

# La tenuta per un contenitore di trasporto per soluzioni di plutonio

**ing. R. Bove - ing. A. Orsini - dott. B. Rapone – ENEA –Ente per le Nuove Tecnologie, l’Energia e l’Ambiente**

## **Introduzione**

Nel trasporto delle materie radioattive il contenitore rappresenta l’elemento più rilevante ai fini della sicurezza e radioprotezione dei lavoratori e della popolazione in quanto deve essere in grado di assicurare lo schermaggio delle radiazioni, lo smaltimento del calore di decadimento, il mantenimento delle condizioni di sottocriticità dei materiali fissili e l’assenza di contaminazione nell’ambiente esterno.

Questo documento è dedicato specificatamente all’analisi delle condizioni relative all’assenza di contaminazione esterna e quindi in particolare si riferisce al sistema di tenuta globale.

La normativa di trasporto (Accordo europeo sul trasporto internazionale di merci pericolose su strada - ADR) richiede la “tenuta” (termine comune privo di un rigoroso significato scientifico) per le sorgenti radioattive con attività inferiore ad A2, mentre per quelle più grandi stabilisce un rilascio di materie radioattive basato su uno scenario di riferimento estremamente cautelativo ai fini della sicurezza, la cui validità viene verificata in continuazione nel tempo.

I limiti di rilascio stabiliti dalla normativa riguardano sia le condizioni normali sia incidentali, definite da una serie di test meccanici e termici e sono espresse in termini di radioattività legata alla natura del materiale radioattivo.

Il contenitore utilizzato dall’ENEA per il trasporto di soluzioni nitriche di plutonio è costituito da due sistemi di tenuta simili indipendenti, realizzati con due contenitori concentrici, con un rilascio massimo nei limiti fissati per le condizioni normali e pertanto più restrittivo. Nel presente documento si fa riferimento spesso al solo primo sistema di contenimento per semplicità espositiva.

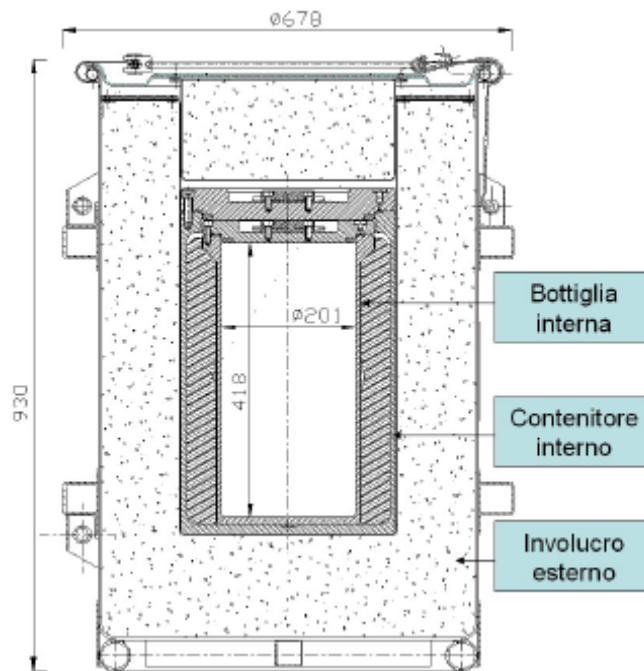
## **Dati di progetto**

Innanzitutto va precisato che per motivi di handling dell’impianto di caricamento e di scaricamento la soluzione liquida di plutonio non viene mai a contatto con le pareti del contenitore in quanto è contenuta in una bottiglia di plastica commerciale con tappo interno liscio ed esterno filettato, a sua volta racchiusa in un doppio sacco di plastica saldato. Tale confezione è sufficiente a garantire la tenuta all’interno dell’impianto ma non nel contenitore durante il viaggio e pertanto, in modo estremamente cautelativo, la soluzione è considerata a contatto con il contenitore.

