR**” è acronimo di “*Low Energy Nuclear Reactions*”  
 nome dato alla “fusione fredda”, particolarmente in USA.

## La nuova linea di ricerca: LENR o “CMNS”

Da circa 10 anni gli studi sulla Fusione Fredda sono identificati anche con l'acronimo **CMNS** (Condensed Matter Nuclear Science), particolarmente in ambito Europeo e Giappone-Cina-ex-Russia.

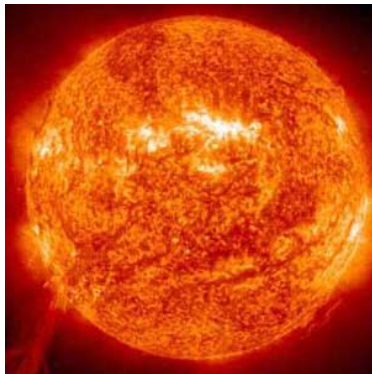
⚡ È stata fondata una Società Scientifica, a livello Internazionale (ISCMNS, *International Society of Condensed Matter Nuclear Science*), con sede in GB, per coordinare gli studi in tale settore.

⚡ Ne fanno parte anche **Premi Nobel**, membri della Royal Society, etc. Presidente della CMNS è Li Xing Zhong (Cina), ex-Fusione calda ed IAEA; Vice-Presidente sono io.

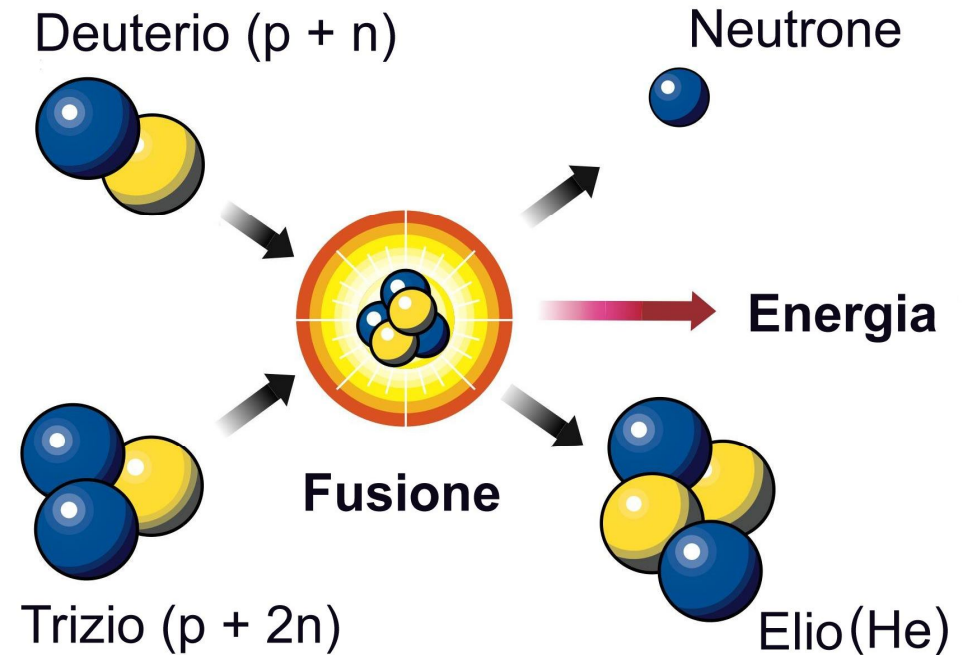


## “Fusione fredda” vs. “Fusione calda”

La “fusione calda” è quella che avviene nelle *stelle* ad altissime temperature e pressioni. Nel caso del sole inizia con il ciclo p-p.



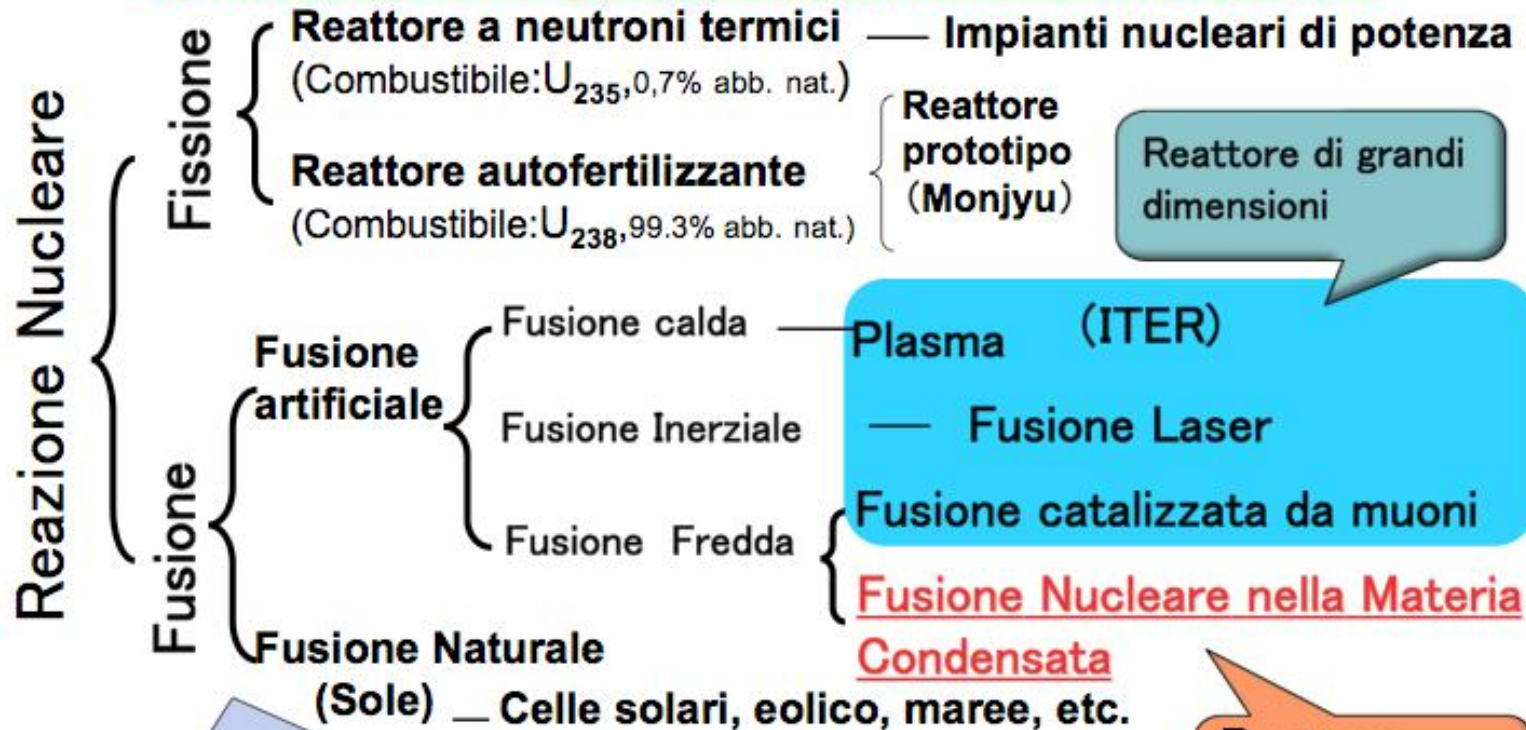
La “fusione fredda” avviene a *basse temperature* (40°-900°C) ed a *basse pressioni* (1-60 atm.).



