

Stoccaggio e trasporto del combustibile nucleare irraggiato: problematiche e criteri di sicurezza

Prof. G. Forasassi – Università degli Studi di Pisa

Ing. A. Orsini – ENEA Casaccia

Ing. F. Troiani – ENEA Saluggia

1 - Premessa

La produzione dell'energia elettrica con i reattori nucleari comporta la produzione di combustibile nucleare irraggiato nel quale è contenuta la quasi totalità dei materiali radioattivi più pericolosi presenti in un impianto nucleare. Pertanto è necessario garantire l'isolamento di tali materiali nella biosfera per tempi estremamente lunghi, anche se sia il riprocessamento che la trasmutazione possono rimandare o risolvere praticamente i problemi e le difficoltà connessi con il loro confinamento. In molti paesi è stata adottata la decisione di stoccare il combustibile irraggiato in strutture ingegneristiche in attesa del trasferimento definitivo in un idoneo sito geologico.

In Italia si è seguita la via del riprocessamento per molti anni, sia con esperienze dirette negli impianti ENEA sia inviando il combustibile essenzialmente alla BNFL (UK), verso cui sono tuttora in corso di spedizione gli ultimi elementi di combustibile della Centrale del Garigliano. Il resto del combustibile irraggiato ancora presente nelle Centrali nazionali verrà stoccato negli stessi siti nucleari in attesa delle decisioni in merito ed alla realizzazione (eventuale) del deposito definitivo più sopra citato.

Per garantire uno stoccaggio sicuro e mantenere comunque la possibilità di trasportare il combustibile secondo le norme nazionali ed internazionali vigenti, sono stati stabiliti dei criteri di sicurezza che verranno esaminati in dettaglio nel presente documento.

Va comunque precisato che in questo esame la nuova legge 368/2003⁽¹⁾, non è stata presa in considerazione per ovvi motivi temporali, anche se potrebbe avere un sensibile impatto sui criteri di sicurezza suddetti, dato che essa prevede la localizzazione e la costruzione del citato deposito definitivo in tempi relativamente ridotti.

2 - Attuale situazione nazionale del combustibile irraggiato

Il combustibile irraggiato attualmente presente in Italia rappresenta una quantità estremamente modesta se paragonata ai quantitativi prodotti negli altri paesi produttori di energia elettrica da fonte nucleare. Tra l'altro tutto il combustibile dell'impianto di Latina è già stato inviato al riprocessamento, come pure è avvenuto per parte del combustibile dell'impianto del Garigliano. Ad oggi la situazione può essere riassunta come indicato in sintesi nella tabella seguente:

Centri/Strutture di deposito provvisorio	Reattore di provenienza del combustibile	Quantità [tnM]	N° ELEMENTI	Numero contenitori / Destinazione
Saluggia (EUREX)	Trino	1.953	52	1 / Stoccaggio a secco-Riprocessamento.
Saluggia (EUREX)	Garigliano	0.063	1	1 / “ “
Trisaia (ITREC)	Elk River	1.680	64	1 / “ “
Casaccia (OPEC-1)	Campioni misti	0.116	(spezzoni)	1 / “ “
Caorso	Caorso	190.4	1032	20 / “ “
Trino	Trino	14.5	47	3 / “ “
Avogadro	Trino	15.1	49	3 / “ “
Avogadro	Garigliano	12.9	63	4 / “ “
Avogadro	Garigliano	53.5	259	Riprocessamento (in corso d'invio a BNFL-UK)

Il numero totale dei contenitori per stoccaggio (ed eventualmente trasporto) necessari per tutto il combustibile irraggiato italiano è molto contenuto e pertanto, anche a causa delle difficoltà riscontrate per la costruzione di nuovi depositi nucleari, ne è previsto il trasferimento dalle piscine nei contenitori suddetti e l'immagazzinamento nello stesso sito.

3 - Criteri di progetto

I criteri di progetto per gli impianti ed i contenitori per lo stoccaggio ed il trasporto del combustibile irraggiato riguardano fundamentalmente le caratteristiche strutturali, funzionali e di sicurezza dei contenitori impiegati e relativamente in misura minore l'ambiente circostante: in molti paesi tali contenitori sono posizionati in aree aperte delle centrali, in prossimità della recinzione e lontano dalle zone frequentate dagli operatori dell'impianto nucleare.

