

DATI COPERTINA E PREMESSA DEL PROGETTO

UNI1613904

Lingua

Italiana

Titolo Italiano

Manufatti di rifiuti radioattivi. Condizionamento con matrice cementizia dei rifiuti radioattivi a bassa attività. Qualifica del processo di condizionamento (Forma del rifiuto, Contenitore, Manufatto)

Titolo Inglese

Radioactive waste packages. Conditioning with cement matrix of radioactive waste of low activity. Qualification of the conditioning process (Waste Form, Container and Package)

Commissione Tecnica

Organo Competente

UNI/CT 045/SC 04/GL 05 - Gestione integrata rifiuti radioattivi

Coautore

Sommario

La presente norma definisce i criteri, i requisiti ed i metodi di prova per la qualificazione del processo di condizionamento in forma omogenea (liquidi, fanghi, solidi di piccole dimensioni) ed eterogenea (rifiuti solidi), mediante l'uso di matrice cementizia, di rifiuti radioattivi di bassa attività. La presente norma non si applica a soluzioni di condizionamento con matrici diverse da quella cementizia.

I destinatari di questo documento sono invitati a presentare, insieme ai loro commenti, la notifica di eventuali diritti di brevetto di cui sono a conoscenza e a fornire la relativa documentazione.

Questo testo NON è una norma UNI, ma è un progetto di norma sottoposto alla fase di inchiesta pubblica, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti. Il processo di elaborazione delle norme UNI prevede che i progetti vengano sottoposti all'inchiesta pubblica per raccogliere i commenti degli operatori: la norma UNI definitiva potrebbe quindi presentare differenze -anche sostanziali- rispetto al documento messo in inchiesta.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine dell'inchiesta pubblica, cioè il:

2025-07-26

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti in inchiesta pubblica.

Relazioni Nazionali

La presente norma sostituisce la UNI 11193:2006.

Relazioni Internazionali

Premessa

La presente norma è stata elaborata sotto la competenza della Commissione Tecnica UNI Tecnologie nucleari e radioprotezione

© UNI - Milano. Riproduzione vietata.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto di UNI.

INTRODUZIONE

La classificazione dei rifiuti radioattivi stabilita dalla normativa vigente [1] definisce cinque categorie di rifiuti radioattivi e fornisce un'indicazione sulla loro destinazione finale (vedere Appendice A).

I manufatti di rifiuti radioattivi classificati di bassa attività saranno destinati allo smaltimento nel deposito di superficie del Deposito Nazionale (DN).

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma definisce i criteri, i requisiti ed i metodi di prova per la qualificazione del processo di condizionamento **in forma omogenea** (liquidi, fanghi, solidi di piccole dimensioni) **ed eterogenea** (rifiuti solidi), mediante l'uso di matrice cementizia, di rifiuti radioattivi di bassa attività [1]. La presente norma non si applica a soluzioni di condizionamento con matrici diverse da quella cementizia.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

La presente norma rimanda, mediante riferimenti datati o meno, ad altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nella presente norma come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento.

UNI EN 10027-1	Sistemi di designazione degli acciai - Parte 1: Designazione simbolica
UNI EN 10088-1	Acciai inossidabili - Parte 1: Lista degli acciai inossidabili
UNI EN 12390-1	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini
UNI EN 12390-2	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza
UNI EN 12390-3	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini
UNI EN 12390-4	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 4: Resistenza alla compressione - Specifiche per macchine di prova
UNI EN 12390-7	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito
UNI EN 12390-8	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione

© Ente Italiano di Normazione

Membro Italiano ISO e CEN

www.uni.com

UNI EN ISO 9001	Sistemi di gestione per la qualità – Requisiti
UNI EN ISO 846	Materie Plastiche – Valutazioni delle azioni dei microrganismi (limitatamente alla prova con batteri).
UNI EN ISO 12944-2	Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 2: Classificazione degli ambienti
UNI EN-12504-1	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione
UNI CEI EN ISO/IEC 17025	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura
ISO 11599	Determination of gas porosity and gas permeability of hydraulic binders containing embedded radioactive waste

3 TERMINI E DEFINIZIONI

Ai fini della presente norma valgono i seguenti termini e le seguenti definizioni.