## Informazioni base:

by Hioki Tatsumi Toyota-Japan  
e modifiche di F.Celani

## Utilizzo dell'Energia prodotta da Reazioni Nucleari



Reattore di grandi dimensioni

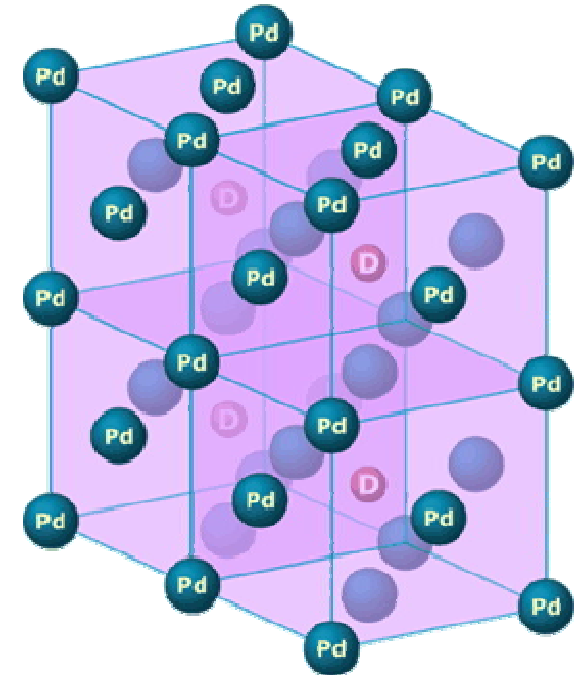
Reattore portatile?

- Scorie Nucleari: Poche
- Combustibile Infinito (acqua di mare)
- Senza  $CO_2$  (anche nella fissione)

## Fusione nucleare nella materia condensata

La *fusione fredda* non può avvenire in un mezzo qualsiasi ma solo nella “materia condensata”.

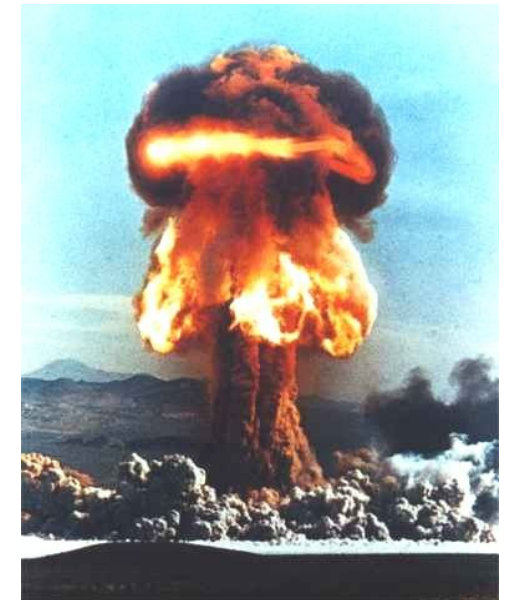
Condizione necessaria, **ma non sufficiente**, per l’innesco della reazione è che il “combustibile” (ad es. H o D) raggiunga una certa **soglia di concentrazione nel reticolo cristallino** di un metallo (ad es. Pd o Ni): tale operazione è detta “**caricamento**”.



## Reazioni in regime controllato e non

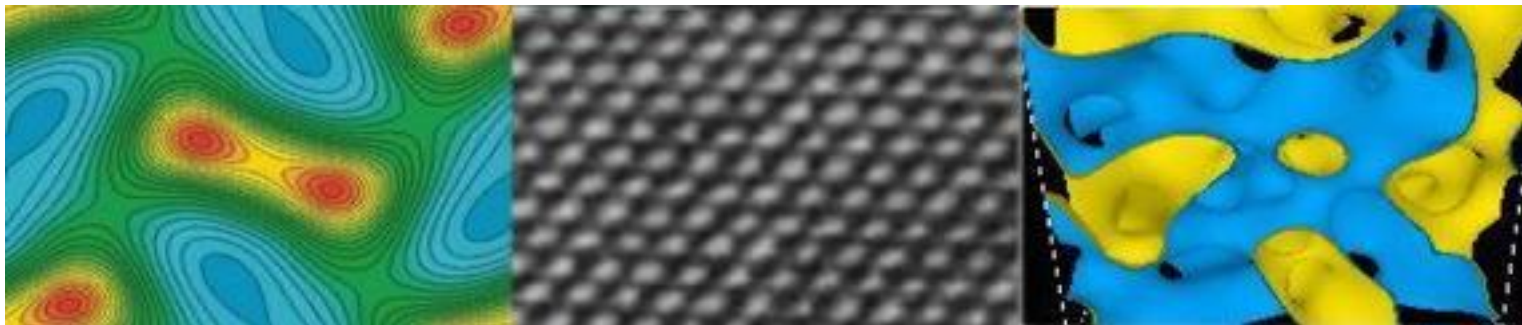
Nelle reazioni di  *fusione fredda* in **REGIME CONTROLLATO** vi è produzione di energia e/o particelle nucleari.

Le  *reazioni nucleari a bassa energia* realizzate, invece, in **REGIME INCONTROLLATO** possono essere usate per realizzare armi autonome o come innesco per micro-mini bombe atomiche (1/10.000 – 1/100 Hiroshima).



# Introduzione alla Fusione fredda = LENR

- 1) La nascita delle LENR non è stata “felice” (Fleischmann-Pons).
- 2) Le reazioni non producono radiazioni nucleari intense e/o decadono rapidamente.
- 3) I meccanismi alla base delle LENR non sono ancora compresi.
- 4) Se le LENR raggiungeranno la fase di commercializzazione, il loro uso come fonte di energia può diventare dominante.





# Fusione fredda: i due principali filoni di ricerca - I

## 1) Reazioni “PALLADIO-DEUTERIO” (Pd-D<sub>2</sub>)

### *Esempio:*

- Esperimento originale di Fleischmann e Pons (1989, USA)

### *Tipo di cella:*

- Elettrolitica (pertanto “umida”)  
con Fleischmann-Pons, ma in  
seguito anche “secca”: Arata,  
Celani, Claytor, Takahashi, ...



# Fusione fredda: i due principali filoni di ricerca - II

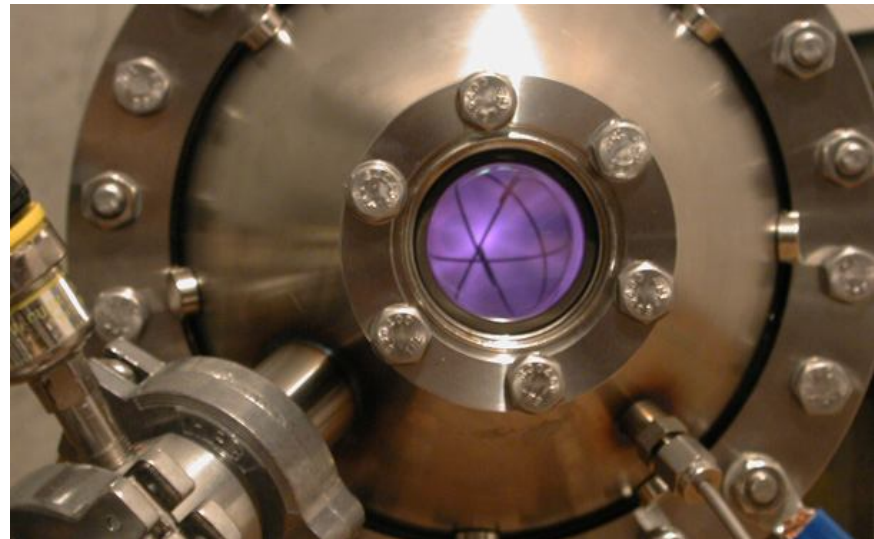
## 2) Reazioni “NICHEL-IDROGENO” (Ni-H)

*Esempio:*

- Ricerche di Piantelli-Focardi-Habel a Siena e successive

*Tipo di cella:*

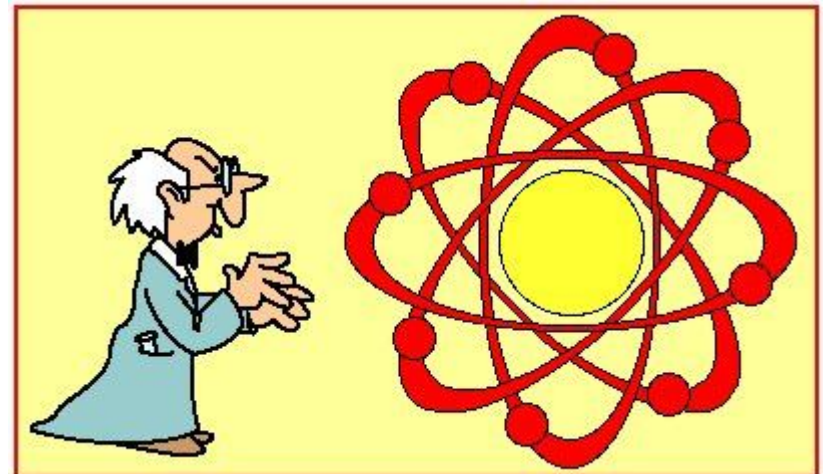
- Secca (una camera chiusa)



## Il setup sperimentale nella fusione fredda

Per realizzare reazioni *in regime controllato* in genere occorre:

- Un combustibile: ad es. **Deuterio** ( $D_2$ ;  $D_2O$ , acqua pesante) oppure **Idrogeno** ( $H_2$ ) ma monoatomico (H, D) => facile.
- Un metallo: ad es. **Palladio** (Pd) oppure **Nichel** (Ni)
- Una cella: ad es. “umida” (elettrolitica) od “a secco”
- Le giuste condizioni: di temperatura, pressione, etc.



