

LA RICETTA DI CARLO RUBBIA PER IL NUCLEARE PULITO: IL RUBBIATRONE. CROAZIA : LA PATTUMIERA NUCLEARE D' EUROPA.

Nel nostro studio sullo sviluppo sostenibile inserito nel “progetto cittadinanza europea” abbiamo tra l’altro visto come funzionano le centrali nucleari e analizzato i problemi collegati alla produzione di energia nucleare tramite reazioni di fissione che provocano la produzione delle scorie nucleari . Esse costituiscono un gravissimo problema non solo per le attuali generazioni , visto che i sistemi attualmente adottati per la loro conservazione non sono sicuri al 100% , ma anche per le generazioni future visto che il loro tempo di decadimento è di 24000 anni.

Il fisico italiano Carlo Rubbia, premio Nobel per la fisica nel 1984, ha proposto un metodo per rendere inerti queste scorie radioattive rendendole inerti tramite il loro bombardamento con neutroni che si ottengono sparando protoni nel piombo fuso.

La stessa macchina (reattore di Rubbia) con cui si neutralizzerebbero le scorie ,sarà anche in grado di generare energia nucleare in modo molto più sicuro dei reattori nucleari finora costruiti. In Italia dove con un referendum popolare nel 1988 è stata vietata la produzione di energia nucleare ,il progetto è stato molto criticato soprattutto dagli ambientalisti che rifiutano totalmente l’impiego del nucleare per la produzione di energia.



RUBBIA risponde :”Credo che la polemica nasca da una incomprensione di fondo. Qui stiamo parlando di ricerca ,non delle scelte politiche sulle fonti da impiegare o meno. Dobbiamo studiare,ricercare,capire,ragionare. Solo dopo si può decidere. Il mio è un progetto di ricerca , in circa otto anni potremmo costruire una macchina dimostrativa ,e solo dopo si dovrà valutare la possibilità di passare davvero a un impiego commerciale di queste tecnologie. Se la macchina funziona il primo passo del progetto sarà bruciare le scorie che già ci sono. Anche per l’Italia questo è un problema enorme :300 tonnellate immagazzinate a Caorso,di cui 3 di plutonio. Che ne facciamo?C’è qualche ambientalista disposto a metterselo nel suo giardino? Siamo tutti d’accordo che il nucleare che abbiamo conosciuto finora è dietro di noi, ma rifiutare a priori qualsiasi forma di energia proveniente dal nucleo è quantomeno azzardato.”

RUBBIA con qualche semplice calcolo dimostra che ad esempio limitatamente alla sola Italia per soddisfare la metà del nostro futuro fabbisogno elettrico con l’ energia solare servirebbero 22mila chilometri quadrati di pannelli, un’area grande più o meno come tutta la Sardegna. Se si ripete un calcolo analogo per l’energia eolica,il risultato è che bisognerebbe riservare quasi 8 milioni di chilometri quadrati del nostro pianeta ai “mulini a vento”(per confronto : la superficie mondiale coltivata è di circa 10 milioni di chilometri quadrati).

E’ di questi giorni la notizia che la Croazia sta per diventare la pattumiera nucleare d’ Europa. Il deposito che sarà realizzato nella miniera d’argento in disuso a Majdan, a due chilometri dal confine con la Bosnia Erzegovina, metterebbe a rischio un territorio di rilevante interesse naturalistico nel quale scorre il fiume Una e per il quale è stata richiesta la tutela come riserva mondiale sotto il patronato dell’ Unesco.

In Europa vi è attualmente una carenza di depositi di stoccaggio a fronte di una notevole produzione di scorie.