Gli scopi che si vogliono raggiungere con i criteri suddetti sono essenzialmente:

- 1) garantire la sotto-criticità dei singoli contenitori e di tutto l'impianto di stoccaggio,
- 2) assicurare il contenimento e la schermatura delle materie radioattive,
- 3) assicurare la rimozione del calore di decadimento e la protezione da eventi esterni,
- 4) consentire la ricuperabilità del combustibile.

Sulla base dell'esperienza dell'ENEA, a fronte anche di quella della SOGIN e tenendo conto del Rapporto Tecnico dell'APAT e delle esperienze internazionali, sono stati individuati i principali criteri di progetto indicati in quanto segue.

3.1 - Criteri per l'impianto di stoccaggio: condizioni di progetto

Condizioni di progetto I - Eventi normali

Le condizioni di progetto I consistono in quella serie d'eventi che si prevede avranno luogo regolarmente o frequentemente nel corso del normale esercizio dell'installazione. Esempi sono i seguenti:

- ricevimento del contenitore nell'edificio del combustibile e nell'edificio di custodia
- movimentazione del contenitore pieno d'acqua all'interno della piscina del combustibile
- trasferimento del contenitore, suo ribaltamento e posizionamento verticale nell'area di stoccaggio
- stoccaggio del contenitore in posizione orizzontale per un periodo limitato.

In tali condizioni l'impatto ambientale è estremamente ridotto. Non può aver luogo alcun rilascio liquido o gassoso, mentre la radiazione diretta può essere significativa soltanto sul sito dell'impianto.

Il limite di progetto corrisponde ad una dose annuale lungo tutti i percorsi inferiore a 0,01 mSv/evento ad un individuo a 100 m di distanza dal contenitore.

Condizioni di progetto II - Eventi non-normali

Le condizioni di progetto II consistono in quella serie d'eventi prevedibili che, per quanto non avvengano regolarmente, si può prevedere che avvengano con una frequenza moderata (o nell'ordine di una volta l'anno durante l'operazione dell'impianto). Esempi sono i seguenti:

- mancanza di corrente elettrica per un intervallo di tempo esteso;
- errore di un operatore singolo seguito da opportuna azione correttiva;
- avaria meccanica secondaria dell'apparecchiatura di movimentazione del contenitore;
- mancata esecuzione della specifica funzione da parte di un qualsiasi componente attivo singolo;
- operazione spuria di alcuni componenti attivi.

Il limite di dose previsto per tali condizioni è pari a 1 mSv/evento .

Inoltre come obiettivo di progetto, ciascun evento non-normale non deve causare dosi superiori ai limiti specificati per le condizioni normali (0,01 mSv/evento ad un individuo a 100 m di distanza dal contenitore).

Condizioni di progetto III - Eventi incidentali

Le condizioni di progetto III corrispondono ad serie di eventi ipotetici le cui conseguenze potrebbero comportare un massimo impatto potenziale sull'ambiente immediatamente circostante al deposito. Tali condizioni costituiscono quindi una base di progetto conservativa per alcuni sistemi importanti per la sicurezza. Esempi caratteristici di tali eventi sono i seguenti:

- malfunzionamento meccanico primario dell'apparecchiature per la movimentazione del contenitore;
- caduta del contenitore;
- ribaltamento del contenitore;
- collasso dell'edificio di custodia, incluso il seppellimento del contenitore;
- terremoto base di progetto;
- ciclone o vento base di progetto;

- inondazione;
- fulmini (fenomeno naturale);
- incendio durante lo stoccaggio;
- blocco delle bocche d'ingresso della ventilazione;
- errato caricamento di un elemento di combustibile.

Inoltre, nella stessa categoria in esame sono compresi eventi che storicamente non hanno fatto parte dell'evento base di progetto per installazioni nucleari. Essi sono stati trattati su basi più realistiche e legate alla migliore stima, per cui per essi sono stati ritenuti accettabili margini di progetto più ridotti. Questi ultimi eventi includono i seguenti "eventi speciali":

- caduta di aereo base di progetto
- onda di pressione base di progetto.