## La nascita della fusione fredda

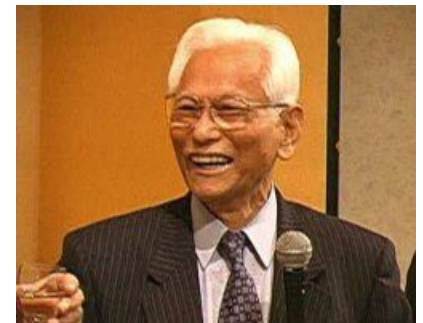
La linea di ricerca della FUSIONE FREDDA inizia il 23 Marzo 1989 a seguito dell'annuncio congiunto di due illustri elettrochimici dell'Università di Salt Lake City (**M. Fleischmann e S. Pons**) e di un fisico nucleare (**S. Jones**) dell'Università di Provo, entrambi nello Utah-USA.

\* **Martin Fleischmann** è stato addirittura Presidente della Società Internazionale degli Elettrochimici ed è membro (da circa il 1980) della Royal Society (Inghilterra).



\* **Steven Jones** era un notissimo fisico nucleare nell'ambito della Fusione indotta da muoni (cosidetti "elettroni pesanti"), editore della rivista "Muon Catalysed Fusion" e co-autore di un articolo (ad altissimo "impact factor") pubblicato su Scientific American nel 1986 sulla  *fusione muonica* (ri-usò il termine "**Fusione Fredda**" di Luis Alvarez). La fusione muonica fu prevista da **A. Sacharov** ("padre" della bomba H in Russia) nel 1950 e scoperta sperimentalmente nel 1956 dal (futuro, 1968) **Premio Nobel Luis W. Alvarez** nella reazione protone-deutone.

\* In realtà, anche se poco noto, i primi studi sulla fusione fredda risalgono al 1958: **Yoshiaki Arata, Università di Osaka-Giappone** → *Solid State Nuclear Fusion*.



## Le ricerche pionieristiche di Yoshiaki Arata

**Yoshiaki Arata** è stato il pioniere della fusione calda con il metodo del pinching dal 1958 (primo esperimento al mondo, Università di Osaka) con il Deuterio ( $D_2$ ) in fase gassosa.

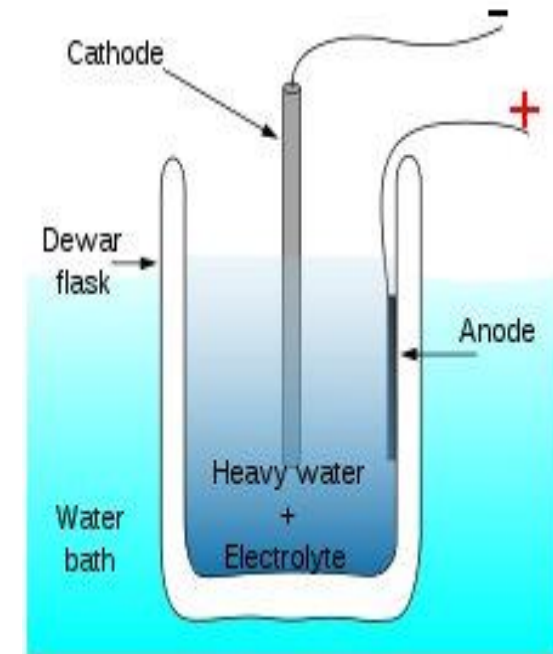
⚡ Dopo il 1958, stanco di affrontare i problemi *d'instabilità del plasma*, tipici di tale metodologia, pensò di “confinare” il  $D_2$  dentro il reticolo cristallino del Palladio (Pd) e sottoporre il tutto a situazioni di **non-equilibrio** con le elevatissime *correnti pulsate* già usate per la fusione calda.

⚡ Diede a tale linea di ricerca, perseguita a livello pressoché amatoriale presso l'Università di Osaka, il nome di “*Solid State Nuclear Fusion*”.

# Il primo esperimento “noto”: Fleischmann e Pons

Anno 1989 - Conferenza stampa di annuncio senza avvenuta pubblicazione  
(solo accettato da Journal of Electroanalytical Chemistry)  
su rivista con *peer review*.

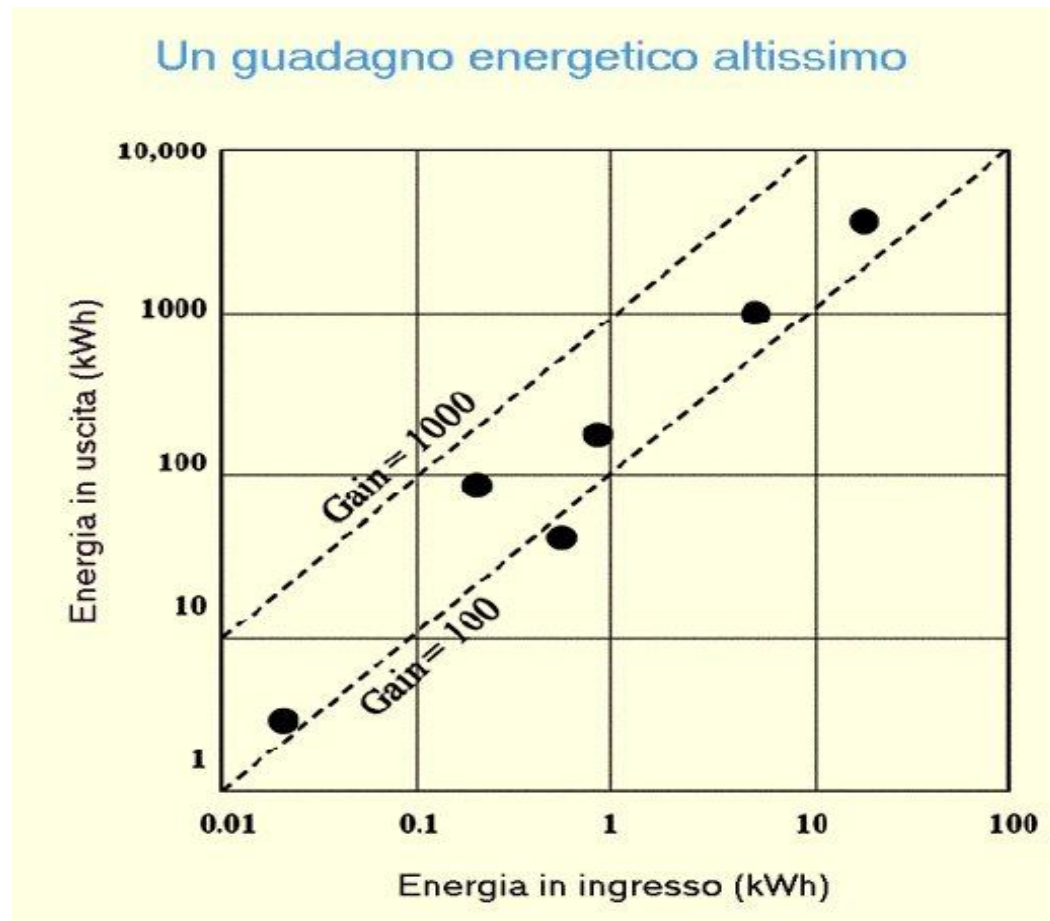
- ⚡ **Setup: Cella elettrolitica Palladio-Deuterio.**
- ⚡ **Due elettrodi: uno di Palladio e uno di Platino.**
- ⚡ **Il Deuterio è “caricato” nel Palladio.**
- ⚡ **F&P dichiarano di aver osservato i seguenti prodotti: leggero calore in eccesso, neutroni, raggi gamma e X...**