Il limite di rilascio per un imballaggio di Tipo B(U), il cui contenuto ammesso è limitato soltanto dal certificato d’approvazione, è stabilito in  $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h e la stessa normativa ADR fornisce i valori A2 per i vari radionuclidi che s’intendono trasportare: il valore A2 rappresenta l’attività massima trasportabile per un imballaggio di modeste caratteristiche meccaniche. Nel nostro caso i più importanti erano il plutonio e l’americio come suo naturale derivato. Per passare da un rilascio in termini di radioattività alla perdita in aria convenzionale si è tenuto conto della temperatura del contenitore e della differenza di pressione con l’esterno, tenendo conto della durata del trasporto per eventuale generazione di gas di radiolisi. Essendo il contenuto composto da 5 litri di soluzione a bassa concentrazione di plutonio le condizioni di temperatura massima e di differenza di pressione assunte sono quelle minime stabilite dalla normativa, cioè 70°C (forte insolazione) e 95 kPa (che tiene conto di un eventuale trasporto aereo). Da tali condizioni ed in presenza di liquidi sono state calcolate le

dimensioni dell'eventuale meato e da questo si è poi passati al calcolo della perdita in aria così come indicato dalla norma ANSI N14.5 - 1997 (American National Standard for Radioactive material – Leakage test on packages for shipment). Essendo il valore della perdita ammessa in aria abbastanza elevato ( $10^{-4}$  atm·cm<sup>3</sup>/s), si è deciso di progettare il sistema di contenimento “a tenuta” così come definita nella stessa norma ANSI N14.5, cioè con un tasso di perdita inferiore od uguale a  $1 \times 10^{-7}$  atm·cm<sup>3</sup>/s di aria con un delta di pressione pari ad 100 kPa (da definizione di “leaktight”).

Il criterio di verificare che il sistema di contenimento rimane “a tenuta” è stato fissato pertanto come limite sia dopo le prove di qualificazione prevista dalla normativa sul trasporto sia per il test dopo la fabbricazione, dopo eventuali manutenzioni e/o periodi di tempo stabiliti, ma non per la prova di tenuta prima d'ogni spedizione, in quanto sarebbe difficilissimo da realizzare ed ingiustificato dal punto di vista radioprotezionistico operare in presenza di plutonio. Per la prova di tenuta prima d'ogni spedizione è stato fissato il limite di tenuta calcolato in base alle norme sul trasporto delle materie radioattive ( $1 \times 10^{-4}$  atm·cm<sup>3</sup>/s).