3.1 Collo: insieme costituito dal **Manufatto** e da eventuali attrezzature aggiuntive in configurazione idonea per il trasporto.

3.2 Condizionamento dei rifiuti radioattivi: operazione che permette di confezionare un rifiuto radioattivo in un **Manufatto**.

3.3 Condizionamento in forma eterogenea: inglobamento di un **rifiuto solido di grandi dimensioni** mediante una **matrice cementizia di condizionamento**, all'interno di un **Contenitore**.

3.4 Condizionamento in forma omogenea: solidificazione di un **rifiuto liquido**, di un **rifiuto fangoso**, di **resine** o di un **rifiuto solido di piccole dimensioni**, mediante miscelazione omogenea dello stesso in una **matrice cementizia di condizionamento**, all'interno di un **Contenitore**.

3.5 Contenitore: struttura qualificata di forma cilindrica o prismatica, in cui vengono condizionati (con matrice cementizia qualificata) i rifiuti radioattivi.

3.6 Criteri di Accettazione dei rifiuti (WAC): criteri quantitativi o qualitativi specificati dall'autorità di regolamentazione competente o dall'**Operatore** e approvati dalla

medesima autorità, per l'accettazione dei rifiuti radioattivi al deposito di smaltimento o di stoccaggio del DN¹.

3.7 Deposito Nazionale (DN): Struttura di superficie destinata allo smaltimento a titolo definitivo dei rifiuti radioattivi di attività molto bassa e di bassa attività (Unità Smaltimento Moduli – USM) e all'immagazzinamento a titolo provvisorio di lunga durata dei rifiuti di media attività e di alta attività (Complesso Stoccaggio Alta attività – CSA).

3.8 Deposito di smaltimento di superficie: struttura per lo **Smaltimento** di rifiuti radioattivi (generalmente per la bassa attività) situato sulla superficie del suolo o fino a poche decine di metri sotto la superficie, in grado di garantire l'isolamento dei rifiuti dalla biosfera per alcune decine o centinaia di anni.

3.9 Forma del rifiuto: insieme del rifiuto e della **Matrice cementizia di condizionamento**, nello stato solido.

¹ I WAC possono, per esempio, includere restrizioni sulla concentrazione di attività o sull'attività totale di ogni radionuclide (WAC radiologici) presente nei manufatti; possono definire le caratteristiche della matrice di condizionamento o stabilire i requisiti ingegneristici dei contenitori e dei manufatti (WAC ingegneristici). Rappresentano, di fatto, una misura della "qualità" richiesta ai manufatti di rifiuti radioattivi affinché essi possano essere accettati presso il DN, garantendo la sicurezza degli operatori, della popolazione e dell'ambiente durante tutte le fasi di vita del DN. I WAC vengono rispettati dai produttori dei rifiuti e verificati dall'operatore del DN.

3.10 Livelli di allontanamento: Valori espressi in termini di concentrazioni di attività, o di attività totale dei radionuclidi, al di sotto dei quali un materiale può essere gestito come rifiuto convenzionale, a valle di specifica procedura autorizzativa.

3.11 Manufatto: insieme costituito dal **Contenitore** e dal rifiuto condizionato in esso contenuto (con o senza impiego di **Matrice cementizia di condizionamento**), idoneo alla movimentazione, al trasporto (vedere **Collo**), allo **Stoccaggio** e al potenziale **Smaltimento**.

3.12 Massa nominale: valore limite della massa per cui il Manufatto è qualificato.

3.13 Matrice cementizia di condizionamento: matrice cementizia (malta) qualificata utilizzata per il condizionamento dei rifiuti radioattivi.

