

Il presente articolo costituisce la traduzione in lingua italiana dei lavori presentati nell'ambito dei seguenti congressi internazionali tenutisi in U.S.A:

Annual Conference & Exposition on Experimental & applied Mechanics, Society for Experimental Mechanics SEM. 3-6 Giugno 2013, The Westin Lombard Yorktown Center, Lombard, Illinois, USA

International Conference on Cold Fusion ICC- 18-Applying the Scientific Method to Understanding Anomalous Heat Effects: Opportunities and Challenges. 21-27 Luglio 2013, University of Missouri, Columbia, Missouri, USA.

## **Le cause meccaniche della cosiddetta fusione fredda: Infragilimento da idrogeno, microfessurazione e reazioni di fissione piezonucleare agli elettrodi**

A. Carpinteri<sup>1</sup>, O. Borla<sup>1</sup>, A. Goi,  
A. Manuello<sup>1</sup>, D. Veneziano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politecnico di Torino, Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering, Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino, Italy

### **Sommario**

Recentemente sono state osservate numerose evidenze sperimentali di reazioni nucleari anomale durante esperimenti di frattura fragile nei solidi e cavitazione nei liquidi. In questo lavoro le reazioni piezonucleari di fissione vengono considerate al fine di fornire una spiegazione dei fenomeni riconducibili alla cosiddetta fusione nucleare fredda. Nonostante la grande quantità di risultati sperimentali provenienti dalla ricerca sulla fusione nucleare fredda e sulle reazioni nucleari a bassa energia (Low Energy Nuclear Reactions), la comprensione di questi fenomeni risulta ancora oggi incompleta. D'altra parte, come riportato nella maggior parte degli articoli dedicati alla fusione nucleare fredda, la comparsa di microfratture sulla superficie degli elettrodi utilizzati negli esperimenti è una delle osservazioni più ricorrenti. Nel presente lavoro viene proposta una spiegazione di tipo meccanico, la quale prende in considerazione un nuovo tipo di reazioni nucleari, le fissioni piezonucleari, causate in sostanza dall' infragilimento da idrogeno che avviene agli elettrodi. Nel corso della campagna di sperimentazione che verrà descritta, sono stati riprodotti fenomeni elettrolitici mediante l'uso di due elettrodi: un anodo realizzato in Ni-Fe ed un catodo in Co-Cr, immersi in una soluzione acquosa di carbonato di potassio. Durante tali esperimenti, sono state rivelate emissioni di neutroni e di particelle alfa. Inoltre, la composizione degli elettrodi è stata analizzata prima e dopo gli esperimenti, consentendo di individuare effetti riconducibili a fissioni piezonucleari avvenute negli elettrodi stessi. Il fenomeno primario appare essere quello di fissione simmetrica del Ni in due atomi di Si ovvero in due atomi di Mg. Ulteriori frammenti appaiono essere costituiti da particelle alfa.

Parole chiave: Fusione nucleare fredda, fissioni piezonucleari, infragilimento da idrogeno, elettrolisi.

## INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi venti anni sono state osservate nella materia condensata numerose evidenze sperimentali di reazioni nucleari anomale [1-34]. A tal riguardo, i relativi esperimenti sono stati caratterizzati sia da significative emissioni di neutroni e particelle alfa che da un eccesso di produzione di calore. Inoltre, sono state riscontrate sensibili variazioni nella composizione chimica di superfici di frattura in provini solidi sottoposti a frattura e fatica, e di liquidi in seguito alla cavitazione [35-40].

La maggior parte dei lavori dedicati alla fusione nucleare fredda descrivono un'ampia attività sperimentale condotta su celle elettrolitiche alimentate a corrente continua, usando soluzioni di acqua pesante. In particolare, nel 1989, Fleischmann e Pons riportavano quello che fu definito in seguito il primo esperimento di fusione nucleare fredda mediante elettrolisi, asserendo che l'elettrodo metallico in Pd reagiva con il deuterio presente nella soluzione di acqua pesante [6]. Lavori successivi ci riferiscono come elettrodi di Pt e Ti sottoposti ad elettrolisi in D<sub>2</sub>O abbiano provocato produzione di calore in eccesso e la comparsa di prodotti di reazioni nucleari precedentemente assenti [26, 28, 29]. In altri casi energia in eccesso è stata prodotta per elettrolisi impiegando un catodo in Ni ed un elettrolita in soluzione acquosa non deuterata [13]. Inoltre, è stato mostrato come una tensione sufficiente a indurre un plasma possa generare una grande varietà di reazioni nucleari anomale utilizzando elettrodi di Pd, W o C [16, 21-25].

In molti di questi esperimenti, è stata misurata l'energia generata sotto forma di calore, riscontrando come essa fosse nettamente superiore a quella in ingresso. Inoltre durante l'elettrolisi il tasso di emissioni di neutroni superava di tre volte il livello di fondo naturale [6]. Nel 1998, Mizuno presentò i risultati relativi a misurazioni mediante rilevatori di neutroni e tecniche di analisi composizionale condotte in diversi esperimenti elettrolitici [22]. Anche in questi casi è stata osservata la generazione di elevate quantità di calore allorché la cella fosse alimentata da elevati voltaggi, con un eccesso di energia in uscita pari a 2,6 volte l'energia in ingresso. Durante la sperimentazione, si sono riscontrate notevoli emissioni di neutroni, nonché la produzione di una notevole quantità di nuovi elementi, quali Pb, Fe, Ni, Cr e C, con una distribuzione isotopica del Pb molto divergente da quella che si osserva in natura [22]. Questi risultati suggeriscono che siano avvenute reazioni nucleari nel corso del processo di elettrolisi [22]. Successivamente, nel 2002, insieme a Kanarev, Mizuno illustra i risultati ottenuti dall'analisi della composizione superficiale di elettrodi in Fe (99,90% di Fe) immersi in soluzioni acquose di NaOH e KOH [34]. A seguito degli esperimenti, l'analisi spettroscopica EDX ha rilevato la presenza di vari elementi chimici precedentemente assenti. Concentrazioni di Si, K, Cr e Cu sono state trovate sulle superfici del catodo immerso in KOH. Analogamente, si sono osservate concentrazioni di Al, Ca e Cl sulla

superficie dell'elettrodo in Fe immerso in una soluzione con NaOH. Tali risultati dimostrano variazioni di composizione verificatesi a seguito della formazione di plasma durante l'elettrolisi dell'acqua [34].

Nel 2007, Mosier-Boss et al. [31, 33] ottengono prove importanti di fenomeni anomali in esperimenti condotti con celle elettrolitiche a co-deposizione. In particolare, nel sistema Pd/D sono stati osservati effetti relativi a generazione di calore e di elio-4, particelle energetiche di carica positiva, trizio, neutroni, emissioni di raggi gamma e X, e trasmutazioni [7, 12, 31, 33].

Come affermato da Storms e Preparata, nonostante la grande quantità di risultati sperimentali raccolti da un gran numero di ricercatori, non esistono né una teoria né un'interpretazione unificata per questi fenomeni, e la loro comprensione è ancora una questione aperta ed oggetto di un fervente dibattito [6-9, 26, 27]. In aggiunta, molti dei lavori dedicati alla fusione nucleare fredda, fanno riferimento alla comparsa di microfratture sulla superficie degli elettrodi, come ad uno degli effetti principali che accompagnano questo tipo di sperimentazione [26, 27]. Gli autori del presente lavoro sostengono che la presenza di micro-fessurazioni possa essere direttamente correlata ad effetti di infragilimento da idrogeno del reticolo metallico costituente gli elettrodi. Questo fenomeno di infragilimento, ben noto in Metallurgia ed in Meccanica della Frattura, è tipico nei metalli [41]. Nel caso in questione, il reticolo del metallo ospite (ad esempio, Pd) subisce danni meccanici con conseguente formazione e propagazione di micro-fratture, imputabili alla penetrazione di atomi esterni (deuterio o idrogeno) durante il processo di caricamento del gas. In Meccanica della Frattura, gli effetti dell'idrogeno nei metalli vengono studiati considerando, in particolare, come gli atomi di H adsorbiti chimicamente nel reticolo rendano il metallo più fragile. In particolare, l'idrogeno genera uno stress interno che abbassa la tensione di frattura del metallo, al punto che vi può essere uno sviluppo di microfessure fragili in presenza di una pressione parziale dell' idrogeno al di sotto di 1 atm. [41, 42].

D'altro canto, recenti prove sperimentali hanno mostrato emissioni di neutroni, in corrispondenza al fenomeno della frattura in materiali non radioattivi o inerti.. Sono state inoltre osservate e verificate emissioni nucleari anomale e produzione di calore durante la frattura di materiali fissili [2-4] o deuterati [5, 8, 30]. Gli esperimenti proposti da Carpinteri et al. [36-39] rappresentano la prima evidenza sperimentale di emissioni di neutroni dovute alle fissioni piezonucleari osservate nella rottura a compressione di rocce, analogamente a quanto riscontrato durante la cavitazione per ultrasuoni su liquidi non radioattivi [37, 38]. Nel presente lavoro, verranno analizzate le emissioni di neutroni e particelle alfa nel corso delle attività sperimentali condotte su una cella elettrolitica, in cui sono stati impiegati elettrodi in Ni-Fe ed in Co-Cr in una soluzione acquosa di carbonato di potassio. Sono stati monitorate anche la tensione, l'intensità di corrente, la conduttività della soluzione. La composizione degli elettrodi è stata analizzata sia prima sia dopo l'elettrolisi. I dati sperimentali suggeriscono che la cosiddetta fusione nucleare fredda, se interpretata

alla luce dell' infragilimento da idrogeno, possa essere spiegata con il verificarsi di reazioni piezonucleari di fissione all'interno del reticolo metallico che ospita gli atomi di idrogeno, invece che con la fusione di isotopi dell'idrogeno forzati dal reticolo stesso. Questa nuova tipologia di reazioni è stata osservata a diverse scale, dal laboratorio alla crosta terrestre, in particolari condizioni di tensione che portano a fenomeni di frattura, ovvero in concomitanza a eventi sismici [35-40].