La miniera di Majdan non fornisce le garanzie necessarie per la sicurezza per i seguenti motivi: nel territorio in cui sorge il terreno presenta una elevata porosità con numerose sorgenti acquifere; inoltre la miniera si trova molto vicina la fiume Una che in caso di contaminazione consentirebbe un rapido trasporto degli inquinanti radioattivi dalle sue acque a quelle del fiume Sava in cui confluisce sfociando ,dopo aver attraversato buona parte dell’ Europa dell’est nel Mar Nero con ricadute pesantissime in buona parte dell’Europa centro orientale

Inoltre si porrebbe anche il problema del trasporto dei rifiuti provenienti dagli altri paesi europei . I percorsi che questi pericolosissimi rifiuti radioattivi dovrebbero seguire coinvolgerebbero sicuramente l'Italia settentrionale e in particolare il Friuli Venezia Giulia, che possiede un' ottima rete viaria. Il problema ,è chiaro non riguarda solo la Croazia ,ma coinvolge numerosi paesi europei. Inoltre si porrebbe anche il problema del trasporto dei rifiuti provenienti dagli altri paesi europei . I percorsi che questi pericolosissimi rifiuti radioattivi dovrebbero seguire coinvolgerebbero sicuramente l'Italia settentrionale e in particolare il Friuli Venezia Giulia, che possiede un' ottima rete viaria. Il problema ,è chiaro non riguarda solo la Croazia ,ma coinvolge numerosi paesi europei.

Fusione o fissione? intervista di Elisabetta Durante

Carlo Rubbia ha vinto il Premio Nobel per la Fisica nel 1984 per la scoperta delle particelle W e Z, messaggere dell'interazione nucleare debole; ha insegnato per molti anni alla Harvard University, dal 1989 al 1993 è stato Direttore generale del Cern ed è attualmente Presidente dell'Enea.

Professore, qual è lo stato dell'arte internazionale nel campo della Fusione nucleare?

In questi anni si sono ottenuti molti risultati grazie ad una vigorosa partecipazione internazionale al programma che viene condotto mondialmente da quarant'anni, con una spesa complessiva di oltre 60 miliardi di euro, inclusa quella del nostro paese. Grazie all'obiettivo energetico, si è sviluppato un nuovo capitolo della scienza dei plasmi; a sua volta, questa nuova scienza dei plasmi ha contribuito ad aprire molti campi scientifici e tecnologici. Così si è sostanzialmente migliorata la comprensione dei concetti necessari ad un futuro sistema energetico da Fusione, ma la distanza dall'obiettivo finale rimane notevole.

Pur con gli enormi investimenti già portati a termine, non è possibile ancora garantire che la fusione magnetica Deuterio-Trizio (D-T, ndr) potrà un giorno funzionare in maniera sicura ed essere finanziariamente competitiva. Il problema principale è quello dell'accensione, cioè del bruciamento efficiente e continuativo del plasma D-T, con la sua conversione in Elio più neutrone. Sono quindi necessarie nuove macchine, ben più potenti di quelle esistenti, ad esempio "Iter", o meno complesse e più specializzate, come "Ignitor" in Italia e "Fire" negli Usa. Vista l'importanza del problema, le accese discussioni su quale sia la scelta migliore non sono sorprendenti: ma la stragrande maggioranza degli addetti ai lavori ha deciso in favore del programma internazionale centrato su Iter. Tuttavia, tutti i progetti potrebbero essere utili a esplorare il comportamento, e diciamo chiaramente, le inevitabili sorprese di un plasma che si avvicini all'accensione.

Si dice che la Fusione rappresenti una soluzione "pulita": cosa può dirci in proposito?

Si sente dire spesso che la Fusione D-T è pulita perchè non sarebbe altro che l'energia del Sole riprodotta sulla Terra. Nulla di più errato. La reazione del Sole è senza neutroni. La reazione D-T produce invece un neutrone con più di $\frac{3}{4}$ dell'energia emessa: questo neutrone è la causa principale delle quantità di scorie radioattive prodotte anche da un reattore a Fusione. Inoltre, il principale elemento combustibile, assente nel ciclo solare, è il Trizio, un isotopo radioattivo dell'idrogeno, con una vita media di circa 13 anni. Fughe accidentali di Trizio potrebbero avere conseguenze non diverse da quelle prodotte da incidenti nucleari da Fissione. In sostanza, un reattore a Fusione produrrebbe una quantità di radioattività appena inferiore a quella di un reattore a Fissione ordinario della stessa potenza, migliorabile con l'uso di materiali più avanzati.