3.14 Operatore: gestore di una struttura di deposito.

3.15 Organizzazione: esecutore delle prove di qualificazione.

3.16 Peso nominale: peso del Manufatto corrispondente alla **Massa nominale**

3.17 Piano di Qualificazione (PQ): documento che, con riferimento ai requisiti di progettazione del condizionamento in forma omogenea ed eterogenea, mediante l'uso di matrice cementizia dei rifiuti radioattivi di bassa attività, indica i parametri, i criteri, le modalità e le norme applicabili alla **Qualificazione del processo di condizionamento** ai fini della verifica del soddisfacimento dei requisiti tecnici previsti.

3.18 Piano della Qualità (PdQ): documento che, per soddisfare i requisiti di progettazione, qualificazione e fabbricazione ai fini del condizionamento in forma omogenea ed eterogenea, mediante l'uso di matrice cementizia dei rifiuti radioattivi di bassa attività, all'interno di un **Contenitore**, specifica quali processi, procedure, responsabilità e risorse associate sono utilizzati, da chi e quando.

3.19 Piano di Controllo della Qualità (PCQ): documento che precisa, in forma organica e correlata alle sequenze di realizzazione, le attività di prova e di ispezione previste, richiamandone le modalità esecutive e le eventuali qualifiche necessarie al fine di documentare e assicurare la conformità del prodotto ai requisiti di progetto.

3.20 Produttore: soggetto responsabile della produzione dei manufatti. Può coincidere con il **Titolare** se lo stesso provvede, oltre a progettare e qualificare i processi di trattamento/condizionamento dei propri rifiuti, anche alle attività di produzione dei manufatti.

3.21 Prototipo: modello originale di un oggetto (**Contenitore** o **Manufatto**), in scala reale o ridotta, da sottoporre a prove di qualificazione, per la successiva produzione in serie.

3.22 Provino: porzione di materiale avente forma e dimensioni rispondenti alle specifiche norme/guide tecniche di riferimento per l'esecuzione di analisi e/o di prove sperimentali di qualificazione.

Nota 1: Può essere realizzato con procedure da laboratorio o prelevato da un prototipo.

3.23 Qualificazione del processo di condizionamento: insieme di attività volte a dimostrare che il **Manufatto** risultante dal processo di condizionamento soddisfa i requisiti minimi per il deposito temporaneo, il trasporto e lo **Smaltimento**.

3.24 Resine: materiale sintetico composto da una matrice polimerica (in genere granuli di pochi millimetri di diametro), utilizzato per la filtrazione di flussi di liquidi o aeriformi contaminati da radionuclidi.

Nota 1: Generalmente trattasi di resine a scambio ionico, ossia di matrici in cui sono intrappolati ioni che hanno la capacità di scambiare ioni con la soluzione che le attraversa (cattura degli ioni dei radionuclidi).

3.25 Resistenza Strutturale: Capacità dei contenitori di mantenere la propria integrità strutturale a fronte delle sollecitazioni alle quali potranno essere sottoposti.

3.26 Rifiuto fangoso: rifiuto costituito da una miscela composta da materiale solido finemente disperso e da una quantità generalmente piccola di liquido, derivata principalmente, ma non necessariamente, da sedimentazione; può essere definito anche particolato in sospensione.

3.27 Rifiuto liquido: rifiuti normalmente in fase liquida a temperatura ambiente, compresi liquidi volatili, liquidi viscosi ed emulsioni.

3.28 Rifiuto radioattivo: rifiuto che contiene o è contaminato da radionuclidi a livelli superiori ai **Livelli di allontanamento** e per il quale non si prevede riutilizzo/riciclo.

3.29 Rifiuto solido: materiale allo stato solido con presenza di liquidi non facilmente rimovibili in misura inferiore all'1% del volume del rifiuto stesso.