## Stato dell'arte oggi: l'E-Cat di Rossi-Focardi

*(N.B. Dichiarazioni di Rossi-Focardi, no test indipendenti esterni)*

È una apparato (E-Cat) che sfrutta la reazione Nichel-Idrogeno (Ni-H). “Sviluppo” esperimenti Piantelli-Focardi-Habel (1992, rod di Ni) ma con nano-micro particelle di Ni + *XYZ (segreto)*

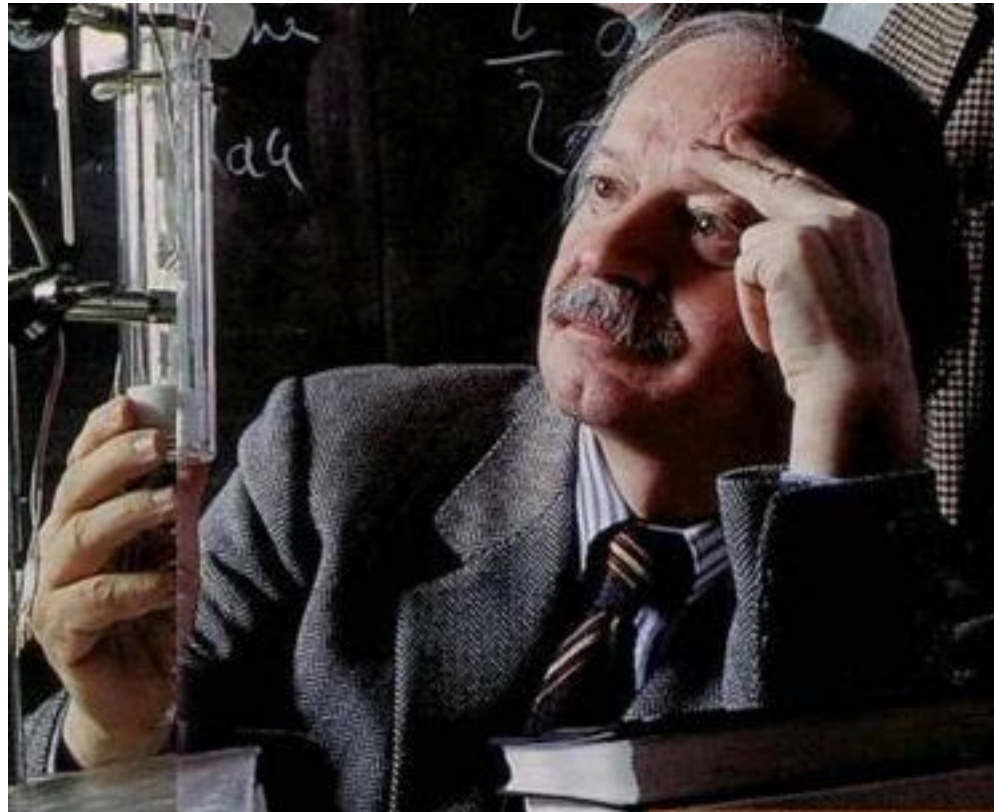




## Gli esperimenti “nel mezzo”: oltre 20 anni...

- a) **G. Fralick (NASA, 1989) – Cella “a secco” non di tipo elettrolitico alla F&P: flusso di D<sub>2</sub> gas pressurizzato ad alta temperatura (330°C) attraverso tubo Pd, eccesso termico in ingresso ed uscita unicamente con Deuterio; con H<sub>2</sub> eccesso termico solo in ingresso (come atteso).**
- b) **Y. Iwamura (Mitsubishi, 2000): produzione di nuovi elementi, cioè “trasmutazione”, tramite multistrati nanometrici di Pd/CaO depositati su substrato massivo (spessore lamina 0.1mm) di Pd e D<sub>2</sub> gas flussato tramite gradiente di pressione (2-3 Atm), temperatura di 80°C; depositi di Sr->Mo, Cs->Pr, Ba->Sm. La quantità di materiale trasmutato è dell'ordine di ng/cm<sup>2</sup>/giorno.**

- c) **G. Preparata e coll. ENEA, 2002:** dimostrazione sperimentale del “**confinamento**” del D provocato da una elevata differenza di potenziale ai capi di fili lunghi e sottili di Pd, regime elettrolitico, evidenza di **calore anomalo ed  $^4\text{He}$**  (cfr. De Ninno).