Si dice che la fusione sia una fonte di energia inesauribile: sarebbe dunque, una soluzione definitiva?

A lungo termine l'Umanità ha bisogno di sorgenti di energia alternative a quelle dei fossili. In tale quadro, il ricorso al nucleare, oltre che al solare, sembra assolutamente inevitabile. Tuttavia va ricordato che, se usate con i metodi odierni, le riserve naturali di Uranio non sono superiori, ad esempio, a quelle del petrolio o del carbone. Quindi nuovi metodi sono necessari. Nel caso della Fusione D-T, il Trizio non esiste in natura e deve essere prodotto, 'sparando' il neutrone generato

dalla reazione, contro il Litio: la disponibilità di questo elemento è tale da assicurare molti millenni di produzione energetica.

Il governo francese sembra pronto ad affrontare una spesa ingente pur di strappare al Giappone il megaprogetto per la fusione "Iter". Non pochi ricercatori francesi hanno criticato questa posizione, osservando come il traguardo della fusione sia ancora lontano e comporti una spesa eccessiva, che penalizzerebbe lo sviluppo di altre soluzioni più a portata di mano...

Anche la Fissione, non quella odierna, ma quella dei nuovi reattori veloci basati sull'uso di Uranio Depleto (impoverito, ndr), e soprattutto col cosiddetto "Amplificatore di Energia", basato sull'uso del Torio e di un acceleratore di particelle (Ads, ndr), offrono disponibilità energetiche illimitate come quelle da Fusione. Anche queste forme innovative di energia da Fissione, e specialmente quella basata sul Torio, offrono emissioni di scorie radioattive confrontabili per quantità e durata a quelle della Fusione D-T; inoltre grazie a conoscenze già acquisite, sono realizzabili industrialmente in una scala di tempi ben più ridotta, senza le immense problematiche della combustione del plasma e certamente con costi e complessità inferiori a quelli che comporta la Fusione controllata nella più ottimistica delle forme.

Sulla lunga strada del nuovo nucleare, potrebbe esserci spazio per progetti di più limitata portata, che fungano magari come banco di prova di Iter?

Far partire simultaneamente due dispositivi in concorrenza, sul piano internazionale (Iter, ndr) e nazionale (Ignitor, ndr) mi sembrerebbe eccessivo! Perché dunque non investire invece una piccola frazione di quanto destinato alla Fusione per realizzare una Fissione innovativa basata sull'Amplificatore di Energia? Perché mettere tutte le uova nel solo paniere della Fusione magnetica, quando il problema della dipendenza energetica a lungo termine è uno dei più vasti, complessi e inevitabili problemi dell'umanità? A mio parere abbiamo bisogno della massima diversità nelle opzioni su cui contare a lungo termine, al fine di catturare l'immensa energia contenuta nei nuclei in maniera sicura, sostenibile ed illimitata. Sia la Fusione che la Fissione andrebbero perseguite con eguale vigore, alla ricerca di una nuova energia nucleare capace di alimentare l'Umanità per i millenni a venire.

Carlo Rubbia è nato a Gorizia nel 1934. Dopo aver concluso gli studi universitari presso l'Università di Pisa (1957), si è trasferito a New York, lavorando per circa un anno alla Columbia University. Ha proseguito le sue ricerche in Italia, presso l'Università di Roma La Sapienza, divenendo nel 1960 ricercatore dell'Organizzazione europea per la ricerca nucleare, il CERN di Ginevra. Qui ha partecipato a esperimenti sulle interazioni deboli al sincrociclotrone, al protosincrotrone, al collisionatore di fasci protonici. Dal 1971 al 1988 è stato professore di fisica alla Harvard University, nel Massachusetts. Dal 1990 al 1993 ha ricoperto la carica di direttore generale del CERN. Nel 1994 ha assunto la direzione dell'International Center for Theoretical Physics di Trieste. Attualmente insegna anche Complementi di fisica superiore a Pavia.