## **SET-UP SPERIMENTALE E STRUMENTAZIONE DI MISURA**

### **La cella elettrolitica e il circuito di alimentazione**

Negli ultimi dieci anni, sono stati eseguiti numerosi esperimenti su di una cella elettrolitica costruita appositamente (Proprietari: Sig. A Goi et al.). L'obiettivo era quello di valutare se le emissioni di energia, la generazione di calore, e le variazioni di composizione negli elettrodi potessero essere correlate a nuovi tipi di reazioni nucleari durante il processo di elettrolisi. Il fenomeno elettrolitico è stato ottenuto utilizzando due elettrodi metallici immersi in una soluzione salina. Quest'ultima consiste in una soluzione acquosa di carbonato di potassio ( $K_2CO_3$ ). Il contenitore della soluzione, o "camera di reazione", è un elemento cilindrico di 100 mm di diametro, 150 mm in altezza e 5 mm di spessore. Durante gli esperimenti sono stati utilizzati due materiali differenti per la camera di reazione: vetro Pyrex e acciaio Inox AISI 316L. I due elettrodi metallici sono stati collegati ad una sorgente di corrente continua: un elettrodo a base Ni-Fe come polo positivo (anodo) e uno a base Co-Cr, negativo (catodo) (Fig 1).

Per quanto riguarda gli esperimenti descritti nel presente manoscritto, dopo circa 10 ore di funzionamento, si è osservata la rottura della camera di reazione in vetro, ciò ha obbligato gli autori ad adottare una camera di reazione più resistente in acciaio. Le sezioni superiore ed inferiore della camera sono state sigillate con coperchi in Teflon. Un piatto in ceramica impedisce il contatto diretto tra la soluzione liquida ed il Teflon (v. Fig. 1a). Gli elettrodi vengono avvitati alla base della camera prima che essa sia riempita con la soluzione. Una valvola nella parte superiore della cella permette lo sfogo del vapore che si forma all'interno della camera di reazione e condensa in un collettore esterno. Infine, due flange circolari in acciaio inox, fissate mediante quattro barre filettate, garantiscono il fissaggio degli strati isolanti in Teflon. La flangia inferiore del reattore è collegata a quattro supporti in gomma isolati da terra. Come già menzionato, una differenza di potenziale in corrente continua è stata applicata tra anodo e catodo, tramite un circuito di alimentazione collegato alla rete elettrica generale. I componenti del circuito sono in serie un trasformatore di isolamento, un trasformatore elettronico variabile (Variac) ed un ponte di diodi (Fig. 2).

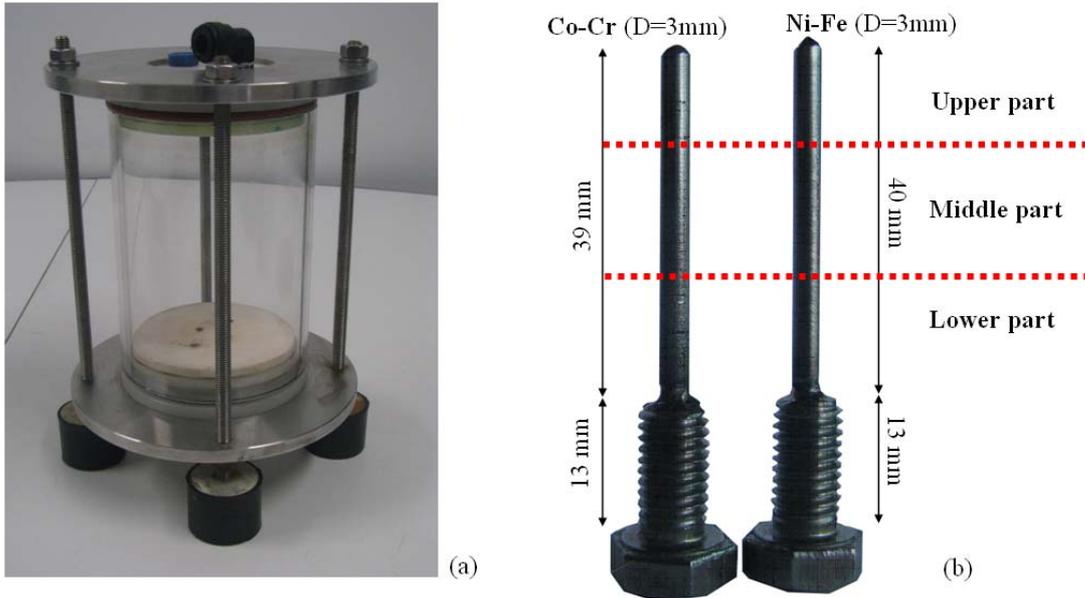


Fig. 1 La camera di reazione è un elemento cilindrico di 100 mm di diametro, 150 mm di altezza e 5 mm di spessore (a). I due elettrodi misurano circa 40 mm in altezza considerando solo la parte a contatto con la soluzione e hanno un diametro di circa 3 mm. La filettatura e la vite sono lunghe rispettivamente 13 mm e 5 mm (b).

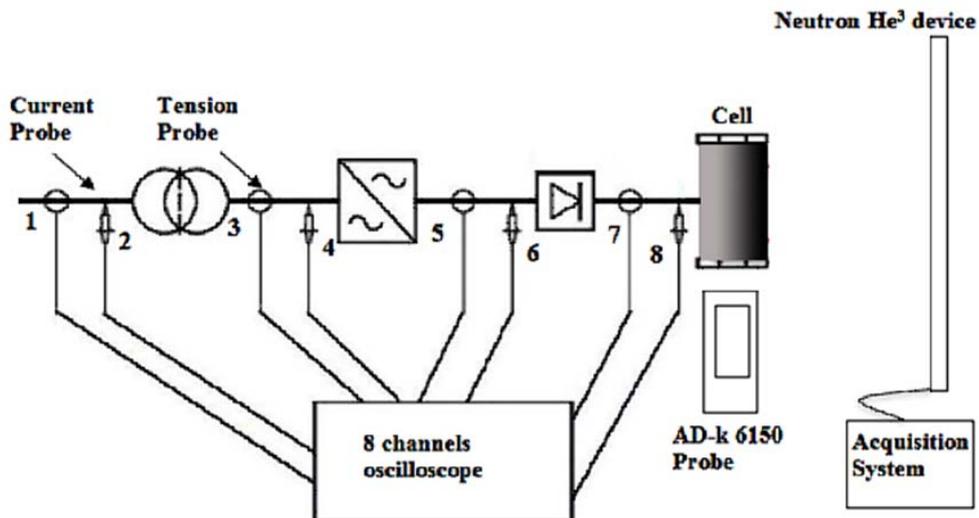


Fig. 2 Schema del set-up sperimentale adottato e posizionamento degli strumenti di misura impiegati durante le prove.

## Strumenti e dispositivi di misurazione

Nel corso degli esperimenti si sono misurate varie grandezze fisiche, come la tensione, l'intensità di corrente, la temperatura, le emissioni di neutroni e di particelle alfa.

Sono state posizionate sonde di corrente e di tensione in precisi punti del circuito come riportato in Fig. 2. Le misure di tensione sono state eseguite da una sonda differenziale di tensione da 100 MHz con una tensione nominale massima di 1400 volt, l'intensità di corrente è stata misurata con una sonda Fluke I 310S con una corrente nominale massima di 30 A. Particolare attenzione è stata rivolta ai dati ottenuti dalle sonde posizionate all'ingresso della camera di reazione (sonde 7 e 8, figura 2) al fine di valutare la potenza media assorbita dalla cella. Intensità di corrente e tensione sono stati anche misurati per mezzo di un multimetro posizionato all'ingresso del circuito di alimentazione della cella. Si è riscontrato che durante il funzionamento della stessa, comprese le fasi di accensione e spegnimento, corrente e tensione variano rispettivamente tra 3 e 5 A e tra 20 e 120 V. Questi intervalli sono stati presi in considerazione come valori di riferimento per ulteriori misure che verranno riportate in lavori successivi.

Per quanto riguarda le misurazioni delle emissioni di neutroni, va detto che i neutroni, particelle elettricamente neutre, non sono in grado di indurre una ionizzazione in un rivelatore, e pertanto non possono essere rilevate direttamente. Ciò comporta che i rivelatori di neutroni debbano basarsi su un processo di conversione che tenga conto dell'interazione tra un neutrone incidente e un nucleo, il quale a sua volta produce una particella secondaria carica. Tale particella carica viene quindi rilevata, e da essa si desume la presenza del neutrone. Per una valutazione accurata dei neutroni è stato utilizzato un contatore proporzionale di tipo  $\text{He}^3$  (Xeram, Francia) con pre-amplificazione, amplificazione, ed elettronica di discriminazione direttamente collegate al tubo di rilevazione. Il rivelatore è alimentato ad alta tensione (circa 1,3 kV) tramite un NIM (Nuclear Instrument Module). L'uscita logica che produce gli impulsi TTL (transistor-transistor logic) è collegata ad un contatore NIM ed è abilitata per segnali analogici superiori a 300 mV. Questa soglia di discriminazione dipende dalla sensibilità del rivelatore  $\text{He}^3$  ai raggi gamma conseguenti all'emissione di neutroni nel corso di normali processi nucleari. In particolare, tale valore di soglia è stato determinato misurando il segnale analogico del rivelatore mediante una sorgente gamma al Co-60. Il rivelatore è inoltre tarato in fabbrica per la misura di neutroni termici, con una sensibilità di 65 cps/<sub>thermal</sub> ( $\pm 10\%$  dichiarato dalla fabbrica); in altri termini, il flusso di neutroni termici è di 1 neutrone termico/s per  $\text{cm}^2$ , corrispondente a un count rate di 65 cps.