In tali condizioni incidentali, la dose limite ammessa è pari a 10 mSv/evento per un individuo a 100 m di distanza dal contenitore, senza tenere conto delle capacità schermanti dell'edificio di custodia.

Tuttavia il progettista dovrà considerare l'obiettivo di limitare, ove possibile, la dose a 5 mSv/evento nella medesime condizioni.

Per gli "eventi speciali" sopra menzionati, deviazioni dagli obiettivi previsti potrebbero essere giustificate a causa della natura estrema di questi eventi generalmente non inclusi nelle basi di progetto.

3.2 – Criteri per il contenitore per lo stoccaggio: basi e requisiti di progetto

3.2.1 Criteri generali

Il contenitore deve essere progettato per costituire la barriera di contenimento primaria delle materie immagazzinate, per mantenere l'efficienza di tale barriera e per fornire barriere addizionali contro il rilascio potenziale di radioattività (in forma gassosa o solida, incluso il "crud") all'ambiente.

La vita del contenitore e di qualsiasi componente, che svolga una funzione di sicurezza e che non possa essere sostituito senza perdita di una barriera di sicurezza, deve essere prevista di almeno 50 anni.

In linea di principio, al termine di questo periodo, il contenitore dovrà poter ricevere la licenza per il trasporto secondo le norme AIEA TS-R-1⁽²⁾, senza importanti modifiche ed in particolare senza diretta manipolazione degli elementi di combustibile.

3.2.2 Basi di progetto

3.2.2.1 Requisiti strutturali generali

Il progetto strutturale del contenitore sarà tale da escludere le seguenti conseguenze in qualsiasi situazione credibile, quali quelle descritte nelle sezioni relative alle basi di progetto:

- criticità
- rilascio significativo di materiale radioattivo
- livelli di radiazione inaccettabili
- impedimento al recupero del combustibile.

Il progetto strutturale, la fabbricazione, le prove del sistema di contenimento e del suo sistema di tenuta di riserva soddisferà un codice od una standard accettabile, quale la Sezione III dell'ASME B & P Vessels.

Il progetto delle apparecchiature di sollevamento e delle attrezzature per i componenti del sistema di sollevamento importanti per la sicurezza devono soddisfare lo Standard ANSI N14.6 o altro equivalente.

Per altre strutture e componenti di acciaio i codici e standard principali comprenderanno i seguenti codici od altri codici equivalenti:

- American Institute of Steel Construction (AISC), "Specification for structural steel buildings. Allowable stress design and plastic design"
- AISC, "Load and resistance factor design specification for structural steel buildings"
- American Welding Society, "Structural steel welding code" AWS D1.1

Il progettista del contenitore dovrà verificare che il contenitore non si ribalti o cada nelle condizioni di stoccaggio in conseguenza di un evento credibile dovuto a un fenomeni naturali (ved. anche quanto segue).

Tuttavia un caduta od un ribaltamento sono sempre valutati come una condizione limite durante le operazioni di movimentazione.

3.2.2.2 Condizioni normali e non normali di carico

In tali condizioni, derivanti dagli eventi delle corrispondenti condizione di progetto per l'impianto, il contenitore non subirà alcuna deformazione permanente

3.2.2.3 Condizioni di carico incidentali

Carichi incidentali sono quelli che risultano dagli eventi delle condizioni di progetto III riportati precedentemente ed in particolare saranno considerate nel progetto:

3.2.2.3.1 Caduta e ribaltamento del contenitore

Verranno prese in considerazione tutte le possibili condizioni di caduta tenendo conto della massima altezza a cui il contenitore viene sollevato durante le operazioni di trasferimento. Il progetto del contenitore consentirà una caduta libera da 2,5 m senza assorbitori d'urto o strutture deformabili, su di una superficie ricevente relativamente cedevole (rispetto al contenitore stesso), quale una piastra di calcestruzzo.

3.2.2.3.2 Incendio

Il progettista del contenitore terrà conto di tutte le considerazioni strutturali connesse all'incendio che si può sviluppare con 10 t di cherosene.

3.2.2.3.3 Inondazione

La possibilità di un'inondazione del contenitore è evitata per mezzo della scelta della localizzazione e del progetto dell'area di immagazzinamento per cui, ad esempio, la piastra/basamento su cui poggia il contenitore deve essere posta ad un livello superiore di quello massimo della possibile inondazione dell'area.