Tra i prestigiosi riconoscimenti ottenuti per le sue ricerche, Carlo Rubbia ha ricevuto nel 1984 anche il premio Nobel per la fisica, che ha condiviso con il collega olandese Simon van der Meer. Nella menzione ufficiale dell'Accademia svedese i due fisici vengono premiati "per il loro decisivo contributo al grande progetto che condusse alla scoperta delle particelle di campo W e Z, mediatrici dell'interazione debole". L'interazione debole è uno dei quattro fondamentali campi di forza dell'universo (la gravità, l'elettromagnetismo, l'interazione nucleare forte e l'interazione nucleare debole): opera nel profondo della materia, laddove risiedono quark e leptoni.

Fra i suoi lavori più importanti vanno ricordati: la scoperta del processo di decadimento beta del pione positivo; la prima osservazione della cattura del muone in idrogeno; la determinazione della violazione della parità del decadimento beta dell'iperone lambda; l'osservazione di correnti deboli neutre (prima prova dell'esistenza di un bosone neutro). Tali esperimenti furono effettuati presso diversi acceleratori negli Stati Uniti (al Fermilab, nell'Illinois, ed al Brookhaven National Laboratory di Long Island, NY) e a Ginevra.

Inoltre Rubbia propose e realizzò al CERN un nuovo acceleratore di particelle in cui si fece

collidere un fascio di antiprotoni con un fascio di protoni, allo scopo di raggiungere energie tali da consentire la produzione di bosoni vettori intermedi (particelle circa cento volte più pesanti dei protoni). La realizzazione di questo acceleratore richiese lo sviluppo di tecniche innovative, in particolare per la creazione e l'accumulazione di antiprotoni in un fascio di alta densità. La proposta di Rubbia di convertire il superprotosincrotrone del CERN in un anello di collisione per protoni e antiprotoni ha permesso di raggiungere energie sufficienti per osservare eventi in cui si producono i bosoni intermedi W e Z. La realizzazione dell'esperimento è stata resa possibile dall'invenzione, ad opera di Simon van der Meer, di un metodo elettronico per ottenere fasci densi e concentrati di antiprotoni. La scoperta di queste particelle elementari, annunciata nel 1983, confermò l'unificazione delle forze elettromagnetiche e dell'interazione debole, costituendo un passo fondamentale nello sviluppo della fisica moderna.

L'attività di ricerca di Rubbia ha coperto diversi campi della fisica, quali lo studio dei neutrini cosmici, l'analisi della stabilità del protone, il progetto di una fusione nucleare controllata e il progetto di un reattore nucleare basato sull'utilizzo di torio come materiale radioattivo. L'attività più recente di Carlo Rubbia è rivolta al problema della produzione di energia mediante nuove tecnologie; attualmente egli è Presidente dell'ENEA, l'ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente dal 1999.

Il progetto del prof. Rubbia, chiamato «progetto Archimede», punta sulla captazione e accumulo di raggi solari con specchi parabolici per arrivare, con una tecnologia innovativa Enea, alla disponibilità di energia. Si utilizzano raggi del sole che vengono raccolti e concentrati da un sistema di specchi parabolici in grado di captare in modo continuativo le radiazioni solari che sono poi concentrate su un tubo assorbente, di nuova generazione tecnologica, posto sul fuoco delle parabole, al cui interno scorre un fluido termovettore. Questo si scalda raggiungendo temperature molto elevate e si convoglia in un serbatoio a caldo. Da qui passa in uno scambiatore, in cui cede parte del calore che produrrà vapore da immettere nel gruppo turbine, già operanti, di una centrale (a questo scopo è stata scelta la centrale Enel di Priolo). Il fluido del termovettore è di fatto un comune fertilizzante, quindi né infiammabile né inquinante e può raggiungere temperature elevatissime. A 550° si può svolgere l'operazione sopradescritta per produrre energia elettrica, ad oltre 850° si può operare per ottenere idrogeno. Un aspetto primario del progetto è che si ha la possibilità di accumulo, pertanto anche nelle giornate piovose il processo può andare avanti, così dicasi di notte. La prima applicazione pratica sarà alla centrale Enel di Priolo (Siracusa), come già detto, da 720 mw di potenza e si potrà arrivare a produrre circa 30 mw col «progetto Archimede». Si tenga conto tuttavia che per ogni mw prodotto occorre un'area operativa di 2 ettari. Ecco perché se il «progetto Archimede» fosse attuabile in grandi aree assolate e libere, come ne esistono in Africa, la produzione elettrica, per questa via, avrebbe ben altre proporzioni. La produzione poi potrebbe essere trasportata dove si vuole con elettrodotti. Comunque la scelta di Priolo non è a caso ma dettata dal tipo di centrale già operante in loco che è a ciclo combinato.