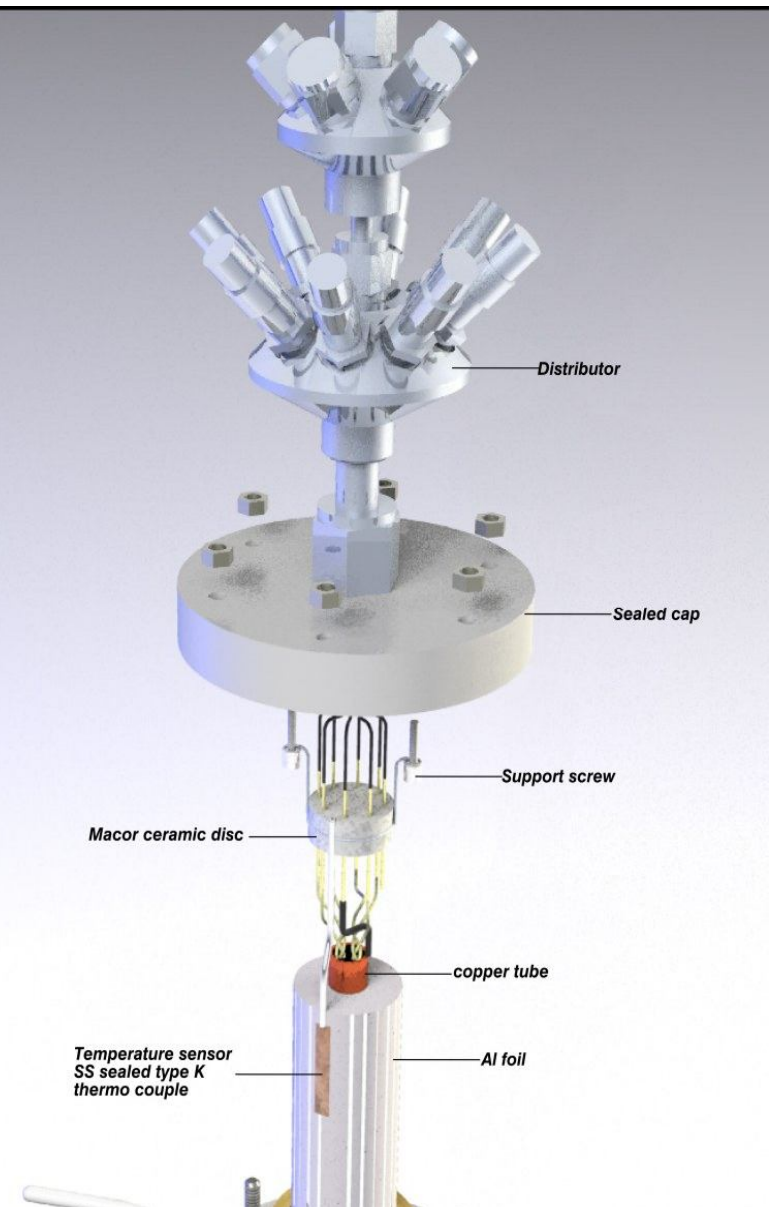
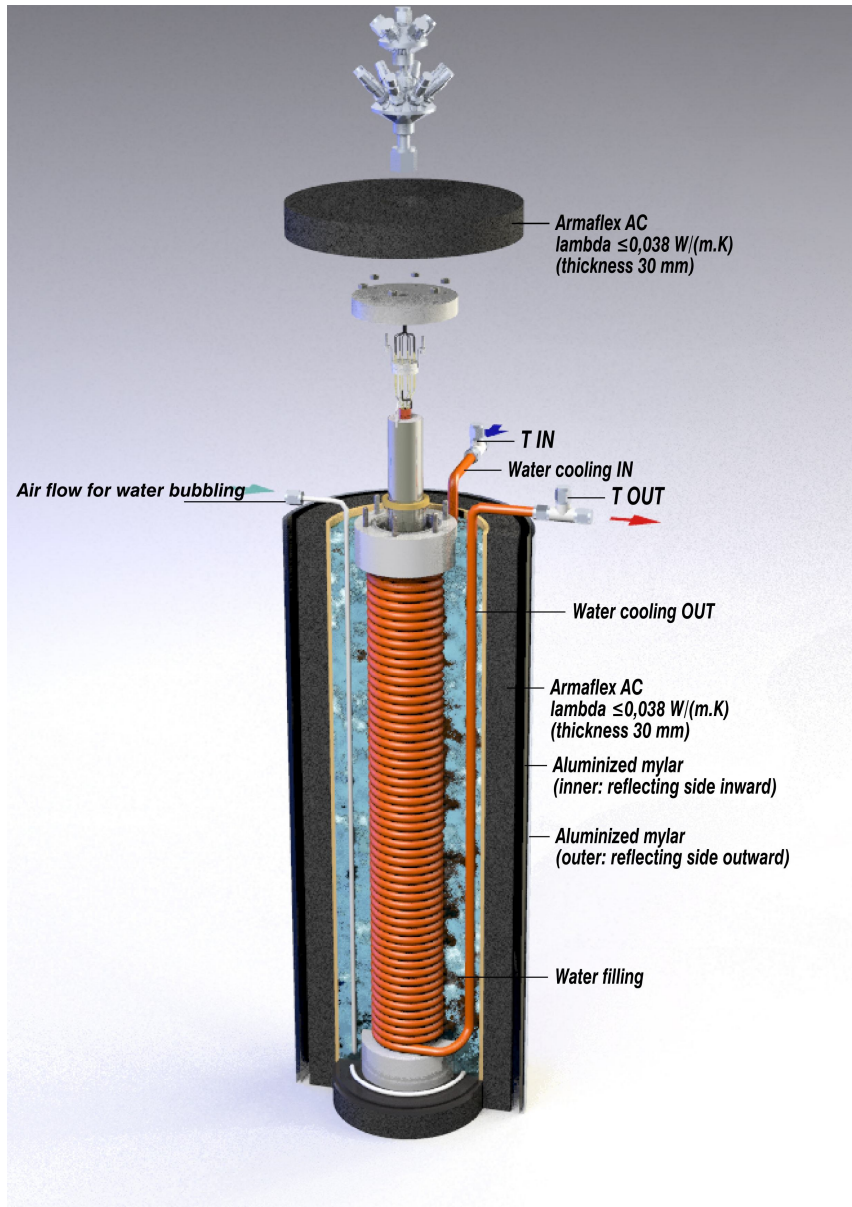
- d) **Y. Arata (Univ. Osaka, 2005)**: utilizzo di **nanoparticelle, 5-15nm**, di Pd disperse in una matrice di Zirconia; evidenza di calore anomalo ed  $^4\text{He}$  ad alta concentrazione. Misura online della produzione di calore e successiva produzione di **valori macroscopici di  $^4\text{He}$** . Dimostrazione pubblica dell'esperimento ad Università di Osaka (Maggio 2008).
- e) **A. Takahashi, A. Kitamura (Toyota e Univ. Kobe, 2009)**. Esperimenti di replica di quello di Arata, ma effettuati con un apparato completamente diverso e materiale preparato da una Industria (Soc. Santoku, Kobe).

***È stato finalmente superato il problema della cosiddetta irriproducibilità trasferita negli esperimenti di CMNS.***

f) **F. Celani e coll. (INFN, 2008)**: sviluppo di tecnica ibrida per ottenere calore anomalo ad alta temperatura (500°C). Pd in forma di fili lunghi e sottili (tipo Preparata) con depositi a multistrato (tipo Iwamura) di nanomateriale (tipo Arata), il tutto in atmosfera gassosa di D<sub>2</sub> ed elevata temperatura prodotta da Joule heating (fenomeni di “iperdiffusione” del D<sub>2</sub> all’interno del Pd provocati sia da diffusione termica, tipo Arrhenius, che elettromigrazione con  $J=45$  kA/cm<sup>2</sup>). Densità di potenza massima ottenuta: 400W/g di Pd e D<sub>2</sub> a 500°C; **1800W/g di Ni e H<sub>2</sub> a 900°C, ma di ardua replica.**



*La tecnica del deposito di nanoparticelle su fili sottili rappresenta lo sviluppo/variante di una procedura che è stata da noi sviluppata, dal 1998, in elettrolisi.*



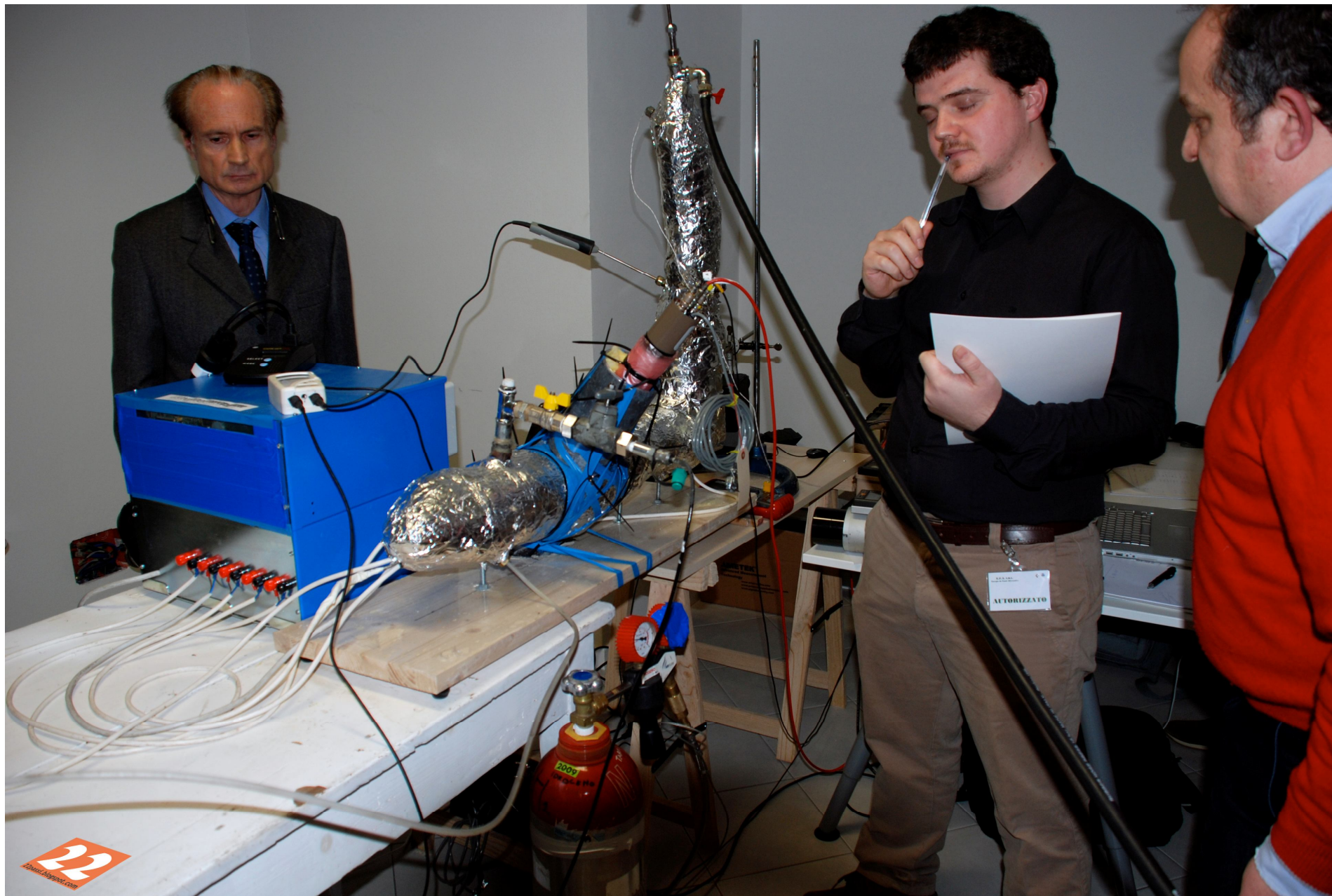
## Uso del Nichel-Idrogeno

a) I primi esperimenti dell'utilizzo del Ni puro" (cilindri di varie dimensioni) e superficie "trattata (NdA nanostruttura topologica?), in un sistema gassoso riempito di  $H_2$  a pressioni sub-atmosferiche e temperature di circa  $350^\circ C$  è quello realizzato dal gruppo: **Piantelli-Focardi-Habel** nel 1992 presso l'Università di Siena.