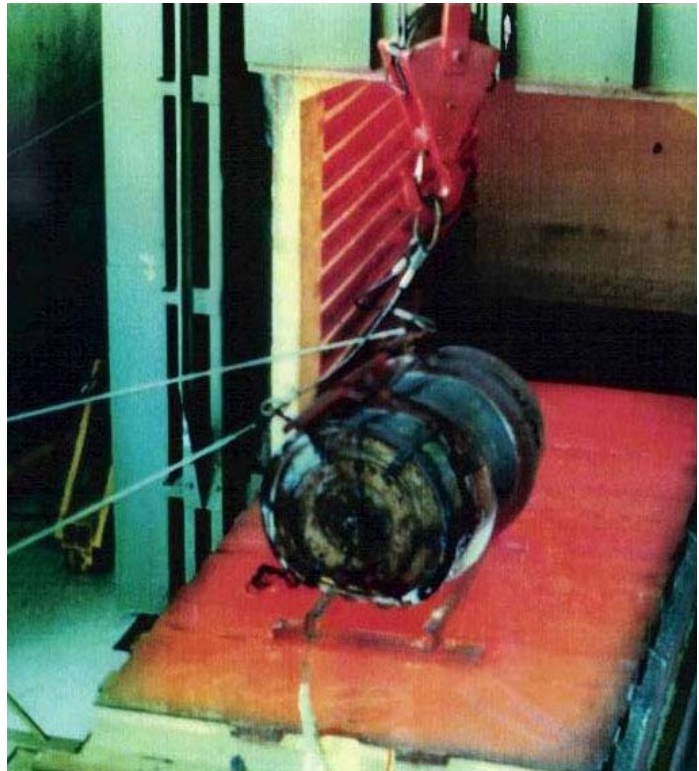
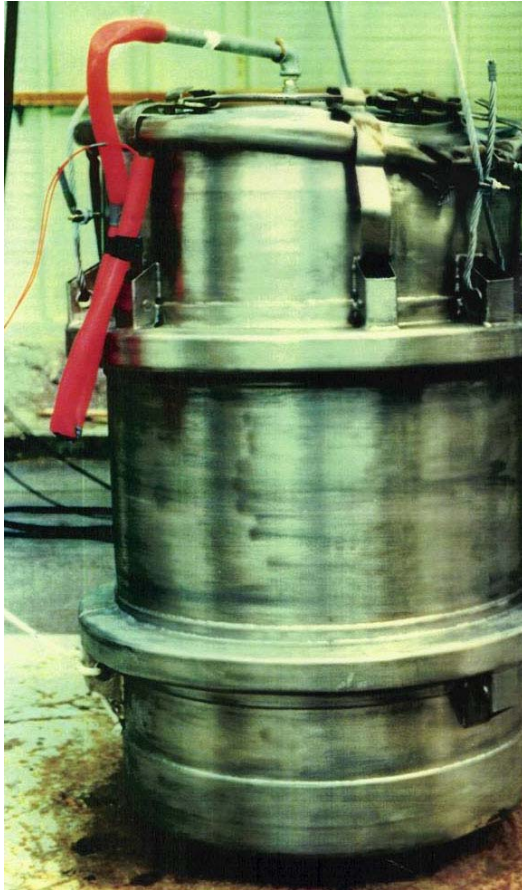


**Sezione del contenitore**

### **Sistema di contenimento e prove di qualificazione**

Tenendo conto dei requisiti di progetto imposti dalle norme sul trasporto delle merci pericolose e delle procedure di radioprotezione che tendono a minimizzare le eventuali dosi assorbite dal personale nelle operazioni di caricamento del contenitore, si è stabilito il seguente particolare progetto del sistema di contenimento: il coperchio è imbullonato sul corpo del contenitore ed è munito di un piccolo foro con presa filettata che permette di raggiungere una cavità anulare ricavata tra due guarnizioni elastomeriche. La più interna ha la funzione di tenuta ed è in materiale resistente a  $-40^{\circ}\text{C}$  (valore imposto dalla normativa) e quella esterna viene utilizzata per la prova di tenuta.

Il coperchio del modello sottoposto alle prove di qualificazione ADR era simile a quello di progetto, ma era munito di un foro comunicante con l'interno per eseguire la prova di tenuta, e nel corso di varie prove di caduta da 9 m e termica ad  $800^{\circ}\text{C}$  per 30 min si sono sostituite le guarnizioni in viton con le siliconiche. Il silicone mantiene la sua elasticità anche a  $-40^{\circ}\text{C}$ , limite inferiore imposto dalla normativa sul trasporto, ma presenta una permeabilità all'elio elevatissima per cui le misure di tenuta prima e dopo i test condotti dall'Università di Pisa sono state protratte nel tempo per misurare la permeabilità delle guarnizioni all'elio, essendo i valori nei primi minuti inferiori a  $10^{-8}$  atm·cm<sup>3</sup>/s.



**Contenitore dopo la prova di caduta da 9 m e termica a 800°C per 30 min**

Il tasso di perdita sotto riportato è stato misurato pressurizzando il sistema di contenimento attraverso un foro praticato sul coperchio utilizzato per monitorare il contenitore nelle prove.