3.2.2.3.4 Ciclone e venti estremi

Ribaltamento e spostamento provocati da tali fenomeni naturali saranno evitati sia durante l'immagazzinamento sia durante il trasferimento (mentre il ribaltamento resta un evento base di progetto).

Dovrà essere considerata la possibilità di missili trasportati dal vento ed il parziale crollo dell'edificio (in particolare del soffitto dell'edificio) per:

Condizioni base di progetto per il vento:	Ciclone base di progetto:
- velocità del vento nominale: 43 m/s	- massima velocità di traslazione: 73 m/s
- velocità del vento estrema: 60 m/s	- velocità di traslazione: 24 m/s
	- massima velocità rotazionale: 54,5 m/s
	- raggio alla massima velocità rotazionale: 45 m.

3.2.2.3.5 Terremoto

I sistemi contenitore saranno progettati per resistere ad una serie di movimenti vibratorii del terreno, che nell'insieme definiscono il Design Basis Earthquake (DBE o terremoto base di progetto). L'accelerazione orizzontale in campo libero a periodo zero a livello del suolo del suddetto DBE è fissata a 0,25 g ed è associata con lo spettro di risposta del suolo indicato in figura 1

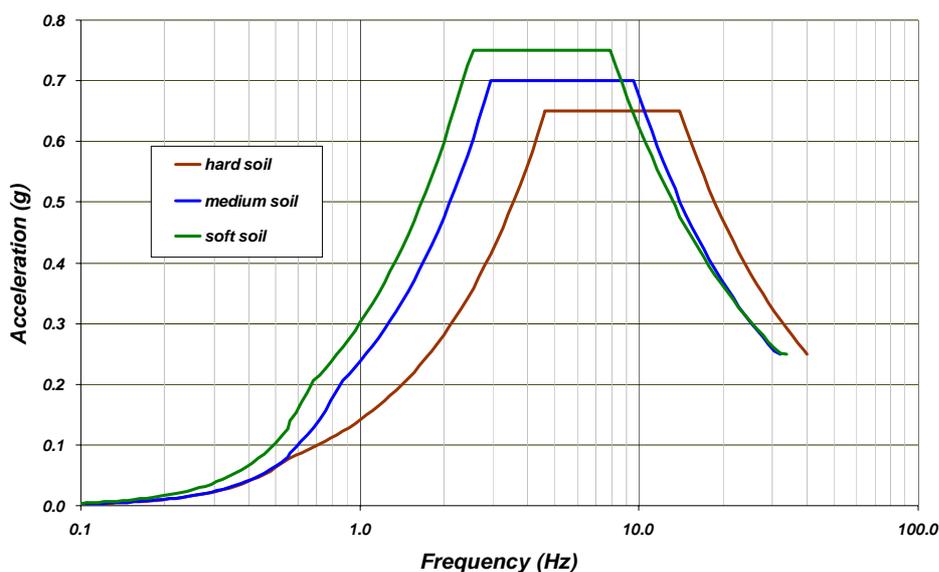


Fig. 1 - Spettro di risposta del movimento del suolo

Non dovranno essere possibili cadute o ribaltamento del contenitore a seguito di un DBE del tipo indicato. Inoltre le funzioni di sicurezza dovranno essere assicurate anche assumendo il collasso totale dell'edificio di immagazzinamento e delle relative attrezzature (o parti di esse) sul contenitore. Come per la caduta di aereo, anche per gli eventi sismici dovranno essere considerate le conseguenze del seppellimento del contenitore dovuto al crollo dell'edificio suddetto. Nelle condizioni citate è considerata accettabile la riparazione dei componenti danneggiati, purché l'operazione non richieda la manipolazione diretta del combustibile.

3.2.2.3.6 Onda d'urto

Sovrapressioni causate da esplosioni e onde di pressioni riflesse possono risultare da incidenti associati con esplosivi e materiale chimico trasportati per ferrovia o su strada, tubazioni di gas metano, incendi di veicoli usati per il trasferimento del contenitore. Esplosioni possono risultare dalla detonazione di una miscela aria-combustibile gassoso.

