

## ASPETTI DI SICUREZZA DEL REATTORE EPR

Eleonora BOMBONI \*, Nicola CERULLO \*\*, Guglielmo LOMONACO \*\*\*, Vincenzo ROMANELLO \*\*\*\*

\* *Ingegnere Nucleare, Dottorato di Ricerca in "Sicurezza Nucleare e Industriale"*

\*\* *Già Professore Ordinario di "Reattori Nucleari Avanzati" presso l'Università di Genova; già Professore Associato di "Impianti Nucleari" e libero docente confermato in "Fisica del Reattore Nucleare" presso l'Università di Pisa*

\*\*\* *Ingegnere Nucleare, Dottorato di Ricerca in "Ingegneria Elettrica e Termica", Assistant Professor presso l'Università di Genova*

\*\*\*\* *Ingegnere Nucleare – orientamento "Impianti Nucleari Innovativi", Dottorato di Ricerca in "Ingegneria dei Materiali", ricercatore presso il Karlsruhe Institute of Technology (KIT) in Germania*

Il reattore EPR (*European Pressurized Reactor*) è stato progettato per un uso ottimizzato del combustibile nucleare e la minimizzazione della produzione di attinidi [1]. In particolare il reattore consente di risparmiare il 17 % del consumo di uranio, riducendo del 15 % la produzione di attinidi e guadagnando il 14 % nel rapporto fra energia elettrica prodotta contro rilascio termico nell'ambiente.



Figura 1

Un insieme di 4 sottosistemi, o "treni", (la Figura 1 mostra i sistemi di "treni" indipendenti del reattore EPR [2]) ridondanti che provvedono al raffreddamento di emergenza del core<sup>(1)</sup>, ognuno in grado di svolgere l'intera funzione di sicurezza autonomamente, sono localizzati in zone diverse dell'impianto e separati gli uni dagli altri: in tal modo il pericolo di malfunzionamento contemporaneo in seguito ad incidente (ad esempio incendio o impatto aereo) viene evitato. Il contenimento di sicurezza (la Figura 2a e la Figura 2b mostrano i dettagli dell'edificio di contenimento del reattore EPR [2]), è realizzato a doppia parete con un sistema di ventilazione e filtraggio. Nonostante i sistemi di sicurezza riducano la probabilità di un incidente quasi a zero, tale struttura impedisce un rilascio radioattivo all'esterno.

Può sopportare pressioni e temperature molto alte, anche nell'ipotesi (di fatto altamente irrealistica) di fusione del nocciolo (*meltdown*).



Figura 2a



Figura 2b

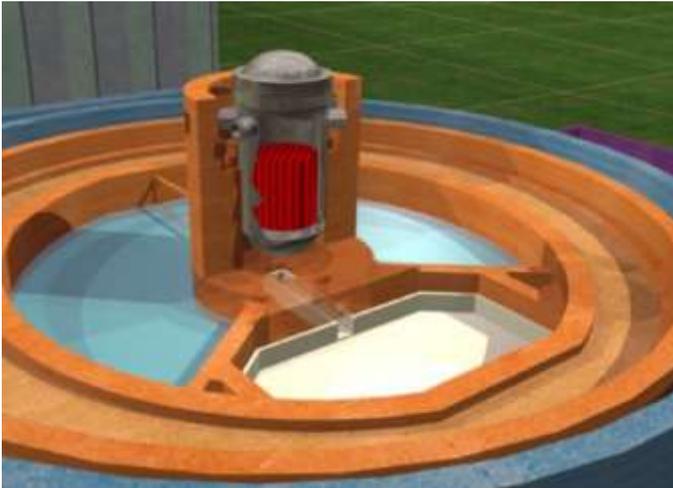


Figura 3

Anche in tale remotissima ipotesi, l'impianto prevede un sistema di raccolta (*core catcher*) del combustibile nucleare fuso (*corium*) per il suo confinamento e raffreddamento<sup>(2)</sup>, realizzato in metallo e ricoperto da calcestruzzo 'sacrificale' (la Figura 3 mostra il deposito di acqua e area di ritenzione del *corium* all'interno del contenimento[2]). L'obiettivo della vasta area di spargimento (170 m<sup>2</sup>) è quello di promuovere il raffreddamento del *corium*. Il trasferimento di quest'ultimo dal reattore all'area di spargimento avrebbe inizio con un dispositivo passivo: la fusione di un 'tappo' di acciaio. Dopo lo spargimento si avrebbe l'affogamento con acqua con dispositivi passivi (per gravità): tale sistema porterebbe alla stabilizzazione del *corium* entro poche ore ed alla sua completa solidificazione entro pochi giorni.