Per l'emissione di particelle alfa, è stato adoperato un contatore proporzionale sigillato con sonda 6150AD-k, che non necessita di ricarica o di lavaggio tramite serbatoi di gas esterni. La sonda è sensibile alle emissioni di radiazioni alfa, beta e gamma. Un interruttore elettronico permette il funzionamento in modalità "solo alfa", di modo che il riconoscimento della radiazione sia estremamente sensibile, essendo in questa modalità il livello di fondo molto più basso. Un piatto di

discriminazione rimovibile (in acciaio inox, 1 mm) consente di distinguere la rivelazione in modalità beta da quella gamma. La dotazione di un supporto regolabile permette la scelta dell'orientamento più appropriato. Durante gli esperimenti, la sonda 6150AD-k è stata utilizzata in modalità “solo alfa” per monitorare il livello di fondo prima e dopo l'accensione della cella.

Infine, prima e dopo gli esperimenti, è stata effettuata una spettroscopia a raggi X tipo EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) sugli elettrodi, al fine di riconoscere eventuali evidenze dirette di reazioni nucleari anomale verificatesi durante l'elettrolisi. Le analisi degli elementi sono state eseguite con un microscopio elettronico a scansione di campo ZEISS Auriga (FESEM), dotato di rivelatore di raggi X Oxford INCA, con una risoluzione di 124 eV @ MnKa. L'energia utilizzata per le analisi è stata di 18 KeV.

## **RISULTATI SPERIMENTALI**

### **Osservazioni generali e fase preliminare**

Nella Fig. 2b, si possono vedere i due elettrodi utilizzati per l'elettrolisi. In una fase iniziale di misure è stata usata la spettrografia EDS o EDX (Energy Dispersive X-ray spectroscopy) che ha permesso di ottenere dati utili per la valutazione della composizione chimica dei due elettrodi prima degli esperimenti. In particolare, una serie di misure è stata ripetuta in tre diverse regioni di interesse sulla superficie di ciascun elettrodo, in modo da ottenere una quantità sufficiente e statisticamente attendibile di misurazioni. Le zone interessate sono quella superiore, mediana e inferiore del singolo elettrodo, come riportato in Fig. 2b.

Nelle figure 3a e 3b sono riportate le concentrazioni medie degli elementi che compongono la superficie degli elettrodi. Nella condizione iniziale, l'elettrodo Ni-Fe (anodo) è costituito da circa il 43.8% di Ni, 30.4% di Fe, e 22.8% di O. Il restante 3% comprende tracce di altri elementi come Si, Mn, Ca, Al, K, Na, Mg, Cl e S (Fig. 3a). Il catodo in Co-Cr è invece costituito da circa 44.5% di Co, 18.0% di Cr, 3.7% di Fe, 25.4% di O, e tracce di altri elementi come Si, Al, Mg, Na, W, Cu, e S (Fig. 3b). La tabella 1 riassume i risultati dell'analisi composizionale condotta sul residuo secco della soluzione utilizzata ( $K_2CO_3 + H_2O$ ), in cui il rapporto soluto/solvente era di circa 40 g/l.

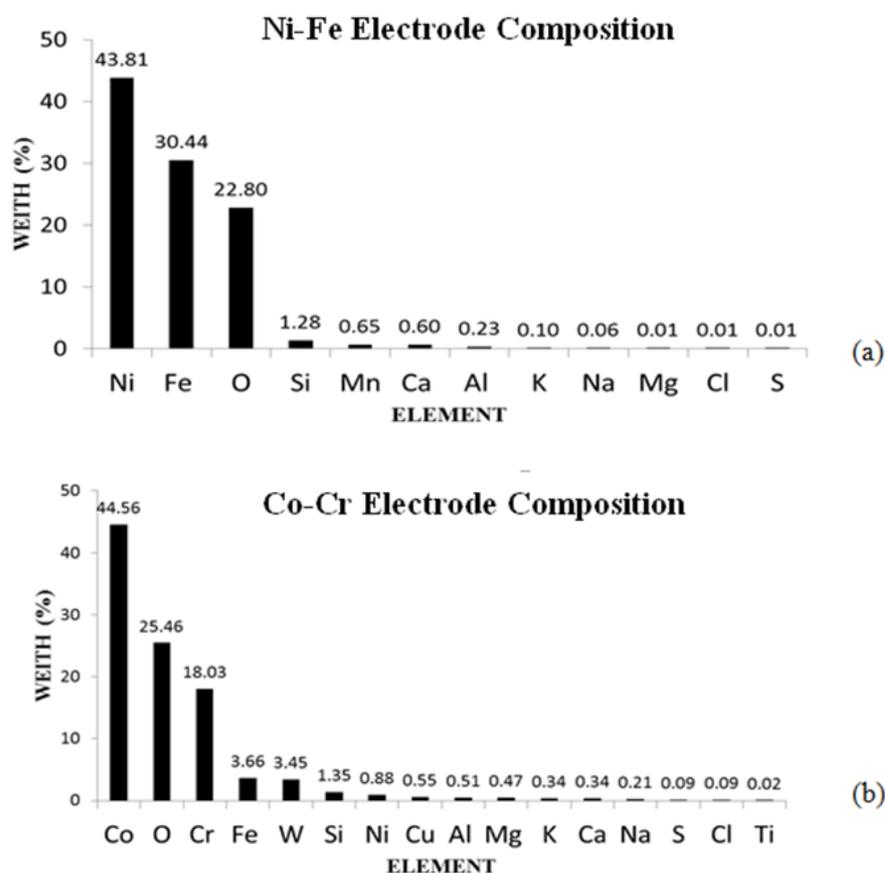


Fig. 3 concentrazioni medie degli elementi misurate sulla superficie dei due elettrodi prima degli esperimenti di elettrolisi.

**Tab. 1 Spettroscopia EDS del sale  $K_2CO_3$  usato per la soluzione acquosa.**

Tab. 1: EDS of the  $K_2CO_3$  salt used for the aqueous solution

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	13.02	22.05	47.72	$CO_2$
K	43.40	22.57	52.28	$K_2O$
O	43.58	55.38		
Totals	100.00			

Emissioni di energia: rilevamento di neutroni e particelle alfa durante l'esperimento

Le misure di emissione di neutroni eseguite durante l'attività sperimentale sono riportate nella fig. 4. Mediante il rivelatore  $He^3$ , è stato monitorato l'andamento del flusso di neutroni durante il funzionamento della cella per un totale di circa 26 ore. Il livello di fondo è stato misurato prima e dopo l'accensione della cella, con un livello di emissioni di fondo ambientale pari a circa  $5,17 \pm 1,29 \times 10^{-2}$  cps. Inoltre, è stato possibile osservare che dopo un tempo di funzionamento di circa

3 ore (200 minuti), si sono avute emissioni di neutroni pari a circa 4 volte il livello di fondo. Dopo 11 ore (650 minuti ca.) dall'inizio del monitoraggio, sono state riscontrate emissioni di circa un ordine di grandezza maggiori rispetto al fondo. Eventi simili si sono verificati sia dopo 20 ore (1200 minuti) che dopo 25 ore (1500 minuti), con emissioni di neutroni rispettivamente pari a circa 5 e 10 volte il fondo.

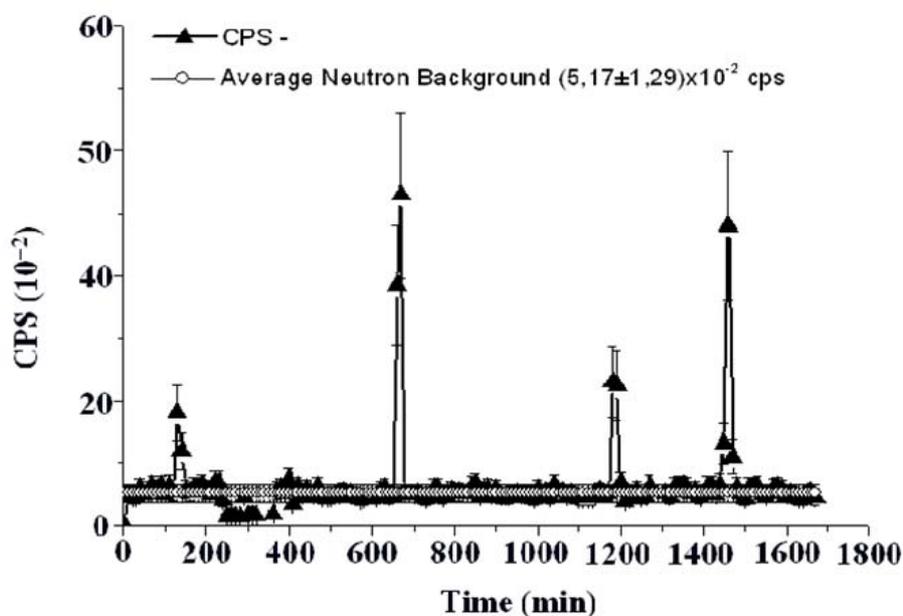


Fig. 4 Misure di emissione di neutroni. Durante gli esperimenti, si sono osservate emissioni anomale comprese tra 4 volte e 10 volte il livello di fondo.