Condizioni	Materiale	Durata	Tasso perdita elio atm·cm <sup>3</sup> /s
Prima della caduta	viton	2h	$7 \times 10^{-8}$
	silicone	3 h	$4 \times 10^{-6}$
Dopo caduta	viton	1h	$1,6 \times 10^{-8}$
Dopo prova termica	viton	1h 50min	$4 \times 10^{-8}$
	silicone	2h 45 min	$6 \times 10^{-6}$

### **Controlli sui contenitori**

Per i controlli di tenuta alla fine della costruzione e/o per manutenzioni e/o verifiche annuali, non potendo bucare il coperchio si è proceduto come segue:

- si è inserita una piccola bombola in pressione contenente elio con un'apertura ad orologeria alimentata da una batteria (foto a fianco);
- si è chiuso il coperchio come per il trasporto;
- si è fatto il vuoto nella cavità anulare tra le due guarnizioni con il banco da vuoto collegata allo spettrometro di massa tarato sull'elio;
- si sono attesi 10 min per l'apertura della bombola di elio riempita a 200 kPa che genera un sibilo udibile dall'esterno e genera una pressione parziale di 25 kPa nel sistema di contenimento;
- si è misurato il tasso di perdita con lo spettrometro e quindi moltiplicato tale valore per tener conto che il delta di pressione dell'elio era inferiore a 100 kPa per motivi di sicurezza convenzionale all'apertura del contenitore.



### Verifica della tenuta prima d'ogni spedizione

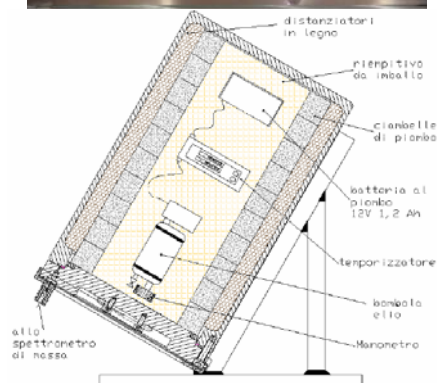
Il metodo della misura della caduta di pressione è stato utilizzato pressurizzando la cavità tra le due guarnizioni con cautela, per evitare in caso di forte perdita verso l'interno la pressurizzazione della soluzione di plutonio, e misurando l'assenza di calo di pressione per un tempo di 5 min. Ciò garantisce un tasso di perdita inferiore a  $10^{-4}$  atm-cm<sup>3</sup>/s ed è compatibile con le procedure di radioprotezione.

### Modifica al sistema di tenuta

Per migliorare le modalità di caricamento ed evitare la permeabilità delle guarnizioni elastomeriche si è deciso di utilizzare una guarnizione d'acciaio inossidabile rivestita in argento.

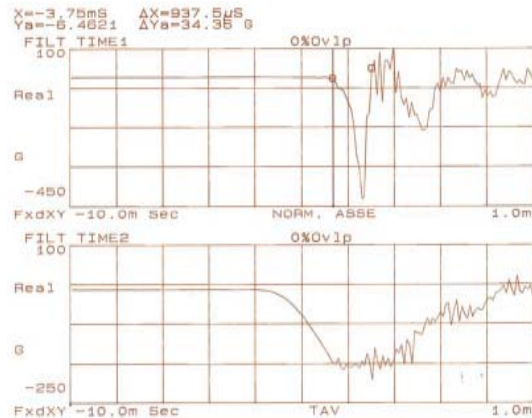
Per qualificare il mantenimento della tenuta anche in condizioni accidentali, in particolare per la caduta da 9 m, si è sottoposto il solo sistema di contenimento alle stesse accelerazioni misurate durante le prove sul contenitore completo. La figura a lato mostra il contenitore caricato con piombo per simulare il contenuto, la guarnizione metallica ed elastomerica e la valvola per l'immissione dell'elio. Il contenitore chiuso e riempito parzialmente d'elio è stato posto su una macchina da shock per caduta della Lesmon cui è possibile variare l'accelerazione d'impatto mantenendo la cavità anulare tra le due guarnizioni sotto il controllo dello spettrometro di massa. Con tale attrezzatura è stato possibile misurare anche una leggera variazione del tasso di perdita nel momento dell'impatto.

