

Gestione dei rifiuti radioattivi e decontaminazione ambientale: dalla trasmutazione alla biorimediazione

Rapporto da un convegno specialistico organizzato a Frascati dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) su tecnologie innovative per il trattamento delle scorie nucleari e radioattive e la decontaminazione ambientale con particolare attenzione alle potenzialità in questo settore delle macchine acceleratrici di particelle

Tra le questioni irrisolte che vengono poste dall'opzione nucleare, quella che ha certamente il maggior impatto sull'opinione pubblica riguarda la messa in sicurezza delle scorie provenienti dagli impianti di produzione dell'energia, e più in generale delle scorie radioattive prodotte nell'industria, nella ricerca scientifica e in medicina. Infatti, mentre le scorie di medio e basso livello di radiotossicità possono essere avviate allo stoccaggio in depositi superficiali, dove la loro pericolosità si abbatte in tempi ragionevolmente brevi, per il combustibile esaurito, che è altamente radiotossico, l'unica soluzione adottata finora è quella dello stoccaggio dei rifiuti in depositi geologici, dove dovranno rimanere centinaia di migliaia di anni.

Nell'intervento iniziale di **E. Sartori**¹ è stata ribadita l'importanza di nuove e più accurate misurazioni ed elaborazioni di dati nucleari per la caratterizzazione delle varie scorie radioattive e per adottare più efficienti strategie di trattamento. Già da molti anni è stata proposta infatti una sorta di raccolta differenziata delle scorie, che consiste nella separazione dell'Uranio ed del Plutonio, degli Attinidi minori (Neptunio, Curio, Americio, etc.) e dei prodotti di fissione a lunga emivita (⁹⁹Tc, ⁹³Zr, ¹³⁵Cs, ¹⁰⁷Pd, and ⁷⁹Se etc.), e successiva trasmutazione nucleare in altri nuclidi in appositi reattori, critici o sub-critici, abbattendone l'emivita a tempi dell'ordine di alcune centinaia di anni. Come illustrato da **W. Gudowski**², questo metodo, denominato *Partitioning&Transmutation*, è già parzialmente implementato nel processo di ritrattamento radiochimico dell'Uranio al fine di fabbricare nuovo combustibile nucleare, mentre i reattori nucleari per la trasmutazione sono ancora oggetto di Ricerca&Sviluppo.

In particolare, appaiono molto promettenti i sistemi subcritici pilotati da un acceleratore di protoni (ADS), per la loro assoluta sicurezza e la capacità di fornire la massima velocità nel processo d'incenerimento del plutonio e degli attinidi minori. Il terzo relatore, **A. Stanculescu**³, ha sottolineato come perdite di controllo del reattore, del tipo di Chernobyl e Fukushima, non potrebbero avvenire per un ADS, essendo il flusso di neutroni necessario al suo funzionamento comandato da un acceleratore esterno, e non prodotto nel reattore stesso (**Figura 1**).

In molti stati membri del 'club' nucleare, il problema delle scorie è divenuto il punto cruciale per la continuazione con l'energia nucleare, e quindi gli ADS possono assumere un ruolo decisivo per confermarne la sostenibilità socio-ambientale.

Una panoramica delle attività di R&S in Italia è stata fatta da **M. Ripani**⁴, che ha ribadito l'importanza del tutto particolare che avrebbe la realizzazione di un'intensa sorgente di neutroni, che però necessita di un supporto molto più consistente da parte dell'INFN, dell'ENEA e di altri Enti/aziende coinvolte.

Oltre alla produzione di scorie di alto e medio livello di radiotossicità, l'impatto ambientale dovuto al *Decommissioning* degli impianti di produzione di energia e, in certi

¹ Ex Senior Administrator presso l'Agenzia dell'Energia Nucleare, Parigi

² Prof. di Fisica dei Reattori presso il Royal Institute of Technology, Stoccolma.

³ Direttore della Divisione di Scienza ed Ingegneria Nucleare presso Idaho National Laboratory

⁴ Ricercatore Senior presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Genova.

paesi, degli arsenali nucleari, è stato impressionante, con grandi volumi di acque, detriti e suoli radiocontaminati.