Nelle figure 5a e 5b sono riportate le misure relative alle emissioni di particelle alfa. Le misure riportate in figura 5a mostrano i dati acquisiti per un tempo di 60 minuti (3600 secondi) con la cella in funzione (cell on). I dati in Fig. 6b rappresentano le emissioni di particelle alfa corrispondenti al livello di fondo ambientale e sono stati acquisiti per un tempo di 60 minuti a cella spenta (cell off). Si può, quindi, osservare come i cps acquisiti dalla sonda siano notevolmente maggiori quando la cella elettrolitica è in funzione (cell on) (Fig.5a) rispetto alla condizione di cella non in funzione. Inoltre, sono stati calcolati i valori medi delle serie storiche delle emissioni alfa per la cella in relazione al fondo. Nel primo caso, il valore medio delle emissioni alfa è stato di circa 0,030, mentre nel secondo caso, a cella spenta, si è rilevato il fondo del laboratorio con un valore medio di circa  $0,015 \text{ Cs}^{-1}$ . Da quanto riportato è possibile desumere che durante l'elettrolisi si osserva un'emissione media di particelle alfa circa due volte maggiore rispetto al fondo ambientale. Questi risultati, insieme con le misure delle emissioni di neutroni riportate in Fig. 4, sono particolarmente interessanti se si considera le variazioni composizionali che verranno descritte in seguito, e saranno particolarmente utili per corroborare l'interpretazione che si basa sulla fissione piezonucleare relativa agli elementi chimici costituenti gli elettrodi. In Fig. 5c, sono riportate inoltre le curve cumulative per i conteggi delle

emissioni alfa. È evidente che il valore complessivo dei conteggi, monitorato a cella accesa (cell on), è circa il doppio del valore misurato per il livello di fondo (cell off).

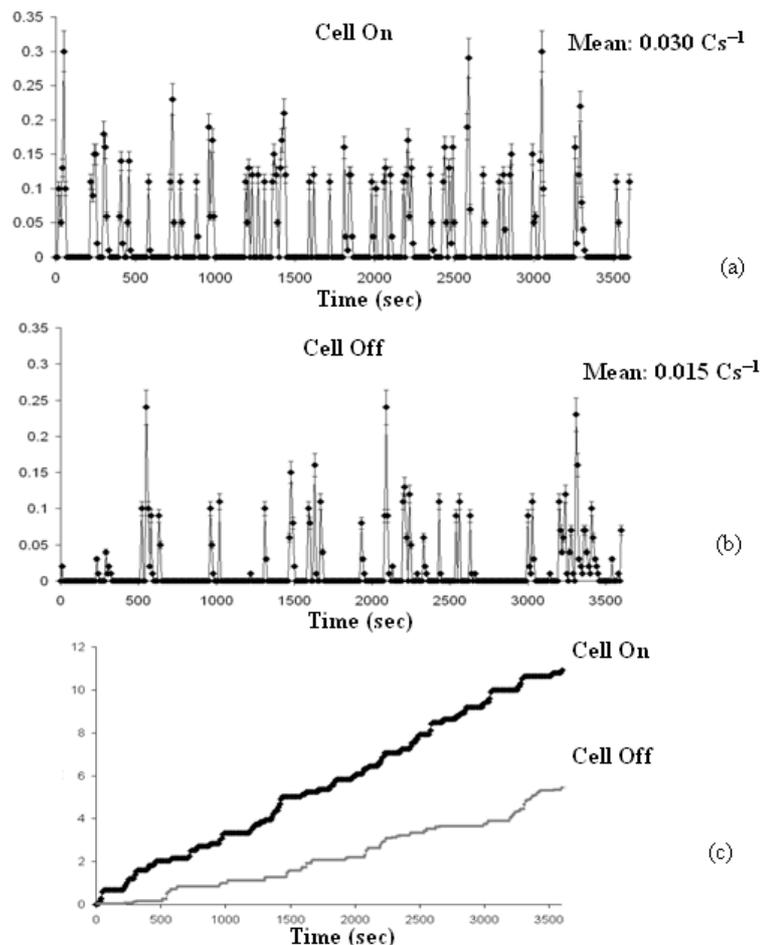


Fig. 5 Le misure riportate si riferiscono a dati acquisiti per un tempo di funzionamento della cella pari a 3600 sec (a) ed al livello di fondo per uno stesso intervallo di tempo (b). Sono riportate le curve cumulative delle emissioni (c).

### Analisi composizionale degli elettrodi

Come riportato nella sezione precedente, è stata effettuata una spettroscopia EDS, al fine di riconoscere evidenze di reazioni piezonucleari che possano aver avuto luogo durante l'elettrolisi. La Fig. 6a mostra l'elettrodo Ni-Fe durante l'analisi, mentre la Fig. 6b rappresenta la parte centrale dell'elettrodo Co-Cr. In Fig. 6a e 6b si riportano due immagini della superficie dell'elettrodo prima dell'esperimento e dopo 32 ore di funzionamento. Si vede che l'elettrodo, dopo molte ore di funzionamento, presenta crepe e micro-fessure sulle superfici esterne (vedi Fig. 7d).

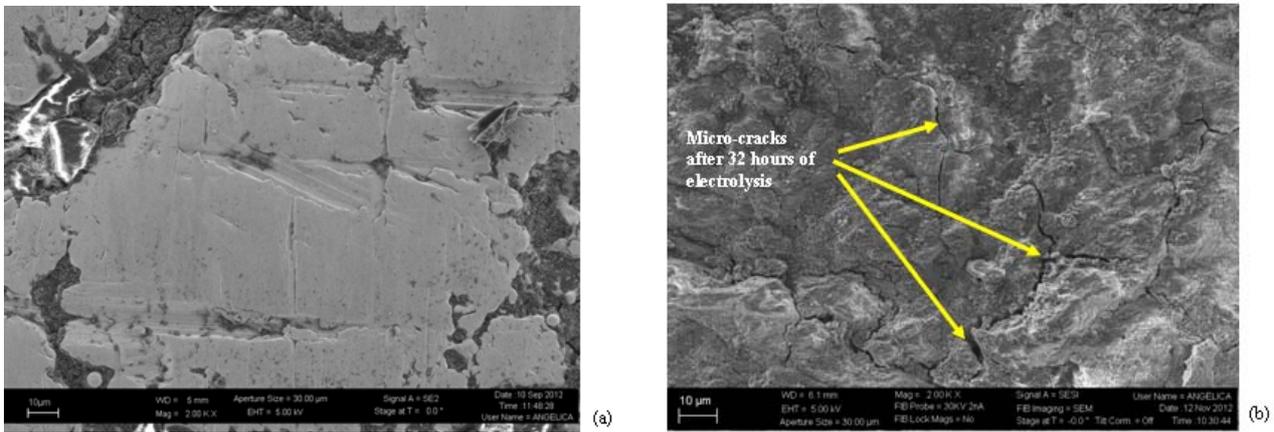


Fig. 6 Immagine della superficie dell'elettrodo di Co-Cr prima dell'esperimento (a). Dopo molte ore di elettrolisi, l'elettrodo presenta fessure e micro-fratture sulla superficie esterna (b).

Tab. 2: elettrodo Ni-Fe. Concentrazione di elementi prima dell'elettrolisi, dopo ore 4, 32 e 38 ore di funzionamento della cella elettrolitica

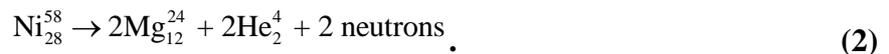
	Ni (%)	Si (%)	Mg (%)	Fe (%)	Cr (%)
<b>Before the experiment</b>	43.9	1.1	0.1	30.5	-
<b>After 4h</b>	43.6	1.1	0.4	30.7	-
<b>After 32h</b>	35.2	5.0	0.2	27.9	-
<b>After 38h</b>	35.3	1.5	4.8	27.3	3.0

\* I valori riportati per la % di massa di ciascun elemento sono definiti come valore medio di tutte le misurazioni effettuate sull'elettrodo in questione.

L'attività sperimentale è stata suddivisa in quattro step (3 fasi intermedie di sperimentazione) per indagare possibili variazioni di composizione sulle superfici degli elettrodi. Nel primo si è deciso di valutare la composizione degli elettrodi prima dell'inizio dell'esperimento (0 ore di lavoro). Tale fase corrisponde all'analisi composizionale sugli elettrodi "vergini", vale a dire non ancora sottoposti ad elettrolisi (vedi Tab. 2). Il secondo step è caratterizzato da un tempo di funzionamento della cella elettrolitica di circa 4 ore (vedi Tab. 2). Dopo questo step, si sono prese in considerazione una terza misurazione, corrispondente a 32 ore cumulative di lavoro (4+28 ore), e una quarta, per un tempo totale di funzionamento della cella di 38 ore (4+28+6 ore) (vedi Tab. 2). Nel caso dell'elettrodo Ni-Fe, in Tab. 2 sono riportate le concentrazioni medie di Ni, Si, Mg, Fe e Cr in funzione delle diverse misurazioni e quindi in corrispondenza di tempi di funzionamento della cella differenti.