Il progetto nasce dalle sinergie di Enel ed Enea, insieme per l'energia solare: nasce così il Progetto Archimede, la prima applicazione a livello mondiale di integrazione tra un ciclo combinato a gas e un impianto solare termodinamico, basato su una tecnologia fortemente innovativa elaborata dall'Enea e sviluppata dallo stesso commissario dell'ente, il premio Nobel Carlo Rubbia. La centrale Enel di Priolo Gargallo (Siracusa) sarà la sede della sperimentazione. Il grande impianto solare, che sorgerà in un'area adiacente di proprietà dall'Enel, incrementerà la potenza della centrale di circa 20 MW e consentirà di produrre: energia elettrica aggiuntiva di fonte solare capace di soddisfare il fabbisogno di una città di 20 mila abitanti, un risparmio di 12 mila e 500 tonnellate equivalenti di petrolio all'anno, minori emissioni di CO₂ per 40 mila tonnellate all'anno.

Carlo Rubbia è membro delle seguenti accademie: Accademia dei Lincei, Accademia dei XL, American Academy of Arts and Sciences, Ateneo Veneto, European Academy of Sciences,

Accademia Pontificia delle Scienze, Royal Society, Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti, Accademia Sovietica delle Scienze, Accademia Polacca delle Scienze.

Il Nobel Rubbia: tra fusione e fissione non è un aut-aut

Carlo Rubbia ha vinto il Premio Nobel per la Fisica nel 1984 per la scoperta delle particelle W e Z, messaggere dell'interazione nucleare debole; ha insegnato per molti anni alla Harvard University, dal 1989 al 1993 è stato Direttore generale del Cern ed è attualmente Presidente dell'Enea.

Professore, qual è lo stato dell'arte internazionale nel campo della fusione nucleare?

In questi anni si sono ottenuti molti risultati grazie a una vigorosa partecipazione internazionale al programma che viene condotto mondialmente da quarant'anni, con una spesa complessiva di oltre 60 miliardi di euro, inclusa quella del nostro Paese. Grazie all'obiettivo energetico, si è sviluppato un nuovo capitolo della scienza dei plasmi; a sua volta, questa nuova scienza dei plasmi ha contribuito ad aprire molti campi scientifici e tecnologici. Così si è sostanzialmente migliorata la comprensione dei concetti necessari a un futuro sistema energetico da fusione, ma la distanza dall'obiettivo finale rimane notevole. Pur con gli enormi investimenti già portati a termine, non è possibile ancora garantire che la fusione magnetica deuterio-trizio (D-T, ndr) potrà un giorno funzionare in maniera sicura ed essere finanziariamente competitiva. Il problema principale è quello dell'accensione, cioè del bruciamento efficiente e continuativo del plasma D-T, con la sua conversione in elio più neutrone. Sono quindi necessarie nuove macchine, ben più potenti di quelle esistenti, ad esempio "Iter", o meno complesse e più specializzate, come "Ignitor" in Italia e "Fire" negli Usa. Vista l'importanza del problema, le accese discussioni su quale sia la scelta migliore non sono sorprendenti: ma la stragrande maggioranza degli addetti ai lavori ha deciso in favore del programma internazionale centrato su Iter. Tuttavia, tutti i progetti potrebbero essere utili a esplorare il comportamento, e diciamo chiaramente, le inevitabili sorprese di un plasma che si avvicini all'accensione.