Ai fini del progetto del contenitore in tali condizioni deve essere presa in considerazione un'onda di pressione con l'andamento di cui alla figura 2 .

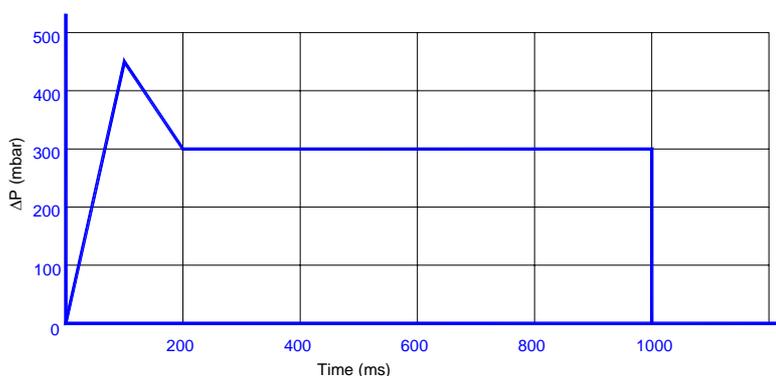


Fig. 2 - Onda di pressione di progetto

Durante i primi 200 ms, si deve assumere che l'onda di pressione colpisca il contenitore provenendo da una sola direzione, mentre dopo 200 ms si deve assumere una distribuzione uniforme della pressione intorno al contenitore stesso.

Si deve dimostrare che il contenitore non si ribalta quando viene colpito dall'onda di pressione di progetto (da qualsiasi direzione). Se necessario il contenitore dovrà essere ancorato alla piastra/basamento su cui è previsto che sia posizionato.

3.2.2.3.7 Caduta di aereo

Gli effetti locali sul contenitore della caduta di un aereo dovranno valutati assumendo come impatto diretto più penalizzante quello caratterizzato come segue:

- tipo di aereo: aereo militare
- massa: 20000 kg
- velocità di impatto: 215 m/s (774 km/h)
- angolo di impatto: perpendicolare alla superficie di impatto
- diametro equivalente: 2,99 m.

Come riferimento, un impatto di questo tipo su un muro solido di calcestruzzo produrrebbe la funzione di carico riportata in fig. 3, assumendo un'area di impatto di 7 m².

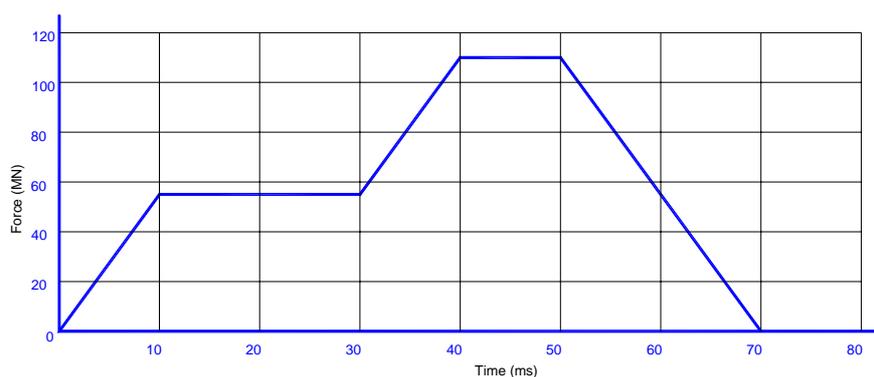


Fig. 3 - Funzione di carico per caduta di aereo

In queste condizioni dovranno essere conservate tutte le funzioni di sicurezza, anche assumendo il completo collasso dell'edificio di ricovero sul contenitore. La riparazione dei componenti danneggiati può essere considerato accettabile purché l'operazione non richieda la manipolazione diretta degli elementi di combustibile.

3.2.3 Requisiti di progetto

3.2.3.1 Combustibile irraggiato

Una banca dati contenete le caratteristiche dettagliate di ciascun elemento di combustibile dovrà essere fornita al progettista del contenitore. Qualora venga rilevato un grosso difetto nelle guaine di un singolo elemento di combustibile quest'ultimo dovrà essere posto in una custodia chiusa ma non stagna (bottiglia) al fine di contenere qualsiasi dispersione significativa di frammenti di combustibile, peraltro senza rischio di pressurizzazione della custodia stessa.