Per l'elettrodo Ni-Fe, si possono osservare dei cambiamenti di composizione dopo 32 ore nelle concentrazioni di Ni, Si, Mg, Fe e Cr, come riportato in Tab. 2 e nelle Fig. 7-11. In queste ultime, per ogni elemento sono riportate le misure composizionali corrispondenti ai 4 step menzionati nel precedente paragrafo (Figg. 7a, 8a, 9a, 10a 11a). Gli istogrammi (Figg. 7b, 8b, 9b, 10b 11b) riportano l'evoluzione del valore medio di ogni serie temporale corrispondente a 0, 4, 32 e 38 ore di sperimentazione. È da notare come, dopo 38 ore, vi siano importanti variazioni, nonché la comparsa

di Cr, in precedenza assente, come riportato nella Tab. 2 e nella Fig. 11a. In particolare, la concentrazione di Ni mostra una riduzione media complessiva del 8,6%, passando dal 43,9% al 35,3% dopo 38 ore (vedi Tab. 2 e Fig. 7a e b). La diminuzione totale del Ni è pari a circa un quarto della sua concentrazione iniziale. Dai dati riportati in Tab. 2, e nelle Figg. 8 e 9, si può osservare un incremento medio della concentrazione di Si, dopo 32 ore, di circa il 3,9% e un incremento della concentrazione media di Mg, che, partendo dallo 0,1%, arriva fino al 4,8%. Considerazioni analoghe si possono effettuare anche per le concentrazioni di Fe e Cr. Il contenuto medio di Fe diminuisce di circa il 3%, passando da 30,5% a 27,3% alla fine dell'esperimento (vedi Tab. 2 e Fig. 10). Al contrario, una concentrazione media di Cr di circa il 3% (cfr. Tab. 2 e Fig. 11) appare nell'ultima fase (dopo 38 ore). Le diminuzioni in Ni e Fe sembrano essere quasi perfettamente bilanciate dagli aumenti di altri elementi: Si, Mg, e Cr. In particolare, come si vedrà anche in seguito, le analisi composizionali sull'elettrodo di Co-Cr escludono variazioni di Ni che potrebbero indurre a considerare il trasporto per via elettrochimica del Ni da un elettrodo all'altro (nichelatura). Di conseguenza, appare difficile spiegare il bilancio Ni (-8,6%) = Si (+3,9%) + Mg (+4,7%) per mezzo di fenomeni diversi dall'ipotesi avanzata dagli autori e basata sulle fissioni piezonucleari:



Analogamente, il bilancio Fe (-3,2%)  $\cong$  Cr (3,0%) potrebbe essere giustificato dalla reazione seguente:



È molto interessante notare che le reazioni (1) e (2) implicano emissioni di neutroni, mentre le reazioni (2) e (3) implicano anche emissioni di particelle alfa. Da questo punto di vista, le reazioni anomale proposte potrebbero trovare ulteriore riscontro nell'interpretare anche le emissioni di energia sotto forma di neutroni e particelle alfa riportate nelle sezioni precedenti.

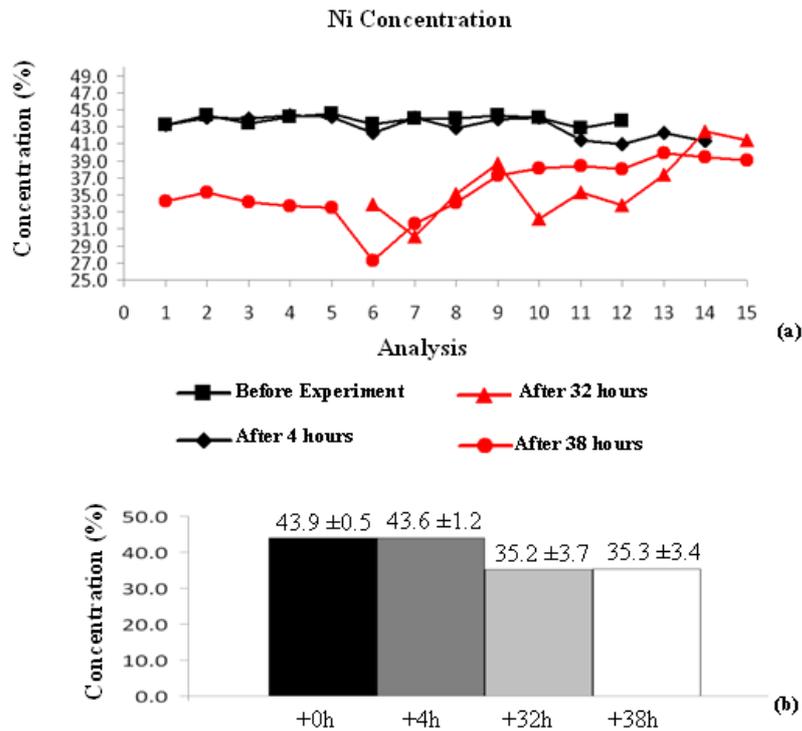


Fig. 7 Concentrazione di Ni prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 ore (a). I valori medi di concentrazione di Ni passano da una percentuale in massa del 43,9% all'inizio dell'esperimento al 35,2% e 35,3%, rispettivamente dopo 32 e 38 ore di lavoro (b).

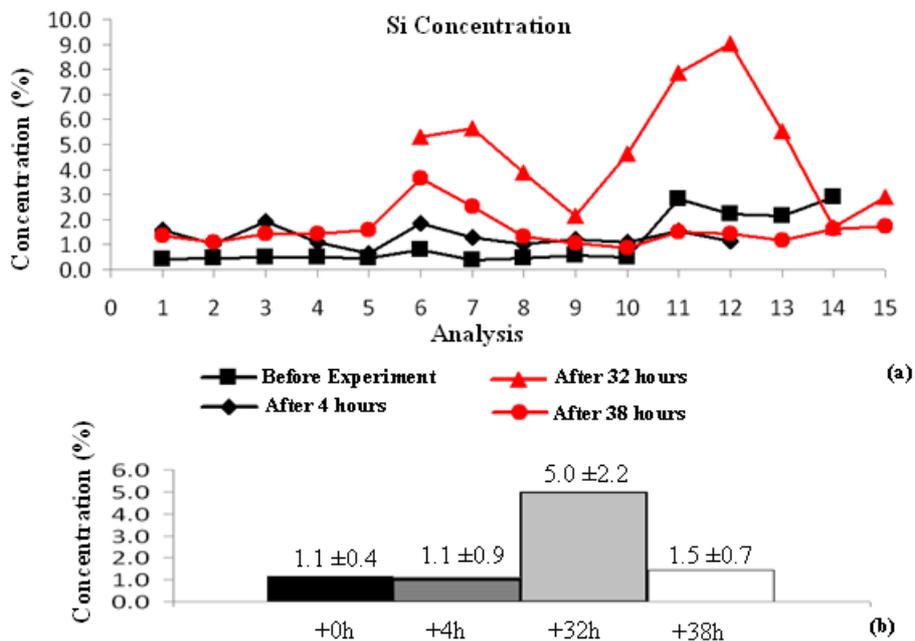


Fig. 8 Concentrazione di Si prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 ore (a). I valori medi di concentrazione di Si variano da una percentuale in massa di 1,1% e 0,5% nella fase iniziale fino al 5,0% e 1,5% rispettivamente dopo 32 e 38 ore di elettrolisi (b).

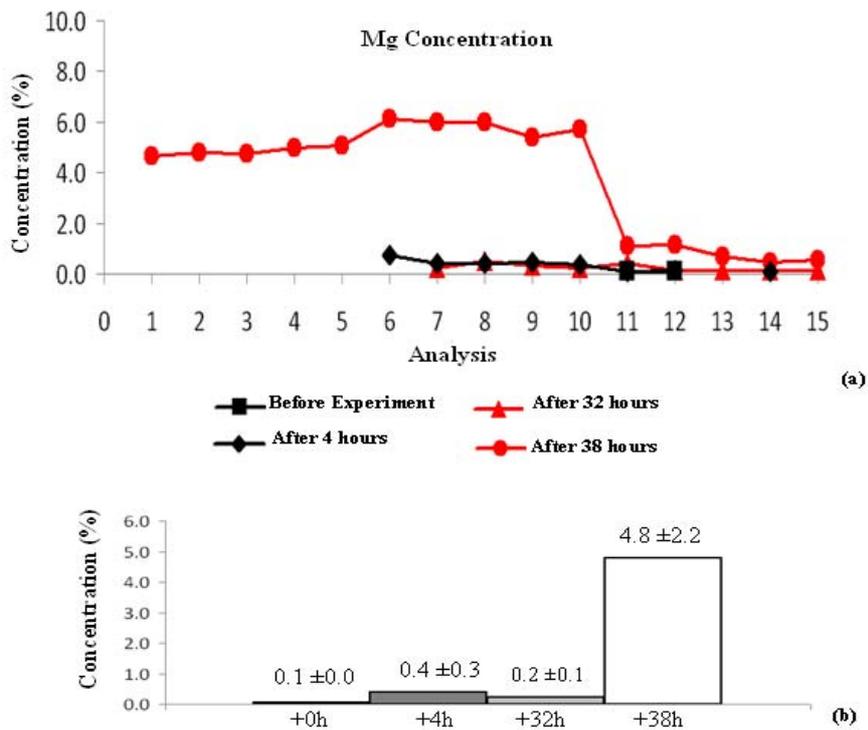


Fig. 9 Concentrazione di Mg prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 ore (a). I valori medi di concentrazione di Mg variano dal 0,1% e 0,4% all'inizio dell'esperimento fino al 4,8% dopo 38 ore di funzionamento della cella (b).