Le potenzialità di certi metodi diversi da quelli standard offerti dalla fisica e dalla chimica, hanno sollevato notevole interesse, particolarmente quelli offerti dalla microbiologia. Nelle ultime due decadi si è cominciato ad accettare l'idea che i microorganismi, e in misura minore, le piante, possono trasformare e degradare molti tipi d'inquinanti, ivi compresi i radionuclidi più pericolosi. Il termine 'Biorimediazione' è diventato di uso comune anche nel campo nella messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi, con un notevole crescita di attività collegate.

I limiti della Fitorimediazione sono stati sottolineati da **H. Vandenhove**⁵, sfatando il mito della fitoestrazione dei radionuclidi ma suggerendo invece altre linee di ricerca come il rizofiltraggio e l'uso alternativo di acque e terreni contaminati.

Particolarmente eccitante l'intervento di **V.I. Vysotskii**⁶, che ha riferito di straordinari risultati ottenuti da misure sulle trasmutazioni nucleari nei batteri, forse interpretabili anche nel quadro della scienza ufficiale, e che comunque aprono prospettive ai confini della realtà scientifica (**Figura 2**)

Come ampiamente illustrato da **J.R. Lloyd**⁷, il metabolismo microbico esercita un controllo influente sulla solubilità dell'Uranio, degli Attinidi minori e dei prodotti di fissione in ambienti naturali o ingegnerizzati, offrendo ampi spazi ad una biorimediazione non-invasiva nel settore nucleare. L'uso di batteri nel processo di riduzione dell'U(VI) solubile ad U(IV), ossia Uraninite insolubile, ha riscosso enorme interesse, stimolando studi complementari rivolti alla riduzione di altri elementi transuranici.

A conclusioni analoghe sono pervenuti gli studi di **R. Bernier-Latmani**⁸, che ha riferito su drastici abbattimenti dei livelli d'uranio nelle falde acquifere di alcuni siti nucleari, grazie alla presenza di colture di varie specie batteriche, ed evidenziando il ruolo speciale che in questo nuovo settore assumono strumenti d'indagine forniti da macchine acceleratrici di elettroni, utilizzate quali Sorgenti di Luce di Sincrotrone (in particolare di raggi X). (**Figura 3**)

A questo proposito è bene ricordare che Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN sono il luogo dove il filone tematico della ricerca italiana con Luce di Sincrotrone ha avuto inizio, e l'INFN stesso è storicamente il leader italiano nella progettazione e costruzione di Macchine Acceleratrici di Particelle ed è quindi naturale interlocutore di un ampio programma di ricerca interdisciplinare che voglia affrontare i temi suddetti, in cui l'Ente è solo marginalmente coinvolto, in collaborazione con l'ENEA ed il CNR.

Occorre però da parte della Dirigenza dell'INFN una presa di coscienza del carattere interdisciplinare della ricerca scientifica più avanzata e quindi un superamento di certe preclusioni di principio che hanno impedito all'Ente di mettere a disposizione di altre comunità scientifiche queste competenze e tecnologie che esso possiede e che porterebbero beneficio al Paese nel suo complesso. Un esempio di questo atteggiamento è la scoperta a Frascati (2000) di un batterio estremofilo (*Ralstonia detusculanense*) con interessanti potenzialità nella Biorimediazione, a cui però non si è voluto dare un seguito, perchè questo tipo di ricerca non è nel *mainstream* dell'INFN.

Lo scopo di questo Convegno è quindi dimostrare che, con un maggiore impegno umano e finanziario in ricerca da parte degli Istituti preposti ma anche da parte della Comunità Europea, il problema dei rifiuti nucleari e radioattivi e della contaminazione ambientale può essere risolto in modo tale da garantire la sostenibilità socioambientale dell'energia nucleare. Gli strumenti esistono già.

⁵ Vice-direttore dell'Istituto di Tutela Ambientale presso il Centro Belga di Ricerche Nucleari.