Figura 4

Tutto l'impianto è poggato su un basamento di calcestruzzo di 6 metri di spessore (in grado di far fronte anche ai peggiori scenari sismici), mentre la parte superiore (che protegge l'edificio del reattore, del combustibile irraggiato<sup>(3)</sup>, la sala controllo, e due degli edifici di sicurezza) è costituita da due pareti, una (interna) di cemento precompresso, ed una (esterna) di cemento armato, entrambe dello spessore di 1,3 metri, per un totale di 2,6 metri di schermo di cemento (la Figura 4 mostra il contenitore di sicurezza del reattore [2]).

Ulteriori aspetti di sicurezza del reattore EPR riguardano:

- Le azioni di protezione e salvaguardia dell'impianto in caso di incidente sono automatizzate. Non viene richiesta alcuna azione dell'operatore prima di 30 minuti;
- Nell'eventualità di incidente severo, per prevenire la perdita di integrità del contenimento nel lungo periodo, è necessario prevedere opportuni mezzi che limitino l'aumento di pressione a causa del calore di decadimento. A tale fine sono dedicati una sistema duale di spray con relativo scambiatore e pozzo di calore (la Figura 5 mostra i sistemi di sicurezza del reattore EPR);
- Il guscio interno è progettato per resistere alla pressione che potrebbe generarsi in seguito alla combustione dell'idrogeno generato, in caso di incidente, dalla reazione fra la lega di zirconio e l'acqua. Inoltre i dispositivi ricombinatori (che 'bruciano' l'idrogeno gradualmente) ne mantengono la concentrazione sempre al di sotto del 10 %, scongiurando in questo modo ogni pericolo di detonazione (tale gas è esplosivo in un range di concentrazioni[3] comprese fra il 15 ed il 59 %);
- In caso (vale la pena di ripeterlo: remotissimo) di meltdown, rimane come ulteriore barriera il contenimento. Vengono quindi prese opportune misure per mantenerlo integro e a tenuta:
  - 1- un liner metallico interno da 6 mm che ricopre il guscio interno di calcestruzzo armato;
  - 2 - le penetrazioni nel contenimento sono equipaggiate con valvole di isolamento ridondanti e dispositivi di recupero delle perdite;
  - 3 - l'intercapedine fra i due gusci è mantenuta in leggera depressione per consentire il recupero di eventuali perdite;
  - 4 - sono previsti opportuni sistemi di ventilazione e filtraggio.

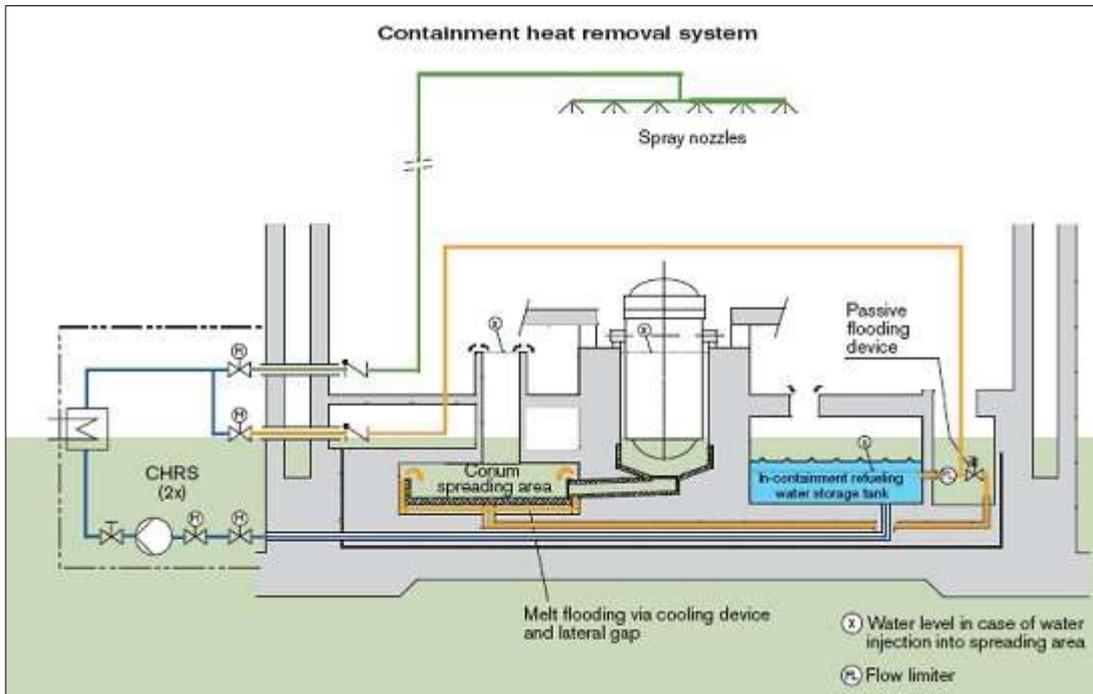


Figura 5

A scopo informativo vale la pena di ricordare che si prevede che l'impianto EPR di Olkiluoto cominci ad essere commercialmente operativo nel 2010 (la Figura 6 mostra la rappresentazione del sito di Olkiluoto a completamento dei lavori di realizzazione dell'impianto EPR).