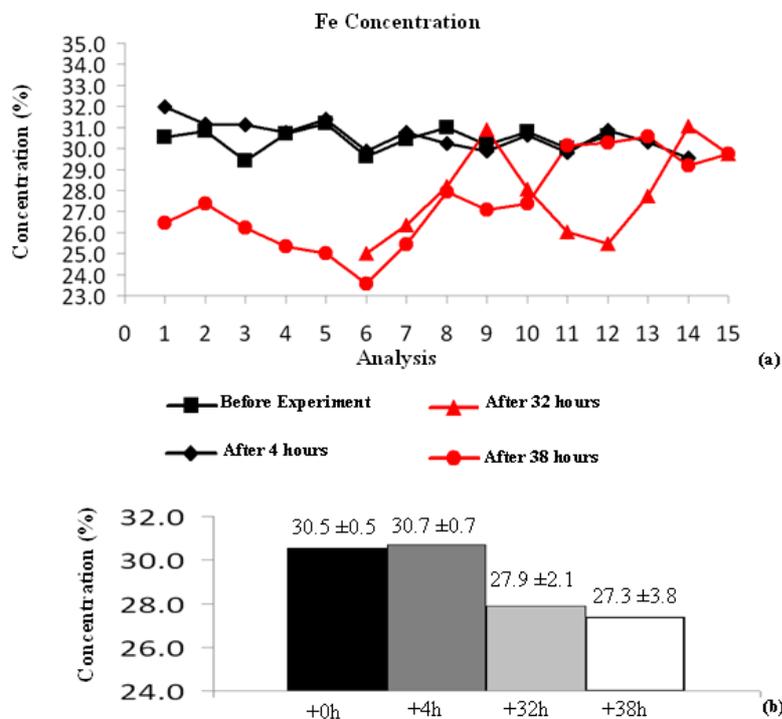


Fig. 10 Concentrazione di Fe prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 ore (a). I valori medi di concentrazione di Fe cambiano da una percentuale in massa del 30,5% all'inizio dell'esperimento al 27,9% e 27,3% rispettivamente dopo 32 e 38 ore di elettrolisi (b).

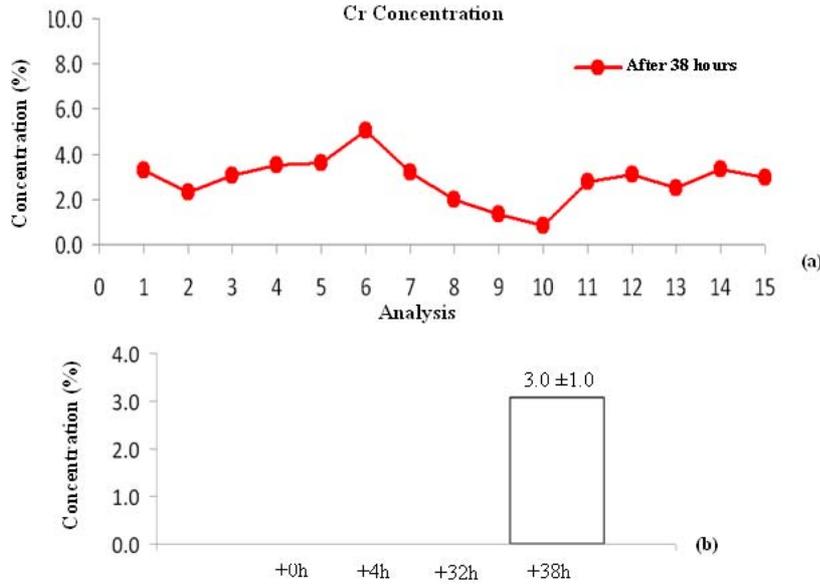
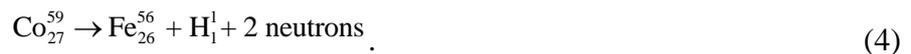
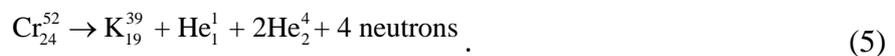


Fig. 11 Concentrazione di Cr (a). Il valore medio delle concentrazioni passa da 0 % (assenza di questo elemento) ad una percentuale in massa di 3,0% dopo 38 ore di elettrolisi (b).

Per quanto riguarda l'elettrodo Co-Cr, è possibile osservare variazioni ancora più evidenti nelle concentrazioni dei suoi elementi costituenti più abbondanti. In particolare, la concentrazione media di Co diminuisce di circa il 23,5%, passando da una percentuale iniziale del 44,1% ad una di circa il 20,6% dopo 32 ore (vedi tabella 3 e Fig. 12a e b). Al tempo stesso, si può osservare un aumento apprezzabile di circa il 23,2% del contenuto in Fe dopo 32 ore che passa da 3,1% prima dell'esperimento a 26,3% al termine della terza fase (tabella 3 e Fig. 13a e b). La diminuzione di Co e l'aumento di Fe si controbilanciano quasi perfettamente, infatti si ha:  $\text{Co} (-23,5\%) \cong \text{Fe} (+23,2\%)$ . Considerando le analisi composizionali relative all'elettrodo di Ni-Fe illustrate in precedenza, non sono state riscontrate tracce di cobalto sulla superficie di quest'ultimo. Questo ci porterebbe ad escludere la spiegazione che il Co si sia trasferito all'altro elettrodo. Di conseguenza, in base alle evidenze composizionali ottenute, la diminuzione evidentissima del Co potrebbe essere interpretata alla luce della seguente reazione:



In Tab 3 and in Figs. 13 and 14, Cr and K concentrations are reported for the different phases of the experiment. L'incremento di K di circa il 12.4% dopo 32 ore può essere bilanciato parzialmente considerando la diminuzione di Cr (8.1%) in accordo con la reazione (5).



La rimanente parte di incremento di K (4.3%) può essere considerata come effetto della deposizione di Sali provenienti dalla soluzione.

Anche in questo caso, è da notare come entrambe le reazioni (4) e (5) implicino emissione di neutroni, mentre la reazione (5) implica anche l'emissione di particelle alfa. Le stesse considerazioni avanzate per il primo elettrodo si possono ripetere anche in questo caso, in cui le emissioni di energia e le variazioni composizionali sembrano suggerire il verificarsi di reazioni di fissione sulle superfici degli elettrodi.

È importante considerare che i bilanciamenti riportati, per l'elettrodo Ni-Fe (reazioni 1-3) e per l'elettrodo Co-Cr (reazioni 4 e 5), sono stati ottenuti considerando i valori rispettivi della terza e della quarta fase, corrispondenti alle variazioni maggiori di concentrazione per ciascun elemento (vedi Tab. 2 e 3). Ulteriori variazioni osservate per alcuni di questi elementi, quali Si, Co e Fe, tra la terza e la quarta fase, possono essere spiegate considerando altre possibili fissioni piezonucleari secondarie che coinvolgono le superfici dell'elettrodo. Futuri lavori saranno dedicati a valutare le prove di queste reazioni secondarie; verranno altresì condotti esperimenti ad-hoc al fine di analizzare gli effetti del livello di formazione di depositi, dovuti alla deposizione della soluzione salina.

Tutti questi risultati suggeriscono che durante il caricamento del gas (idrogeno) la matrice ospite del metallo è sottoposta a danni meccanici ed a frattura dovuti alla penetrazione di atomi esterni. Le immagini realizzate degli elettrodi hanno fornito il riscontro visivo di una diffusa fessurazione sulla superficie del singolo elettrodo a seguito degli esperimenti. Per altro confermate da innumerevoli evidenze di microfessurazione riportate in letteratura (vedi fig. 6b). Ciò suggerirebbe che l'idrogeno, il quale favorisce la propagazione di fessure nel metallo per effetto dell'infragilimento, provenga dall'elettrolisi dell'acqua. Dal momento che gli elettrodi sono immersi in una soluzione liquida, la loro superficie è esposta alla formazione di idrogeno gassoso a causa dell'elettrolisi dovuta alla differenza di potenziale fornita.

Tab. 3. Elettrodo Co-Cr. Concentrazioni di elementi prima dell'esperimento, dopo 4, dopo 32 e dopo 38 ore della prova.

	Co(%)	Fe(%)	Cr(%)	K(%)
Before the experiment:	44.1	3.1	17.8	0.5
After 4h	43.7	1.6	17.8	2.2
After 32h	20.6	26.3	9.7	12.9
After 38h	34.4	6.6	5.1	4.4

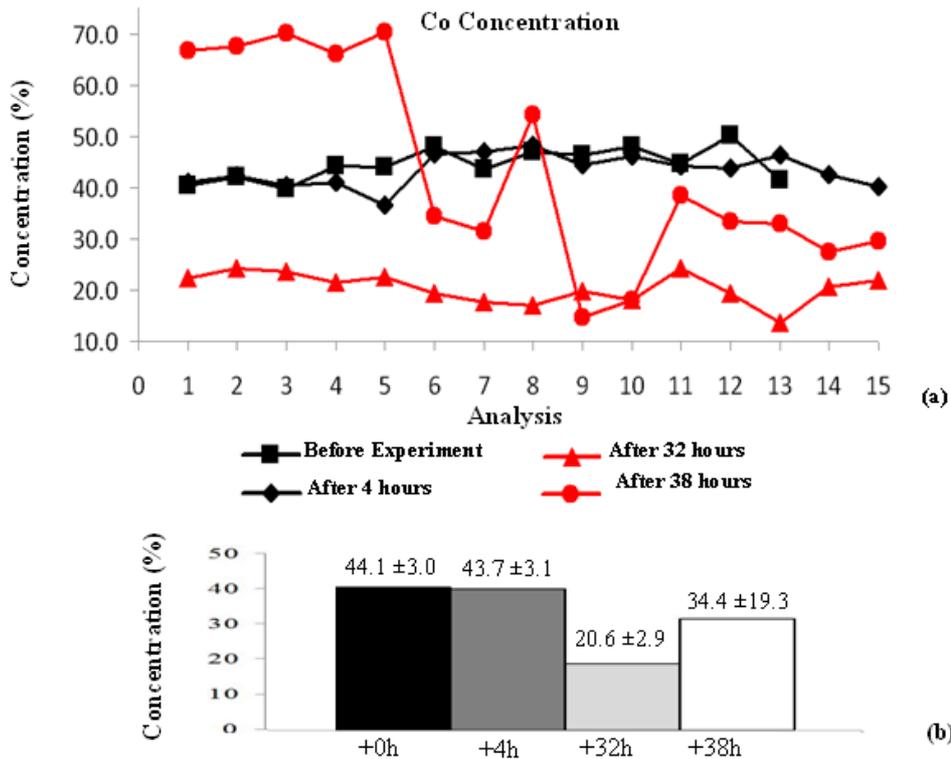


Fig. 12 Concentrazione di Co prima dell'esperimento, dopo 4 ore, 32 e 38 ore (a). I valori medi di concentrazione di Co passano dal 44,1% al 20,6% e 34,4%, rispettivamente dopo 32 e 38 ore (b).