⁶ Professore Capo del Dipartimento di Radiochimica Teorica dell'Università Statale di Kiev

⁷ Professore di Geomicrobiologia presso l'Università di Manchester

⁸ Prof.ssa Associata presso la Ecole Polytechnique Fédérale di Losanna

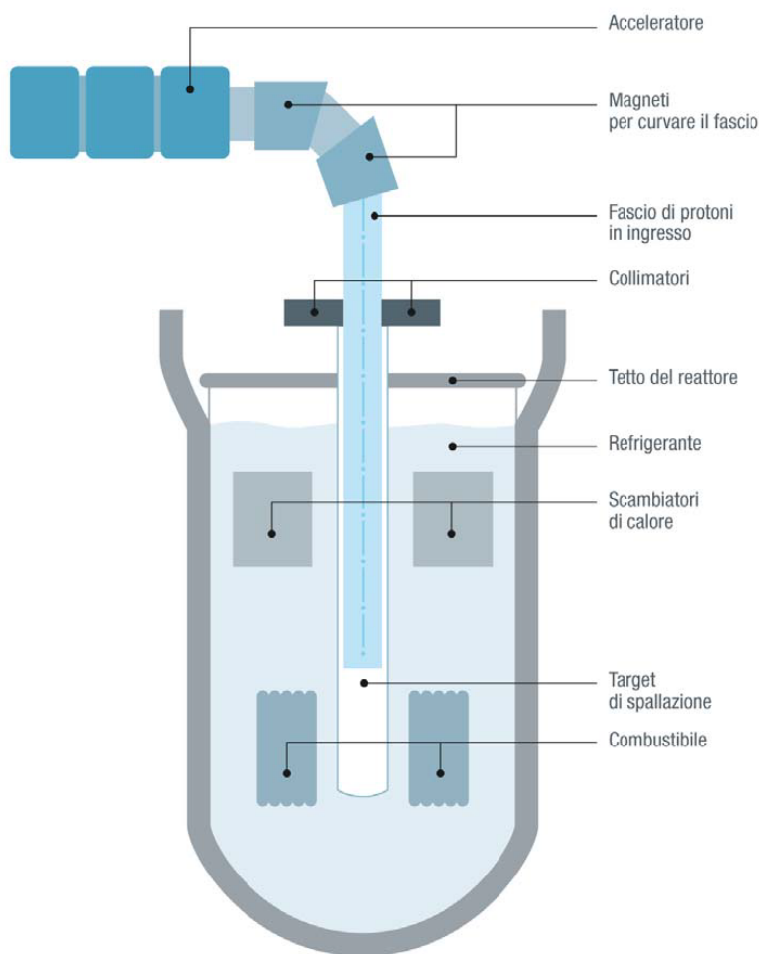


Figura 1. Schema di principio di un ADS (Accelerator Driven System). Un fascio di protoni viene accelerato ad alta energia da un ciclotrone o da un acceleratore lineare e va a colpire un bersaglio (*target di spallazione*) posto all'interno di un reattore *subcritico*, producendo un gran numero di neutroni che, interagendo con il *combustibile*, danno luogo alle trasmutazioni nucleari desiderate. In caso di emergenza, lo spegnimento dell'acceleratore determina lo spegnimento rapido anche del reattore, che quindi non può mai andare fuori controllo, a differenza di quanto avviene nei reattori *critici*. Questo perché in un reattore *critico* il numero di neutroni prodotti nel reattore stesso è sufficiente a mantenere in vita le reazioni nucleari in modo autonomo, mentre in un reattore *subcritico* c'è bisogno di un apporto neutronico dall'esterno, in mancanza del quale il reattore si spegne da solo. Il reattore *subcritico* è sempre intrinsecamente *sicuro*, mentre quello *critico* necessita di un sistema di protezione esterno.