**Schema del contenitore per la caduta →**





Hall tecnologica ENEA-Casaccia



Accelerazioni del contenitore e della tavola nella caduta da 70 cm senza assorbitori di gomma

### Risultati delle misure del tasso di perdita nella caduta simulata

Volume contenitore $V_c$ (dm <sup>3</sup> )	Volume oggetti nel contenitore $V_o$ (dm <sup>3</sup> )	Volume bomboletta elio $V_{bc}$ (dm <sup>3</sup> )	Pressione bomboletta elio calcolata per garantire 20 kPa nel contenitore $P_{ebc} = (V_c - V_o) * 0,2 / V_{bc}$ (atm)	Pressione caricamento bomboletta elio $P_{ce}$ (atm)	Pressione misurata bomboletta elio a fine prova (data ora: minuti) $P_t$ (atm)
33,53	19,1	2,25	1,28	1,3	0,2
Ora/ minuti	Perdita misurata (atm.cm <sup>3</sup> /s) $Q$	Perdita aria secca (cm <sup>3</sup> /s) $L_R = \frac{Q}{2P_t}$	Nota		
10:05	$\leq 1.0 \cdot 10^{-11}$	-	Dopo caduta da 20 cm		
10:16	$\leq 1.0 \cdot 10^{-11}$	-	Dopo caduta da 40 cm		
10:30	$2.6 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	Dopo caduta da 70 cm		
14:00	$3.2 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-9}$	Pochi secondi dopo caduta da 70 cm con blocchi di gomma		
14:00	$2.6 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	≈10 sec dopo la precedente lettura		
14:30	$2.6 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	Dopo caduta da 20 cm		
14:33	$2.6 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	Dopo caduta da 40 cm		
14:38	$5.0 \cdot 10^{-9}$	$1.25 \cdot 10^{-8}$	Pochi secondi dopo caduta da 70 cm		
14:38	$2.6 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-9}$	≈10 sec dopo la precedente lettura		

Le misure effettuate nel corso di varie cadute, con altezze ed assorbitori d'urto diversi, dimostrano che la guarnizione metallica utilizzata garantisce che il contenitore rimane "a tenuta" (perdita  $< 1.0 \cdot 10^{-7}$  atm·cm<sup>3</sup>/s) anche dopo un'ipotetica caduta da 9 m così come prescritto dalla normativa.

La prova termica non ha alcuna influenza sulla tenuta in quanto il sistema di contenimento rimane sempre al disotto dei 100°C.

Il contenitore munito di guarnizione metallica verrà sottoposto, per l'ottenimento della certificazione come imballaggio di Tipo B(U), all'esame dell'Autorità Competente nazionale (APAT) che deve certificare ogni variazione rispetto al modello certificato

## **Conclusioni**

La procedura seguita dall'ENEA per ottenere la certificazione del modello di collo di Tipo B(U) è stata effettuata in accordo alla normativa nazionale così come riconosciuta dall'APAT, ma ha tenuto anche conto delle più stringenti norme USA che prevedono il doppio contenimento.

Con la garanzia sulla tenuta in precedenza esposta si è potuta ottenere già in passato l'autorizzazione ad eseguire i trasporti di plutonio in forma liquida necessari. Sono stati pertanto eseguiti con successo 15 trasporti da Casaccia a Saluggia. La soluzione liquida non è venuta mai a contatto delle pareti metalliche del contenitore nel corso di tutti i trasporti: Si è evitato così l'inconveniente di operazioni di scaricamento in zona contaminata e successiva decontaminazione del primo sistema di contenimento, dimostrando anche la sicurezza offerta dalla bottiglia di plastica con doppio blister per le operazioni all'interno delle celle calde.

Si ritiene di poter concludere affermando che anche un materiale altamente radiotossico come il plutonio, tra l'altro in soluzione, può essere trasportato in piena sicurezza nel rispetto sia dei lavoratori coinvolti che della popolazione dell'ambiente.

*ENEA – Casaccia – Via Anguillarese 301  
S. M. di Galeria  
00123 Roma*