3.2.3.2 Analisi termiche

Il progetto del contenitore, avendo considerato le condizioni specifiche dell'area di stoccaggio, dovrà soddisfare alcuni seguenti criteri di accettazione fra cui, nel caso di guaine in Zyrcoaloy e combustibile ad ossido, i limiti di temperatura (riferiti a combustibile con un decadimento superiore a 10 anni) che dovranno essere inferiori a 340 °C, in condizioni normali, ed a 570 °C in condizioni accidentali per un breve periodo di tempo. Gli stessi limiti sono ritenuti accettabili per altri tipi di combustibile.

3.2.3.3 Contenimento

Il progetto del contenitore dovrà assicurare che il sistema di contenimento limiti i rilasci entro i valori previsti richiesti e che le guaine e gli elementi del combustibile siano sufficientemente protetti da fenomeni di degradazione.

In proposito i seguenti criteri generali di progetto devono essere applicati:

- Il progetto del contenitore deve assicurare una tenuta ridondante e, per quanto possibile, indipendente al sistema di contenimento. Tipicamente questo significa che le chiusure del sistema di contenimento avranno una doppia tenuta con guarnizioni metalliche, ciascuna delle quali deve essere verificabile dopo la chiusura;
- L'analisi delle perdite sarà congruente con uno standard riconosciuto internazionalmente, quale lo ANSI N14.5;
- Almeno la barriera di contenimento interna dovrà poter essere mantenuta in efficienza anche in caso di incidente base di progetto;
- Il tasso di perdita massimo, misurato ad 1 bar e 293 °K, dovrà essere inferiore o uguale a 10^{-7} mbar x l/s per ciascuna tenuta.

Il volume tra le due tenute previste deve essere pressurizzato, per evitare le fughe di materiale radioattivo dal contenitore; il monitoraggio continuo di tale volume, a cui non è richiesto di rimanere funzionale durante un evento incidentale, dovrà poter essere recuperato a breve termine dopo l'incidente.

3.2.3.4 Sottocriticità

Il combustibile irraggiato dovrà rimanere sottocritico nelle condizioni normali, non-normali e di incidente relative alla movimentazione, il caricamento, il trasferimento e l'immagazzinamento.

Il progetto del contenitore dovrà garantire il rispetto dei seguenti criteri di accettazione:

- Il fattore di moltiplicazione (Keff), inclusi tutti i condizionamenti e le incertezze ad un livello di confidenza del 95%, non dovrà superare il valore di 0,95 in tutte le condizioni credibili.

Il suddetto valore del livello di confidenza richiesto per il fattore di moltiplicazione Keff può anche essere espresso come: $K_{eff} + 3 \sigma < 0,95$.

- Almeno due improbabili, indipendenti, concomitanti o successivi cambiamenti alle condizioni essenziali per la sicurezza relativa alla criticità dovrebbero accadere prima che si ritenga possibile una criticità accidentale.
- Quando possibile in pratica, la sicurezza relativa alla criticità del progetto dovrebbe essere stabilita in base ad una geometria favorevole e/o all'impiego di assorbenti neutronici permanenti e fissi (veleni). Ove si usino materiali solidi in funzione di assorbenti di neutroni, si dovrà dimostrare il mantenimento della loro continua efficacia durante il periodo di immagazzinamento.
- Ai fini della valutazione del livello di sicurezza relativo alla criticità del sistema del contenitore dovranno essere considerate condizioni ottimali di riflessione.
- Ai fini suddetti non dovranno essere considerati gli effetti del bruciamento del combustibile.

3.2.3.5 Protezione dalle radiazioni e schermaggio

La sorgente di radiazioni di riferimento è identificata sulla base dell'inventario dei singoli elementi. Maggiore attenzione verrà dedicata alle energie gamma nel campo da 0,8 a 2,5 MeV.

A) Intensità di dose

Il valore massimo ammissibile dell'intensità di dose a contatto con il contenitore (neutroni + gamma) sulle superfici laterali dovrà essere $< 0,5$ mSv/h.

Il valore massimo ammissibile dell'intensità di dose a 2 m di distanza dovrà essere $< 0,1$ mSv/h.

In condizioni di incidente il valore massimo ammissibile dell'intensità di dose ad 1 m dal contenitore dovrà essere < 10 mSv/h.