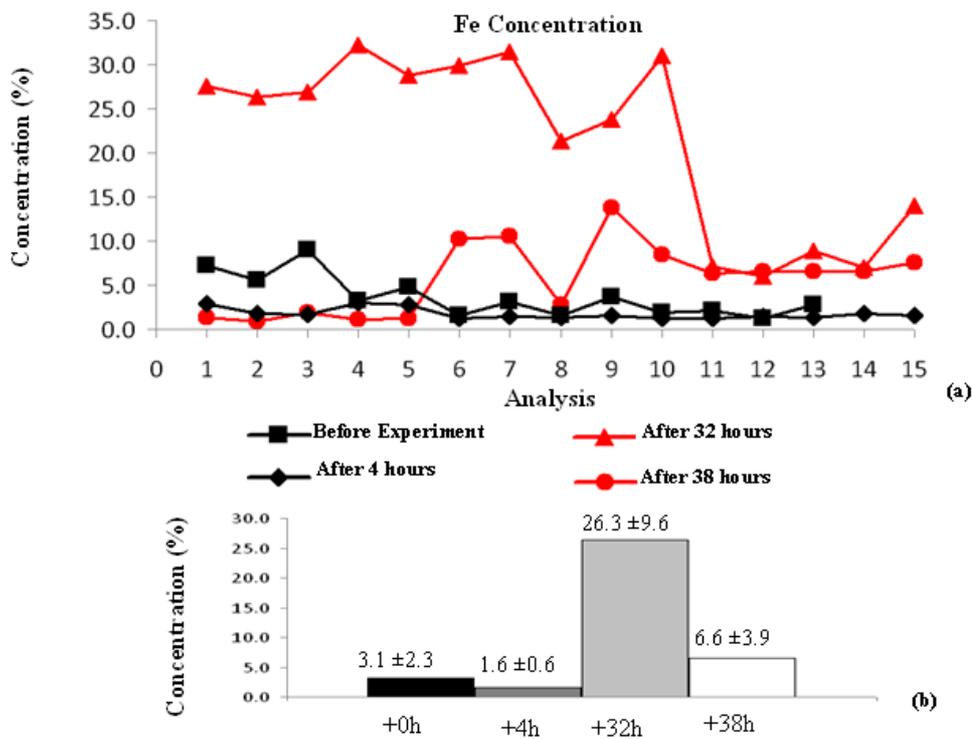


Fig. 13 Concentrazione di Fe prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 ore (a). I valori medi di concentrazione di Fe passano dal 3,1% all'inizio dell'esperimento al 26,3% e al 6,6%, rispettivamente dopo 32 e 38 ore (b).

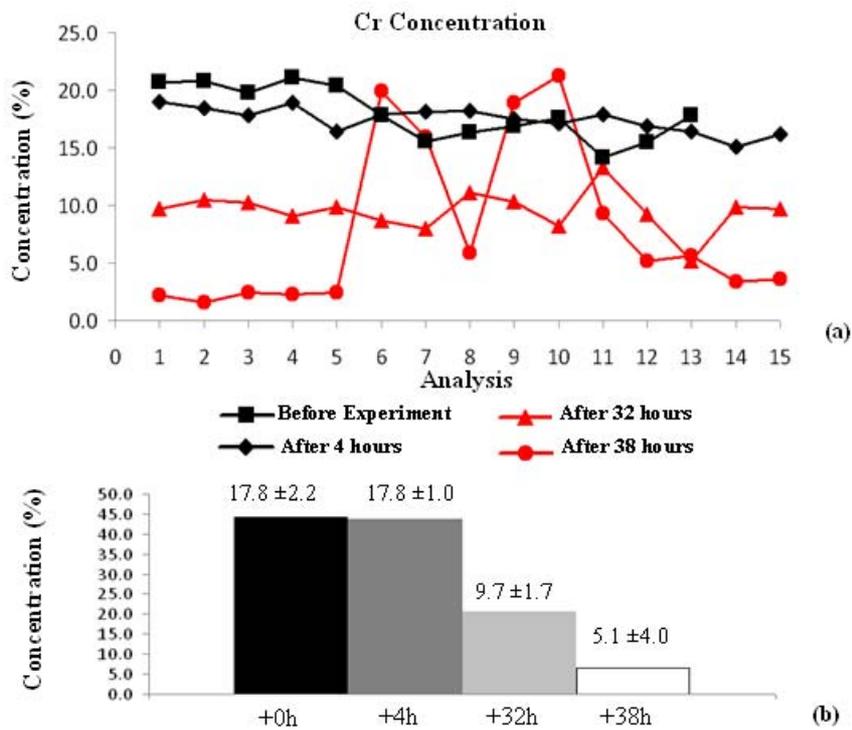


Fig. 14 Concentrazione di Cr prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 h (a). La concentrazione media di Cr varia da una percentuale in massa del 17,8% al 9,7% e al 5,1%, dopo 32 e 38 h (b).

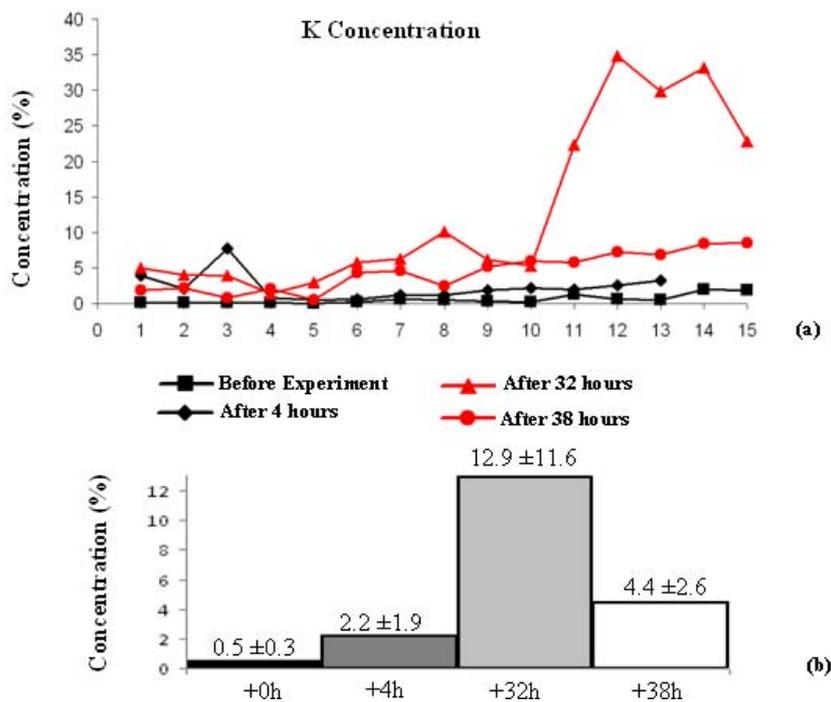


Fig. 15 Concentrazione di K prima dell'esperimento, dopo 4, 32 e 38 h (a). La concentrazione K passa da 0,5% e 2,2% dopo 4 ore, a 12,9% e il 4,4% dopo 32 e 38 ore (b).

## CONCLUSIONI

Durante l'attività sperimentale condotta su di una cella elettrolitica, si sono osservate emissioni di neutroni fino ad un ordine di grandezza maggiori rispetto a quelle del livello di fondo ambientale. In particolare, dopo circa 3 ore, si sono misurate emissioni di neutroni pari a circa 4 volte il livello di fondo. Dopo 11 ore, è stato possibile osservare emissioni di un ordine di grandezza superiori al fondo. Risultati simili sono stati osservati dopo 20 e 25 ore. Allo stesso tempo, in condizioni di cella accesa, il valore medio delle emissioni alfa è stato di circa 0,030 c/s per 1 ora di acquisizione; questo valore corrisponde ad un livello di emissione circa doppio rispetto al fondo misurato in laboratorio prima e dopo l'esperimento in condizioni di cella non in funzione (0,015 c/s).

Inoltre, dall'analisi EDS eseguita sui due elettrodi in quattro fasi di misura, si sono riscontrate significative variazioni di composizione chimica. In generale, le diminuzioni di Ni e Fe nell'elettrodo Ni-Fe sono quasi perfettamente controbilanciate dall'aumento degli elementi più leggeri, Si, Mg e Cr. Infatti, il bilancio Ni (-8,6%)  $\cong$  Si (+3,9%) + Mg (+4,7%) è soddisfatto mediante le reazioni (1) e (2). Allo stesso tempo, il bilancio Fe (-3,2%)  $\cong$  Cr (+3,0%) può essere spiegato prendendo in considerazione la reazione (3). Per quanto riguarda l'elettrodo Co-Cr, la diminuzione di Co è quasi perfettamente controbilanciata dall'aumento di Fe: Co (-23,5%)  $\cong$  Fe (+23,2%). Quest'ultima evidenza, considerando il valore della percentuali in questione, risulta spiegabile solo attraverso la reazione (4). Infine, la diminuzione di Cr e l'aumento di K possono essere spiegate dalla reazione (5), oltre che considerando la possibile deposizione dei sali di K provenienti dalla soluzione.