Figura 6

#### NOTE

(1) Il core, o nocciolo, del reattore nucleare è l'alloggiamento del combustibile nucleare dove avvengono le reazioni nucleari e quindi la produzione di energia; necessita quindi di refrigerazione anche dopo lo 'spegnimento' del reattore.

(2) *Bisogna sfatare alcuni miti in merito alle conseguenze del meltdown. In un film del 1979 di James Bridges dal titolo 'Sindrome cinese' (The China Syndrome), con Jane Fonda, Jack Lemmon e Michael Douglas, si sostiene che se l'uranio rimane 'scoperto' "...fonde attraverso la base della centrale, in teoria arrivando fino alla Cina (!), ma naturalmente, appena incontra una falda d'acqua sotterranea esplose nell'atmosfera creando nuvole radioattive...rendendo un'area come la Pennsylvania permanentemente inabitabile, per non parlare dei casi di cancro che si avrebbero in seguito". Naturalmente tali affermazioni sono completamente assurde e del tutto prive di qualsiasi fondamento scientifico:*

- *se anche un corpo attraversasse tutto il pianeta per fuoriuscire dalla parte opposta, partendo dagli USA – che si trovano nell'emisfero nord -, giungerebbe nell'Oceano Indiano, vicino alle coste australiane – che si trovano nell'emisfero sud, e non certo in Cina;*
- *giunto al centro della Terra qualunque oggetto si fermerebbe, perché banalmente lì la forza di gravità sarebbe pari a zero;*
- *ci si dimentica che il sottosuolo terrestre è una grande fornace nucleare: infatti solo 100 km (mediamente) su 6.000 km – ossia una 'pellicola' – è costituita dalla crosta terrestre. Il sottosuolo è costituito in gran parte da roccia fusa per le altissime temperature, legate per l'80 % al decadimento radioattivo dei minerali (a base di uranio, torio, ecc.) presenti. È ovvio quindi che anche se il nocciolo fuso giungesse in tale zona vi si 'diluirebbe';*
- *in realtà il corium potrebbe al massimo scavare qualche decina di metri nel terreno, poi incontrerebbe una falda d'acqua. L'acqua tenderebbe a raffreddare la massa fusa (nella quale intanto la reazione a catena si sarebbe completamente spenta, a causa dell'accumulo dei veleni, della geometria non ottimale, ecc.). Difficile credere ad un'esplosione improvvisa e catastrofica: il nocciolo del reattore infatti, in condizioni ottimizzate per la produzione di energia, si trova immerso in acqua nel normale funzionamento!*

(3) *Ossia quel combustibile che, dopo aver soggiornato all'interno del reattore ed aver erogato energia (in misura pari al burnup), viene estratto e posto nelle piscine di decadimento a raffreddarsi fino allo smaltimento definitivo (riprocessamento o smaltimento in siti geologicamente stabili). È costituito in massima parte da uranio (circa il 95 %), ma anche da prodotti di fissione (3-4 %), plutonio (1 % circa), ed attinidi minori (circa 0,1 %).*

## BIBLIOGRAFIA

- [1] V. Romanello, G. Lomonaco, N. Cerullo – “La Sistemazione in Sicurezza delle Scorie Nucleari” – 21<sup>mo</sup> Secolo, n. 3 Luglio 2005 –  
<http://www2.ing.unipi.it/~d0728/GCIR/La%20sistemazione%20in%20sicurezza%20delle%20scorie%20nucleari.pdf>
- [2] <http://www.aveva-np.com/scripts/info/publigen/content/templates/show.asp?P=1655&L=US>
- [3] G. Lomonaco – “Problematiche di sicurezza nella produzione di idrogeno mediante impianti HTR” – Tesi di Laurea in Ingegneria della Sicurezza Industriale e Nucleare – Relatori: Prof. M. N. Carcassi, Prof. N. Cerullo –  
<http://www.tesionline.it/default/tesi.asp?id=10361>