Alle pareti dell'edificio, tenuto conto anche dell'attenuazione dovuta alle pareti di calcestruzzo, lontano dalle aperture per l'aereazione, il valore massimo ammissibile dell'intensità di dose dovrà essere $< 0,4$ mSv/h.

Inoltre il flusso neutronico totale alle pareti ed al soffitto dell'edificio (lontano dalle aperture per l'aereazione) non dovrà superare $1 \text{ n/cm}^2 \times \text{s}$, considerando le caratteristiche del soffitto esistente.

B) Dosi a lavoratori singoli

Per i lavoratori singoli l'obiettivo di dose deve essere < 5 mSv/y, tenendo conto delle operazioni relative al caricamento, alla movimentazione, alla preparazione per l'immagazzinamento ed alla manutenzione.

3.2.3.6 Decontaminazione del contenitore e recuperabilità del combustibile

Il progetto del contenitore dovrà assicurare la semplice e completa decontaminazione della superficie esterna e la recuperabilità del combustibile. Al fine di assicurare un ambiente compatibile all'immagazzinamento a lungo termine del combustibile e degli altri componenti, un gas inerte di riempimento deve essere introdotto nel contenitore e deve essere possibile dimostrare che tale atmosfera verrà mantenuta per l'intera vita del contenitore.

3.3 - Requisiti di progetto del contenitore per il trasporto

Il progetto del contenitore dovrà assicurare il mantenimento dei requisiti stabiliti dalle norme IAEA TS-R-1 per i colli di Tipo B(U)F. Tale regolamento, che diviene cogente in Italia attraverso l'ADR⁽⁴⁾, garantisce un livello di sicurezza molto elevato nel trasporto e ad esso si rimanda per i requisiti relativi richiesti.

Si ricorda soltanto che tale regolamento IAEA prevede una certificazione specifica e severe prove per la simulazione delle condizioni di incidente, che devono essere considerate ai fini del progetto del contenitore, fra cui una caduta da 1 m di altezza su punzone, una caduta da 9 m su piattaforma indeformabile e l'esposizione ad un incendio di 30 min di durata con temperatura di 800°C.

A titolo di esempio nella Fig. 4 è mostrato in sezione un noto contenitore per stoccaggio e trasporto nella versione per 84 elementi per reattori tipo VVER.

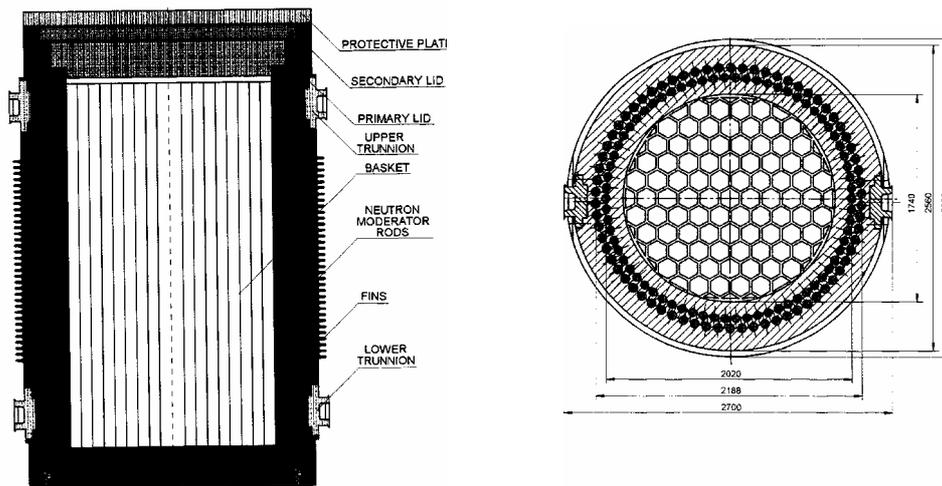


Fig. 4 Contenitore per stoccaggio/trasporto di elementi di combustibile irradiato (Castor 440/84 M ⁽⁵⁾)

4 - Funzionalità dell'impianto di stoccaggio

4.1 Funzioni e principali caratteristiche

La funzione primaria dell'impianto di stoccaggio è l'immagazzinamento temporaneo, protettivo e custodito del combustibile irradiato contenuto nei contenitori a tal fine impiegati.