Difficoltà di replica dell'esperimento hanno limitato lo sviluppo ulteriore di tale (interessante) procedura. Si ha notizia (ufficiosa) che, recentemente, Piantelli sia riuscito a superare la maggior parte degli ostacoli.

b) La tecnica del Ni-H, ma con nano-particelle di Ni ricoperte da uno specifico additivo, è stata ripresa dal gruppo **Andrea Rossi-Sergio Focardi** (Industria privata ed Univ. di Bologna, 2008). Veniva usato idrogeno “nascente” prodotto da una piccola cella elettrolitica (attualmente H<sub>2</sub> gas pressurizzato). I risultati - e le procedure - sono mantenuti nel riserbo (brevetti). **Secondo gli Autori,** inizialmente sono riusciti ad ottenere un guadagno energetico a temperature (stimate) di 300°C, di circa 8 con un reattore “standardizzato” da 1-3 kW termici. **Fino ad arrivare all’attuale reattore da oltre 10 kW termici che “amplificherebbe” fino ad un fattore 100, ma poco stabili (sicurezza???)**





c) Dal 2005 **Y. Arata** ha sviluppato anche un nuovo tipo di nanoparticelle dalla composizione atomica  $\text{Ni}_{30}\text{-Pd}_5\text{-(ZrO}_2\text{)}_{65}$ . Attualmente (2009→), tale materiale è quello che sta fornendo i migliori risultati dal punto di vista dell'eccesso termico, anche se limitato a tempi di 48h.



Un gruppo americano (da Sett. 2010) ha replicato con successo il materiale sviluppato da Arata. Misure effettuate con apparato e personale della Toyota (Nagoya-Giappone). Attualmente un nuovo materiale utilizzato da Ahern ( $\text{ZrO}_2$ , Ni, Cu, Pd,) è addirittura migliore di quello di Arata (8W a  $580^\circ\text{C}$ , oltre 2 settimane).

d) Il deposito da **Noi** sviluppato per realizzare il multilayer prevede strati alternati di Pd e sali multipli (B, Ba, Sr, Th, etc). La stessa procedura è applicata sia per i fili in Pd che per quelli in Ni. I (migliori) risultati ottenuti con il **Ni** sono nettamente superiori a quelli ottenuti con il **Pd** rispetto alla densità di potenza in eccesso e temperatura (Ni: 1800 W/g, 850-900°C; Pd: 400 W/g, 500-550°C) ma sono di ardua replica (almeno finora).



# Flow Calorimetric Measurements of Interaction of H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>, He with Nano-coated Wires of Ni and Pd-Alloy at Temperatures up to 850° C

Francesco Celani<sup>(1)</sup>, M. Nakamura<sup>(2)</sup>, O. M. Calamai<sup>(1)</sup>, A. Spallone<sup>(1)</sup>,  
A. Nuvoli<sup>(1)</sup>, E. Purchi<sup>(2)</sup>, V. Andreassi<sup>(1)</sup>,  
B. Ortenzi<sup>(1)</sup>, E. Righi<sup>(1)</sup>, G. Trenta<sup>(1)</sup>, A. Mancini<sup>(3)</sup>.

- 1) Istit. Naz. Fis. Nucl., Lab. Naz. Frascati, Via E. Fermi 40, 00044 Frascati-Italy.
- 2) ISCMNS, Rome#1 Group, Via Lero 30, 00129 Rome-Italy.
- 3) ORIM SpA, Via Concordia 65, 62100 Macerata-Italy.

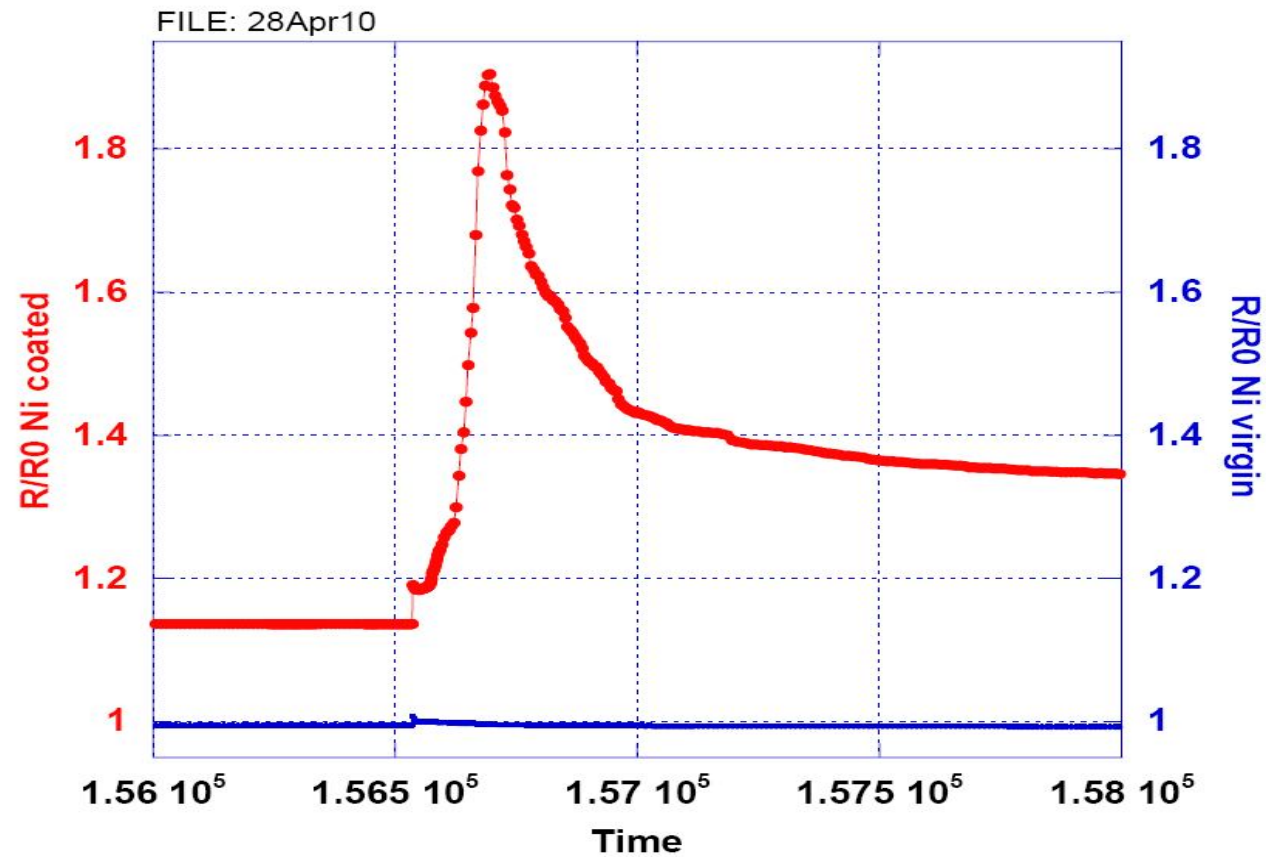
## *Collaboration with:*

- **G. Mariotti, F. Tarallo, A. Bianchi, E. Paganini.** Enel Engineering and Innovation SpA, Via Andrea Pisano 120, 56122, Pisa –Italy.
- **U. Mastromatteo.** STMicroelectronics, Via Tolomeo 1, 20010 Cornaredo (Mi)-Italy.
- **D. Garbelli.** Pirelli Labs, Viale Sarca 222, 20126 Milano-Italy.
- **L. Gamberale.** MOSE SrL, Viale Montegrappa 20, 27029 Vigevano (PV)-Italy
- **A. Takahashi,** Technova Inc. Tokyo-Japan
- **A. Kitamura.** Dept. of Engineering, Kobe University-Japan