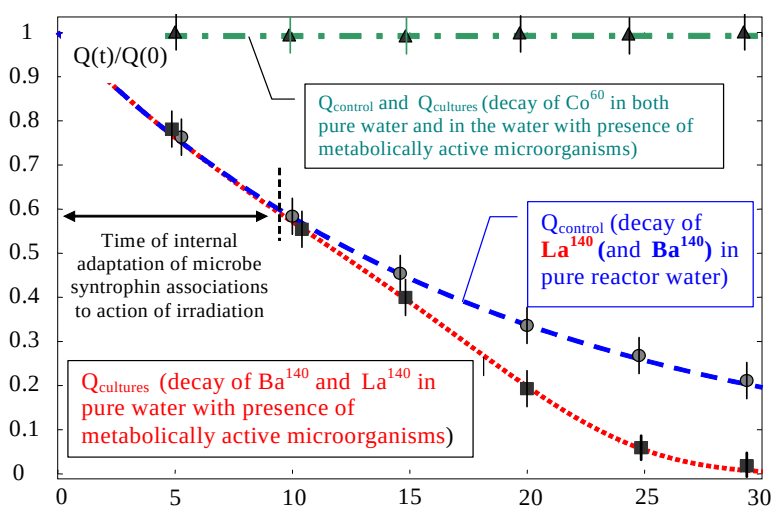


Figura 2. L'acqua di raffreddamento di un reattore nucleare contiene vari nuclei radioattivi, tra cui La^{140} , Ba^{140} e Co^{60} .

La presenza di microorganismi metabolicamente attivi sembra accelerare il processo di decadimento radioattivo nell'arco di 30 giorni, come si vede confrontando la curva rossa (presenza) con la curva blu (assenza). Nel caso del Co^{60} invece (curva verde), che ha una vita media molto più lunga (anni), non si nota nessuna differenza e le due curve sono sovrapposte.

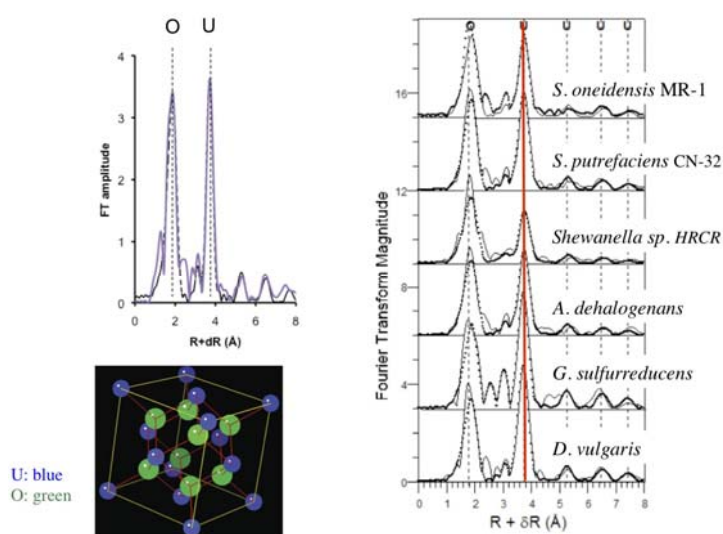


Figura 3: Analisi ai raggi X (tecnica EXAFS) di varie specie batteriche in grado di ridurre l'Uranio (VI) a biossido UO_2 (Uraninite), che precipita e può essere facilmente separato dall'acqua.

Lo spettro di assorbimento espresso in funzione delle distanze interatomiche può fornire importanti informazioni sulle specie ioniche, sulla struttura locale eccitata, tra cui geometria e numero di coordinazione, stato di ossidazione, distanze di disordine statico e vibrazionale

Le relazioni sono disponibili in formato Powerpoint o PDF sul sito:

<http://www.scienzanazionale.it/remository/CONVEGNI-E-SEMINARI/Transmutation-and-Bioremediation/>

Per il Comitato Organizzatore:

Dr. Sergio Bartalucci (presidente)
Staff Scientist

LNF-INFN Research Division
Via E. Fermi 40
I-00044 Frascati (ROMA)
Italy

Office: +39.06.94032754
Mobile: +39.06.94038291
Fax: +39.06.94032427
Private +39.349.5776788

E-mail: Sergio.Bartalucci@lnf.infn.it
Website 1: <http://www.lnf.infn.it/~bartaluc/>
Website 2: <http://www.scienzanazionale.it/>