Si dice che la fusione rappresenti una soluzione "pulita": cosa può dirci in proposito?

Si sente dire spesso che la fusione D-T è pulita perché non sarebbe altro che l'energia del Sole riprodotta sulla Terra. Nulla di più errato. La reazione del Sole è senza neutroni. La reazione D-T produce invece un neutrone con più di tre quarti dell'energia emessa: questo neutrone è la causa principale delle quantità di scorie radioattive prodotte anche da un reattore a fusione. Inoltre, il principale elemento combustibile, assente nel ciclo solare, è il trizio, un isotopo radioattivo dell'idrogeno, con una vita media di circa 13 anni. Fughe accidentali di trizio potrebbero avere conseguenze non diverse da quelle prodotte da incidenti nucleari da fissione. In sostanza, un reattore a fusione produrrebbe una quantità di radioattività appena inferiore a quella di un reattore a fissione ordinario della stessa potenza, migliorabile con l'uso di materiali più avanzati.

Si dice che la fusione sia una fonte di energia inesauribile: sarebbe dunque, una soluzione definitiva?

A lungo termine l'umanità ha bisogno di sorgenti di energia alternative a quelle dei fossili. In tale quadro, il ricorso al nucleare, oltre che al solare, sembra assolutamente inevitabile. Tuttavia va ricordato che, se usate con i metodi odierni, le riserve naturali di uranio non sono superiori, ad esempio, a quelle del petrolio o del carbone. Quindi nuovi metodi sono necessari. Nel caso della fusione D-T, il trizio non esiste in natura e deve essere prodotto, "sparando" il neutrone generato dalla reazione, contro il litio: la disponibilità di questo elemento è tale da assicurare molti millenni di produzione energetica.

Il Governo francese sembra pronto ad affrontare una spesa ingente pur di strappare al Giappone il megaprogetto per la fusione "Iter". Non pochi ricercatori francesi hanno criticato questa posizione, osservando come il traguardo della fusione sia ancora lontano e comporti una spesa eccessiva, che penalizzerebbe lo sviluppo di altre soluzioni più a portata di mano...

Anche la fissione, non quella odierna, ma quella dei nuovi reattori veloci basati sull'uso di uranio depleto (impoverito, ndr), e soprattutto col cosiddetto , basato sull'uso del torio e di un acceleratore di particelle (Ads, ndr), offrono disponibilità energetiche illimitate come quelle da fusione. Anche queste forme innovative di energia da fissione, e specialmente quella basata sul torio, offrono

emissioni di scorie radioattive confrontabili per quantità e durata a quelle della fusione D-T; inoltre grazie a conoscenze già acquisite, sono realizzabili industrialmente in una scala di tempi ben più ridotta, senza le immense problematiche della combustione del plasma e certamente con costi e complessità inferiori a quelli che comporta la fusione controllata nella più ottimistica delle forme.

Sulla lunga strada del nuovo nucleare, potrebbe esserci spazio per progetti di più limitata portata, che fungano magari come banco di prova di Iter?

Far partire simultaneamente due dispositivi in concorrenza, sul piano internazionale (Iter, ndr) e nazionale (Ignitor, ndr) mi sembrerebbe eccessivo! Perché dunque non investire invece una piccola frazione di quanto destinato alla fusione per realizzare una fissione innovativa sull'Amplificatore di energia? Perché mettere tutte le uova nel solo paniere della fusione magnetica, quando il problema della dipendenza energetica a lungo termine è uno dei più vasti, complessi e inevitabili problemi dell'umanità? A mio parere abbiamo bisogno della massima diversità nelle opzioni su cui contare a lungo termine, al fine di catturare l'immensa energia contenuta nei nuclei in maniera sicura, sostenibile e illimitata. Sia la fusione che la fissione andrebbero perseguite con eguale vigore, alla ricerca di una nuova energia nucleare capace di alimentare l'umanità per i millenni a venire.