*ICCF16, Chennai (India), February 5-12, 2011*

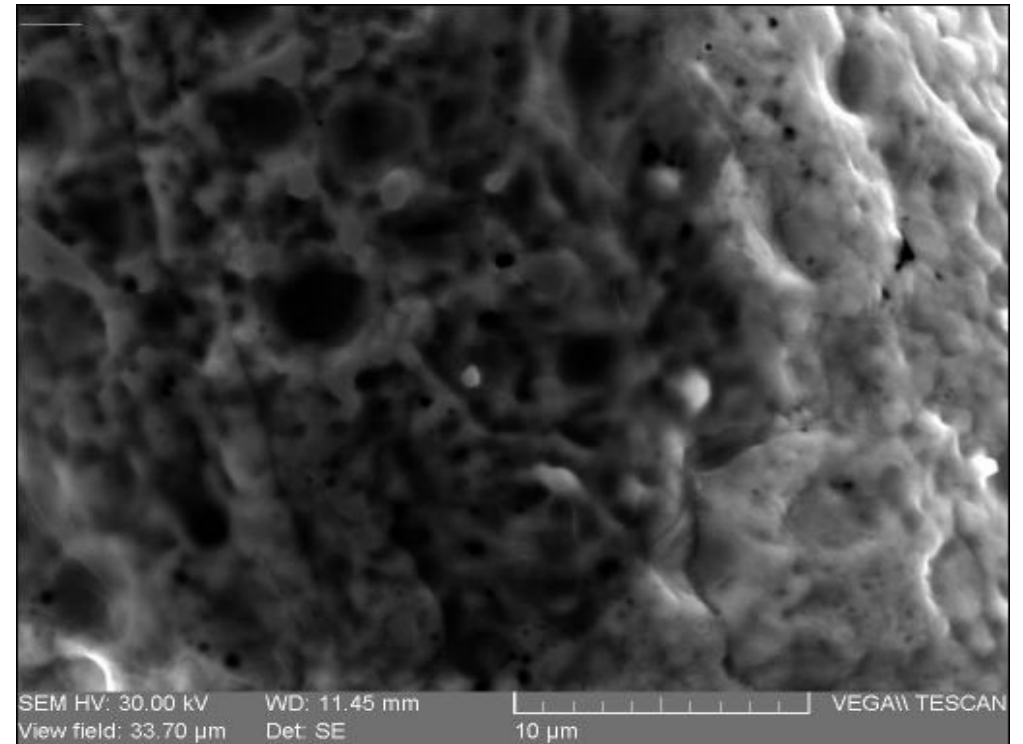
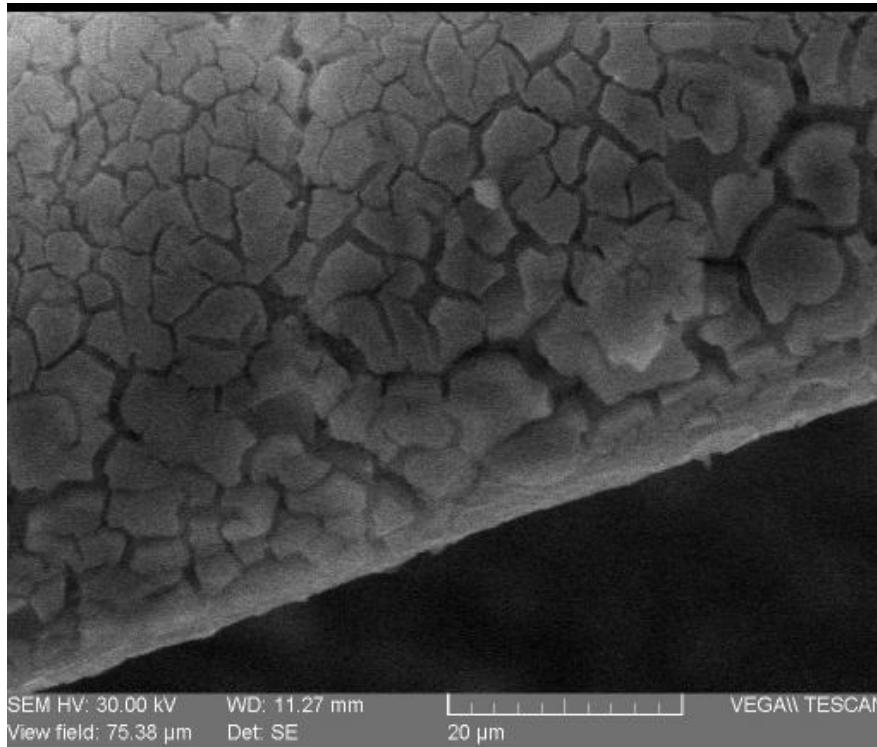
# Curva di assorbimento dell'Idrogeno nel Nichel

Behavior Loading of **Coated** and **Virgin** Ni wires  
Gas: H<sub>2</sub> (@6.0Atm)



# Caricamento: il palladio senza e con deuterio

(foto SEM, c/o gruppo NEXT@INFN-LNF)



# Le ricerche INFN ai Laboratori di Frascati

\* Since 2005 we developed, at Frascati National Laboratory of National Institute of Nuclear Physics (Italy), a procedure that “collects” all together the advantages of methods that were proved (by other Scientist and ourselves) to be beneficial to induce “anomalous effects” due to the close interaction of **Hydrogen [H]** and its isotope **Deuterium [D]** (**Tritium** can't be tested at high concentrations because safety problems) with specific materials (mainly **Palladium, Pd**).

\* Moreover, we experienced that the **anomalous effects** happen at macroscopic level **only when** the system is under some **non-equilibrium condition** (spontaneous and/or forced). Such specific condition was discovered by us since 1993 and remarked continuously: during Conferences and/or by written reports. It was addressed both to specialist readers (by Science journals) and general people (by reports in magazine and/or news paper); even given talks to Politicians, Industrials, Students, membership of cultural organizations (like Lions or Rotary club).

\* Again, we recall that the non-equilibrium status is one of the necessary conditions but, by itself, doesn't guarantee the generation/detection of anomalous effects that we are looking for (i.e. thermal and/or nuclear): they are **need**, *at the same time*, **large amounts** of H and or **D inside** the **“lattice”** of active material and/or at its **surface**.

\* The key point, that is the “integral” of our experimental, long lasting time (now 21 years) work, is the following (*at least, in the case of D-Pd system*):

It is necessary to **“move”** the Deuterium, at an *amount as large as possible* and *as fast as possible*, through the Pd lattice.

**It is not important the direction of the atomic flux:**

**loading or de-loading cycles gave similar effects.**

Forced de-loading, intrinsically faster, gave larger values of anomalous heat.

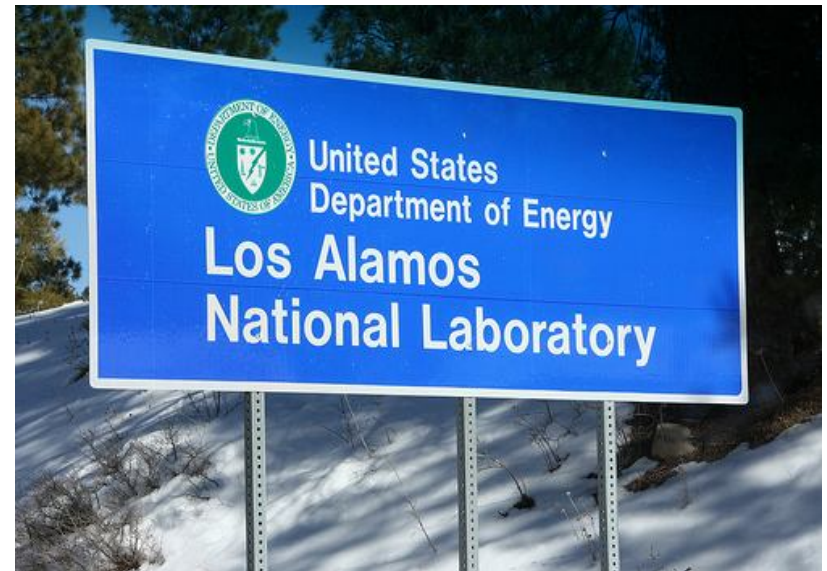
## Conclusioni

a) La linea di ricerca convenzionalmente nota come “Fusione Fredda” è iniziata dal 1958 in Giappone, anche se a livello di lavoro a tempo parziale. Nel 1989, grazie a **M. Fleischmann - S. Pons e S. Jones**, vi è stato un rapidissimo interesse a livello Internazionale ed una sua rapida caduta dopo che sono emersi gli enormi problemi di riproducibilità.