- L'impianto di stoccaggio dovrà mantenere i materiali in un ambiente asciutto in condizioni tali da garantire l'integrità iniziale dei materiali.
- Lo scarico termico finale per la dissipazione del calore di decadimento sarà la biosfera ed il trasferimento del calore stesso avrà luogo mediante meccanismi naturali (irraggiamento, convezione e conduzione). L'edificio dovrà essere provvisto delle necessarie aperture per assicurare il flusso d'aria per il raffreddamento passivo del contenitore e lo scambio termico con l'esterno.
- Dovrà essere attuato il monitoraggio continuo delle chiusure dei contenitori per mezzo di sistemi di controllo attivo ed allarme al fine di dimostrare adeguatamente che le tenute sono efficienti ed in grado di mantenere un'atmosfera d'elio nel contenitore nonché di consentire all'operante di prendere in tempo adeguate misure correttive per mantenere condizioni d'immagazzinamento sicure. Il sistema di monitoraggio dovrà consentire il controllo del livello di pressione nel volume compreso tra le tenute (ridondanti) previste, volume che deve essere pressurizzato, come già accennato, con un gas inerte ad una pressione superiore a quella dell'interno del contenitore e dell'atmosfera.
- Il progetto dell'impianto di stoccaggio dovrà tenere conto del sistema di salvaguardia IAEA, il cui obiettivo è la tempestiva individuazione della diversione di quantità significative di materiali nucleari.

4.2 Lay-out

- L'edificio di stoccaggio dovrà comprendere un'area per ricevere e spedire i contenitori, un'area di preparazione dei contenitori, l'area di stoccaggio vera e propria ed un'area per il controllo ed i servizi.
- Alla porta d'ingresso dell'edificio dovrà essere installato un sistema per i controlli di fisica sanitaria onde consentire l'ingresso nell'edificio dei lavoratori solo secondo procedure stabilite e con le dovute precauzioni.
- La piastra/basamento di appoggio dei contenitori dovrà essere piatta e livellata e, se necessario, dovrà essere possibile provvedere ad ancorare il contenitore al suolo.

5 - Conclusioni

I criteri di progetto stabiliti per lo stoccaggio del combustibile irradiato nucleare sono chiaramente notevolmente restrittivi se paragonati con quanto previsto per qualsiasi altro materiale pericoloso come gli esplosivi, i materiali infiammabili, quelli tossici, corrosivi ed infettivi. Nonostante ciò la sistemazione a deposito provvisorio o definitivo del combustibile nucleare incontra sempre notevoli difficoltà dovute alla diffidenza delle popolazioni interessate alle aree vicine al deposito stesso. Questa diffidenza è dovuta

principalmente ad una scarsa informazione ed alla mancanza di una precisa volontà nell'affrontare in modo organico ed esaustivo tali problemi.

Sicuramente almeno lo spostamento del combustibile irraggiato dalle attuali sistemazioni in piscine a contenitori di trasporto/stoccaggio, sistemati in impianti provvisori e dedicati, ad esempio, all'interno delle stesse centrali nucleari, rappresenta un miglioramento della sicurezza degli impianti in dismissione. Tale operazione, ancorché non strettamente indispensabile al momento attuale, dovrebbe essere realizzata in tempi ragionevolmente brevi, per poter poi avviare lo smantellamento degli impianti suddetti.

Va infine precisato che la recente legge 368 potrebbe accelerare tutto il processo necessario allo smaltimento definitivo degli elementi di combustibile irraggiato, anche se al momento della preparazione del presente documento, mancano informazioni precise su quale ne sarà l'evoluzione applicativa.

Bibliografia

- 1 Legge 368 del 24/12/2003 pubblicata sulla G.U. del 9 gennaio 2004
- 2 TS-R-1 (ST-1, Revised) IAEA Safety Standards Series - Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - 1996 Edition (Revised)
- 3 ANSI N14.5 - ANS for Leakage Tests on Packages for Shipment of Radioactive Materials
- 4 Accordo Europeo per il Trasporto di Merci Pericolose su strada
- 5 IAEA TC/W on Dry Spent Fuel Storage Technology