Cosa sono le scorie nucleari?

Con il termine di scorie nucleari si intende indicare il combustibile esausto originatosi all'interno dei reattori nucleari nel corso dell'esercizio.

Esse rappresentano un sottoinsieme dei rifiuti radioattivi, a loro volta suddivisibili in base al livello di attività in tre categorie: basso, intermedio ed alto.

per capire meglio cosa sono i "rifiuti radioattivi" e la loro classificazione in categorie

Esempio di rifiuti a basso livello sono costituiti dagli indumenti usa e getta usati nelle centrali nucleari; il 90% dei rifiuti radioattivi prodotti appartengono a questa categoria, ma contengono solo il 1% della radioattività di provenienza antropogenica. Rifiuti a livello intermedio sono costituiti ad esempio dall'incamiciatura del combustibile, richiedono schermatura, e costituiscono il 7% del volume dei rifiuti radioattivi prodotti nel mondo (ma contengono solo il 4% della radioattività). Al contrario le scorie ad alto livello costituiscono solo il 3% del volume prodotto nelle attività umane, ma contengono il 95% della radioattività. Tipico esempio è costituito dal combustibile esausto delle centrali nucleari. I 436 reattori nucleari presenti in 31 nazioni infatti producono annualmente migliaia di tonnellate di scorie.

Un reattore del tipo PWR scarica annualmente da 40 a 70 elementi di combustibile, un BWR da 120 a 200 (rispettivamente 461.4 e 183.3 Kg di uranio per assembly). Infatti dopo 3 anni di permanenza all'interno del reattore il combustibile passa alle piscine di raffreddamento; si sono formati in totale circa 350 nuclidi differenti, 200 dei quali radioattivi.

Si ha, in media, la seguente composizione:

- 94% uranio 238
- 1% uranio 235
- 1% plutonio
- 0.1% attinidi minori (Np, Am, Cm)
- 3÷4% prodotti di fissione

Si osservi che:

- la radiotossicità del combustibile esausto decresce nel tempo e pareggia quella dell'uranio inizialmente caricato nel reattore solo dopo 250.000 anni;
- il contributo maggiore alla pericolosità delle scorie è dato dal plutonio: l'80% dopo 300 anni, il 90% dopo 500 anni;
- dopo il plutonio i maggiori contributori sono gli attinidi minori (nettunio, americio e curio), che contribuiscono per un ordine di grandezza meno del plutonio ma circa mille volte più dei prodotti di

fissione;

- gli attinidi rappresentano dunque il maggiore pericolo potenziale delle scorie nucleari; tuttavia bisogna tener conto anche di alcuni prodotti di fissione quali alcuni isotopi dello iodio, del tecnezio e del cesio, data la loro maggiore mobilità nella biosfera e la loro maggiore affinità biologica (vie di ritorno per l'uomo).

Dato che le scorie radioattive, al contrario dei rifiuti convenzionali, decadono nel tempo, si osserva che i prodotti di fissione sono pericolosi per circa 300 anni, gli attinidi minori per circa 10.000, il plutonio per circa 250.000.

Per alleggerire il problema dello stoccaggio permanente delle scorie dei reattori nucleari è necessario quindi:

- ridurre la formazione del plutonio;
- bruciare quello già prodotto.

A tale scopo sono state proposte varie soluzioni, fra le quali possono essere citati l'ADS (Accelerator Driven System), i reattori veloci ed ora anche i reattori HTR. Si noti che questo fenomeno è dovuto alla formazione degli elementi transuranici, in generale assai più radiotossici dell'uranio presente nelle miniere; si noti che le scorie high-level pareggiano la radioattività dell'uranio dopo 10.000 anni.

per maggiori informazioni su una nuova tecnologia messa a punto dal premio Nobel Carlo Rubbia che prevede una variante del sistema ADS (Accelerator Driven System) e che consentirà di "bruciare" le scorie radioattive, abbreviando l'emivita delle scorie