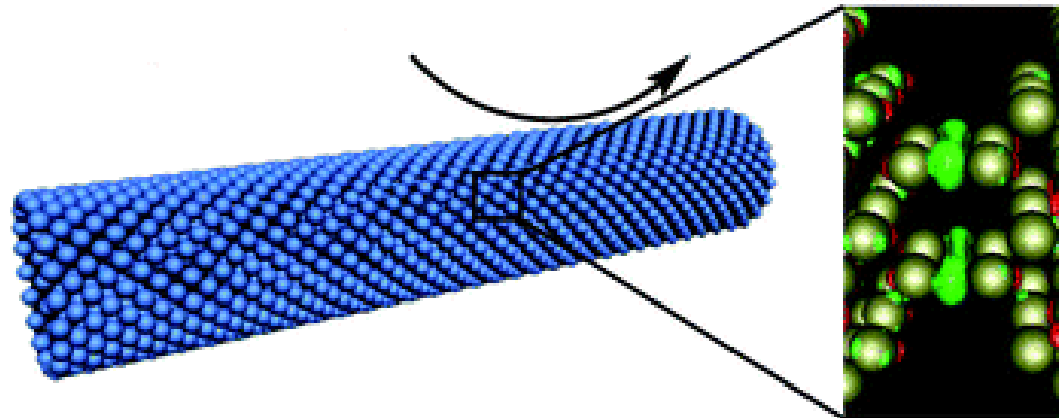




b) Un ridotto numero di Ricercatori, poiché erano riusciti ad ottenere - in maniera più o meno **fortunosa** - risultati “anomali”, ha continuato le ricerche. Il **maggiore sforzo economico** (e d’immagine) è stato affrontato da Industrie e Governo Giapponesi. Sono particolarmente attive organizzazioni della difesa in USA (NRL) oltre che Laboratori di origine militare (ad es. LANL: Los Alamos National Laboratory).



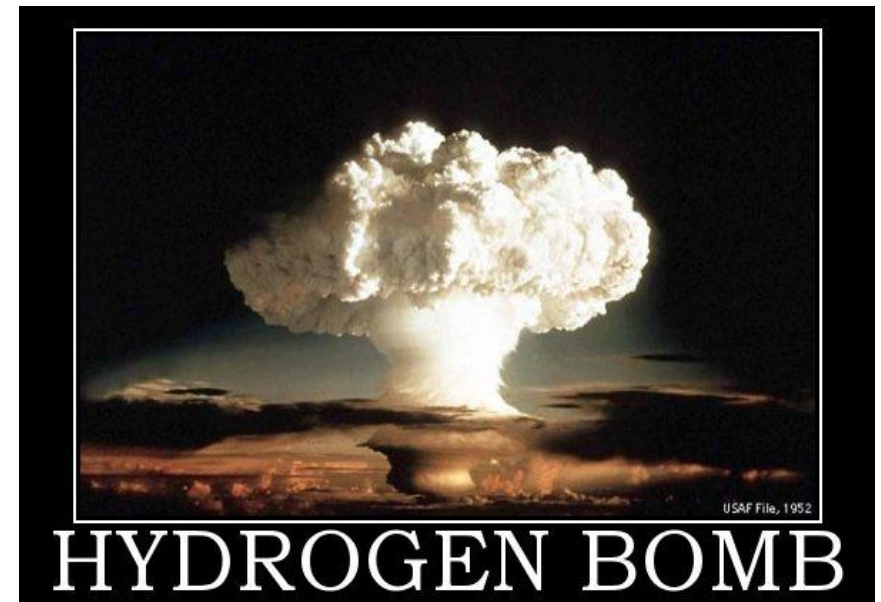
c) Attualmente, risulta che una delle strade più promettenti sia quella basata sulle *nanoparticelle* o *nanostrutture* che dir si voglia. In tale filone, sono ovviamente protagonisti i Giapponesi (anche per motivi storici) e gli Italiani. Da circa 18 mesi, grazie all'intervento strumentale dei Laboratori (militari) AMES, sembra che gli USA stiano riprendendo il controllo di tale linea di ricerca.



d) Purtroppo l'utilizzo dell'Idrogeno, ed in misura ancor maggiore del Deuterio, in specifici reticoli cristalli di materiali ad alto peso atomico, è già stato applicato per la fabbricazione **d'ordigni bellici "nucleari"** (E. Teller, 1953).

Tale caratteristica intrinseca, unita alla capacità del Pd, ed ancor più delle *nanoparticelle* in genere, ad assorbire elevatissime quantità dei suddetti gas, potrebbe aver indotto alcuni ben definiti circoli d'interesse ad ostacolare/controllare, per quanto possibile, tali studi quando effettuati da **"Ricercatori Qualunque"**. Il loro timore è

che, casualmente, tali Ricercatori si possano imbattere in "qualcosa" che ben conoscono da tempo e che, secondo alcuni autori (MT, EdG), hanno già utilizzato.



e) E' notizia recentissima che un noto gruppo di lavoro operante presso i LANL sia riuscito ad aumentare, di svariati ordini di grandezza, la produzione di **Trizio** quando le precedenti strutture a multistrato di  $\text{SiO}_2\text{-Pd}$  (che venivano fatte assorbire di Deuterio e sottosti a campi elettrici variabili di alcune migliaia di Volts) vengono sostituite da lunghi e sottili fili di Ni aventi la superficie nanostrutturata.

f) Ritengo che le applicazioni pacifiche di tale possibile fonte energetica,

**a basso impatto ambientale,**

debbano prevalere su qualunque timore di una sua applicazione bellica che, di fatto, è insita in ogni manufatto umano.



UNCLASSIFIED

Defense Intelligence Agency

## *Defense Analysis Report*

DIA-08-0911-003

13 November 2009

### **Technology Forecast: Worldwide Research on Low-Energy Nuclear Reactions Increasing and Gaining Acceptance**

*Scientists worldwide have been quietly investigating low-energy nuclear reactions (LENR) for the past 20 years. Researchers in this controversial field are now claiming paradigm-shifting results, including generation of large amounts of excess heat, nuclear activity and transmutation of elements.<sup>1,2,3</sup> Although no current theory exists to explain all the reported phenomena, some scientists now believe quantum-level nuclear reactions may be occurring. DIA assesses with high confidence that if LENR can produce nuclear-origin energy at room temperatures, this disruptive technology could revolutionize energy production and storage, since nuclear reactions release millions of times more energy per unit mass than do any known chemical fuel.<sup>4,5</sup>*

#### **Background**

In 1989, Martin Fleischmann and Stanley Pons announced that their electrochemical experiments had produced excess energy under standard temperature and pressure conditions.<sup>6</sup> Because they could not explain this physical phenomenon based on known chemical reactions, they suggested the excess heat could be nuclear in origin. However, their experiments did not show the radiation or radioactivity expected from a nuclear reaction. Many researchers attempted to replicate the results and failed. As a result, the physics community disparaged their work as lacking credibility, and the press mistakenly dubbed it "cold fusion." Related research also suffered from the negative publicity of cold fusion for the past 20 years, but many scientists believed something important was occurring and continued their research with little or no visibility. For years, scientists were intrigued by the possibility of producing large amounts of clean energy through LENR, and now this research has begun to be accepted in the scientific community as reproducible and legitimate.

#### **Source Summary Statement**