Le variazioni chimiche e le emissioni di particelle possono essere tenute in considerazione come evidenze dirette ed indirette di reazioni di fissione meccano-nucleare correlate alla formazione e propagazione di microfessure a causa dell'infragilimento da idrogeno dei materiali che compongono gli elettrodi. Secondo questa interpretazione della cosiddetta fusione nucleare fredda, l'idrogeno, che favorirebbe la formazione e propagazione di fratture negli elettrodi, proviene dalla elettrolisi dell'acqua. Essendo gli elettrodi immersi in una soluzione liquida, la superficie metallica viene esposta alla presenza di idrogeno gassoso proveniente dalla scomposizione della molecola d'acqua. Inoltre, l'elevata densità di corrente conduce alla formazione di idrogeno e alla sua penetrazione nel metallo. La cosiddetta fusione nucleare fredda, se interpretata alla luce dell'infragilimento da idrogeno, può essere spiegata come il risultato di reazioni non tradizionali di fissione (reazioni piezonucleari) che si verificano nel reticolo metallico durante la propagazione delle microfratture, piuttosto che di reazioni di fusione di isotopi di idrogeno forzati dal reticolo metallico.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano sentitamente i Dr. A. Sardi e F. Durbiano per il loro ausilio nella definizione del set-up sperimentale e l'assistenza prestata durante le misurazioni. Si ringrazia inoltre la Dr A. Chiodoni per le misure EDS..

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Borghi, D.C. Giori, D.C. Dall'Olio, A. Experimental Evidence on the Emission of Neutrons from Cold Hydrogen Plasma. Proceedings of the International Workshop on Few-body Problems in Low-energy Physics, Alma-Ata, Kazakhstan, 147-154 (1992); Unpublished Communication (1957); Comunicacao n. 25 do CENUFPE, Recife Brazil (1971).
- [2] Diebner, K. Fusionsprozesse mit Hilfe konvergenter Stosswellen - einige aeltere und Neuere Versuche und Ueberlegungen. Kerntechnik. 3, pp 89-93. (1962).
- [3] Kaliski, S. Bi-conicals system of concentric explosive compression of D-T. J.Tech.Phys. 19, pp 283-289. (1978).
- [4] Winterberg, F. Autocatalytic fusion-fission implosions. Atomenergie-Kerntechnik. 44, 146. (1984).
- [5] Derjaguin, B. V., et al. Titanium fracture yields neutrons? Nature. 34, 492. (1989).
- [6] Fleischmann, M. Pons S. e M. Hawkins M. Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium. J. Electroanal. Chem. 261, 301. (1989).
- [7] Bockris, J.O'M. Lin, G.H. Kainthla, R.C. Packham, N.J.C. e Velez, O. Does Tritium Form at Electrodes by Nuclear Reactions? The First Annual Conference on Cold Fusion. National Cold Fusion Institute, University of Utah Research Park, Salt Lake City. (1990).
- [8] Preparata, G. Some theories of cold fusion: A review. Fusion Tech. 20, 82. (1991).
- [9] Preparata, G. A new look at solid-state fractures, particle emissions and «cold» nuclear fusion. II Nuovo Cimento. 104 A, 1259-1263. (1991).
- [10] Mills, RL e Kneizys, P. Excess heat production by the electrolysis of an aqueous potassium carbonate electrolyte and the implications for cold fusion. Fusion Technol. 20, 65. (1991).
- [11] Notoya, R. e Enyo, M. M. Excess Heat Production during Electrolysis of H<sub>2</sub>O on Ni, Au, Ag and Sn Electrodes in Alkaline Media, Proc. Third International Conference on Cold Fusion, Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan. (1992).
- [12] Miles, M.H. Hollins, R.A. Bush, B.F. Lagowski, J.J. e Miles, R.E. Correlation of Excess Power and Helium Production during D<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O Electrolysis using Palladium Cathodes. J. Electroanal. Chem. vol. 346, 99-117. (1993).
- [13] Bush, R.T. e Eagleton, R.D. Calorimetric studies for several light water electrolytic cells with nickel fibrex cathodes and electrolytes with alkali salts of potassium, rubidium, and cesium. Fourth International Conference on Cold Fusion. Lahaina, Maui. Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304. 13. (1993).
- [14] Fleischmann, M. Pons, S. Preparata, G. Possible Theories of cold Fusion. Nuovo Cimento. Soc. Ital. Fis. A. 107, 143 (1994).
- [15] Szpak, S. Mosier-Boss, P.A. e Smith, J.J. Deuterium uptake during Pd-D codeposition. J. Electroanal. Chem. 379, 121. (1994).
- [16] Sundaresan, R. e Bockris, J.O.M. Anomalous reactions during arcing between carbon rods in water. Fusion Technol. 26, 261. (1994).
- [17] Arata, Y., Zhang, Y., Achievement of solid-state plasma fusion (“cold-fusion”). Proc. Jpn Acad. 71, Ser. B, pp. 304-309. (1995).
- [18] Ohmori, T. Mizuno, T. e Enyo, M. Isotopic Distributions of Heavy Metal Elements Produced During the Light Water Electrolysis on Gold Electrodes, J. New Energy 1, 3, 90. (1996).
- [19] Monti, R.A. Low energy nuclear reactions: Experimental evidence for the alpha extended model of the atom. J. New Energy. 1(3), 131. (1996).

- [20] Monti, R.A. Nuclear Transmutation Processes of Lead, Silver, Thorium, Uranium. The Seventh International Conference on Cold Fusion. ENCO Inc. Vancouver, Canada, Salt Lake City, UT. (1998).
- [21] Ohmori, T. Mizuno T. Strong Excess Energy Evolution, New Element Production, and Electromagnetic Wave and/or Neutron Emission in Light Water Electrolysis with a Tungsten Cathode. *Infinite Energy*. Issue 20, Pages 14–17. (1998).
- [22] Mizuno, T. Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion. Infinite Energy Press. (1998).
- [23] Little, S.R. Puthoff, H.E. e Little, M.E. Search for Excess Heat from a Pt Electrode Discharge in K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-D<sub>2</sub>O Electrolytes. September (1998).
- [24] Ohmori, e T. Mizuno, T. Nuclear transmutation reaction caused by light water electrolysis on tungsten cathode under incandescent conditions. *Infinite Energy*. 5(27), 34. (1999).
- [25] Ransford, H.E. Non-Stellar nucleosynthesis: Transition metal production by DC plasma-discharge electrolysis using carbon electrodes in a non-metallic cell. *Infinite Energy*. 4(23): 16. (1999).
- [26] Storms, E. Excess power production from platinum cathodes using the Pons-Fleischmann effect. 8th International Conference on Cold Fusion. Lerici (La Spezia). Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 55–61. (2000).
- [27] Storms, E. Science of Low Energy Nuclear Reaction: A Comprehensive Compilation of Evidence and Explanations About Cold Fusion. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore. (2007).
- [28] Mizuno, T. et al. Production of heat during plasma electrolysis. *Jpn. J. Appl. Phys. A*, 39: 6055. (2000).
- [29] Warner, J. Dash, J. and Frantz. S. Electrolysis of D<sub>2</sub>O with titanium cathodes: enhancement of excess heat and further evidence of possible transmutation. The Ninth International Conference on Cold Fusion. Tsinghua University, Beijing, China. p. 404. (2002).
- [30] Fujii, M. F., et al. Neutron emission from fracture of piezoelectric materials in deuterium atmosphere. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 41, 2115–2119. (2002).
- [31] Mosier-Boss, P.A. et al. Use of CR-39 in Pd/D co-deposition experiments. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 40: 293–303. (2007).
- [32] Swartz, M. Three Physical Regions of Anomalous Activity in Deuterated Palladium. *Infinite Energy*. Vol. 14, 19–31. (2008).
- [33] Mosier-Boss, P.A., et al., Comparison of Pd/D co-deposition and DT neutron generated triple tracks observed in CR-39 detectors. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 51(2), 20901–20911. (2010).
- [34] Kanarev, M. Mizuno, T. Cold fusion by plasma electrolysis of water. *New Energy Technologies*, Issue 1 pp. 5–10. (2003).
- [35] Cardone, F. Mignani, R. Energy and Geometry. World Scientific. Singapore, chap. 10. (2004).
- [36] Carpinteri, A. Cardone, F. Lacidogna, G. Piezonuclear neutrons from brittle fracture: Early results of mechanical compression tests. *Strain*. 45, 332-339. (2009). *Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino*. 33, 27–42, (2009).
- [37] Cardone, F., Carpinteri, A., Lacidogna G. Piezonuclear neutrons from fracturing of inert solids, *Physics Letters A*. 373, 4158–4163. (2009).
- [38] Carpinteri, A. Cardone, F. Lacidogna G. Energy emissions from failure phenomena: Mechanical, electromagnetic, nuclear. *Experimental Mechanics*. 50, 1235–1243. (2010).
- [39] Carpinteri, A., Lacidogna, G., Manuello, A., Borla O. Piezonuclear fission reactions: evidences from microchemical analysis, neutron emission, and geological transformation, *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 45, 445–459, (2012).
- [40] Carpinteri, A., Lacidogna, G., Manuello, A., Borla O. Piezonuclear fission reactions from earthquakes and brittle rocks failure: Evidence of neutron emission and nonradioactive product elements, *Experimental Mechanics*. 53, 345–365, (2013).
- [41] Milne, I. Ritchie, R.O. Karihaloo, B. *Comprehensive Structural Integrity: fracture of materials from nano to macro*. Elsevier, Volume 6, Chapter 6.02, 31–33, (2003).
- [42] Liebowitz, H. *Fracture An advanced Treatise*. Academic Press New York, San Francisco, London, (1971).