Si noti che un impianto nucleare da 1000 MWe produce annualmente solo 25÷30 tonnellate di scorie ad alto livello vetrificate, pari ad un volume di circa 3 m³. E' stato calcolato che un uomo che usasse solo energia di origine nucleare produrrebbe, nell'arco della propria vita, un volume di scorie di questo tipo tale da poter essere contenuto nel palmo di una mano. Del resto dai dati sopra esposti si calcola facilmente che il consumo di 1 KWh per 100 anni produrrebbe un volume di scorie vetrificate pari a 0.3 litri (meno di una lattina da 33 cl!), o se si preferisce una sfera di diametro pari a 8.3 cm. Un impianto da 1000 MWe, annualmente, ne produce 12 cilindri di altezza 1.3 e diametro 0.4 metri con 400 Kg di vetro.

fonte:

Tesi di laurea in ingegneria nucleare di Romanello Vincenzo - *"Analisi di alcune peculiari potenzialità degli HTR: la produzione di idrogeno ed il bruciamento degli attinidi"*

Per quanto riguarda la **fissione nucleare** esiste il progetto "**amplificatore di energia**", soprannominato "reattore Rubbia" che funziona sparando protoni con un acceleratore di particelle all'interno di un contenitore con piombo liquido. Dal piombo escono così neutroni che colpiscono barre di torio innescando la fissione nucleare, la reazione a catena. In questo modo si genera calore che viene raccolto e convogliato a turbine per generare energia. Per spegnere il reattore basta fermare l'iniettore a protoni; per questo è considerato un sistema a sicurezza intrinseca. Se al posto del torio si sistemano scorie radioattive (di uranio o plutonio) queste, bombardate da neutroni, sono trasformate in elementi con vita molto breve o addirittura spenti e non emettono più radiazioni. Il sistema infatti nasce come riciclatore delle **scorie radioattive** delle centrali nucleari. Un prototipo dovrebbe essere costruito tra circa 7 anni.ù

Si chiama *Iter* (International Thermonuclear Experimental Reactor) e si basa sulla fusione nucleare il reattore che potrà produrre energia elettronucleare senza rischi di esplosioni o scorie radioattive. Il progetto è sostenuto da Cina, Giappone, Russia, Stati Uniti e Unione Europea (con la Svizzera come partner). Quali possibili ubicazioni dell'ITER sono state proposte due località nell' Unione Europea (Cadarache, in Francia, e Vandellòs, in Spagna) nonché Clarington, in Canada, e Rokkashomura, in Giappone. La decisione sarà presa entro la fine del 2004 e l'inizio dei lavori di costruzione è previsto per il 2005 o il 2006. I tempi di realizzazione saranno comunque molto lunghi: la costruzione finirà dopo 10 anni, e il primo gigawatt di elettricità prodotto in continuo

vedrà la luce non prima del 2050.

Il cuore del reattore Iter si chiama *Tokamak*, una ciambella metallica di 6,2 metri di raggio, cava all'interno e circondata da magneti, che consentirà di riscaldare un gas di particelle come il deuterio e il trizio, isotopi dell'idrogeno (l'insieme viene chiamato plasma), fino a temperature estreme (centinaia di milioni di gradi) raggiunte usando prima una forte corrente elettrica e poi iniettando onde elettromagnetiche (come nel forno a microonde) con un'energia dell'ordine di milioni di watt. Il calore farà muovere velocemente le particelle, che si urteranno con forza sufficiente a vincere la repulsione, e fondere. A tali temperature però, nessun materiale è tecnologicamente in grado di resistere e si è pensato di usare all'interno della ciambella il confinamento magnetico, ovvero di creare campi magnetici che agiscono intorno al plasma per mantenerlo opportunamente distanziato dalle pareti metalliche.

Il problema è che fino a ora l'energia prodotta con questi esperimenti (per esempio in Gran Bretagna nel Joint European Torus, JET) non ha nemmeno compensato l'energia spesa per riscaldare il plasma.