3.30 Rifiuto radioattivo solido di grandi dimensioni: Rifiuto solido (con forma fisica sia coerente che incoerente), costituito da particelle di dimensioni superiori a 5 mm, che contiene o è contaminato da radionuclidi.

3.31 Rifiuto radioattivo solido di piccole dimensioni: Rifiuto solido, che contiene o è contaminato da radionuclidi, incluse le resine a scambio ionico di tipo granulare, costituito da particelle di dimensioni fino a 5 mm.

3.32 Smaltimento: sistemazione definitiva di manufatti di rifiuti radioattivi in una struttura di deposito autorizzata, senza l'intenzione di recuperarli.

3.33 Stoccaggio: sistemazione temporanea, di breve o di lunga durata, di manufatti di rifiuti radioattivi in una idonea struttura di deposito autorizzata, con l'intenzione di recuperarli.

3.34 Tenuta: Capacità del Contenitore di confinare al suo interno il rifiuto radioattivo stoccato, evitando rilasci in ambiente di sostanze radioattive.

3.35 Titolare: Colui che ha generato dei rifiuti radioattivi (primari).

Nota 1: È responsabile legale della gestione di tali rifiuti (progettazione e qualificazione del processo di trattamento/condizionamento) e di eventuali rifiuti secondari derivanti dal trattamento dei rifiuti primari.

3.36 Volume utile del Manufatto: parte del volume interno del Manufatto occupabile dal rifiuto.

4 ABBREVIAZIONI

Ai fini della presente norma valgono le seguenti abbreviazioni.

DN	Deposito Nazionale
EA-MLA	European cooperation for Accreditation - Multi Lateral Agreement
LSA	Low Specific Activity
PCQ	Piano di Controllo della Qualità
PdQ	Piano della Qualità
PQ	Piano di Qualificazione
SCO	Surface Contaminated Object
WAC	Waste Acceptance Criteria (Criteri di accettazione dei rifiuti al DN)

5 CRITERI E REQUISITI DEL PROCESSO DI CONDIZIONAMENTO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI A BASSA ATTIVITÀ

Il Condizionamento dei rifiuti radioattivi si prefigge di minimizzare la mobilità dei radionuclidi presenti nei rifiuti stessi, mediante la realizzazione di una Forma del rifiuto stabile e duratura che assieme al Contenitore costituisca un Manufatto idoneo alle operazioni di movimentazione, stoccaggio, trasporto e potenziale smaltimento.

Il condizionamento può essere in forma eterogenea o omogenea, in funzione delle caratteristiche del rifiuto da gestire.

In particolare, nella forma omogenea, i rifiuti sono intimamente legati (fisicamente e/o chimicamente) alla matrice cementizia di condizionamento; nella forma eterogenea i rifiuti ne sono invece inglobati.

La qualificazione del processo di condizionamento oggetto della presente norma è finalizzata alla produzione di manufatti di bassa attività, idonei allo stoccaggio in sicurezza sui luoghi di produzione, alla predisposizione per il successivo trasporto come Collo ed allo smaltimento presso il deposito di superficie del DN.

La massa cui riferire la concentrazione di attività, ai fini della classificazione del Manufatto è:

- nel caso di Condizionamento omogeneo, quella della Forma del rifiuto²,

² La massa del Forma del rifiuto è determinata dalla massa del manufatto, escludendo la massa del contenitore, di eventuali accessori disposti internamente al manufatto (es. girante a perdere) e di eventuali materiali posti, sempre internamente al manufatto, con funzione di schermo o ricoprimento.

- nel caso di Condizionamento eterogeneo, quella del rifiuto tal quale.

I criteri ed i requisiti riportati nella presente norma sono distribuiti tra:

- il Contenitore;
- la Forma del rifiuto;
- il Manufatto;
- il Collo.

Le fasi di gestione di un Manufatto di rifiuti radioattivi sono:

- Stoccaggio presso i depositi temporanei dei siti di produzione;
- Trasporto (del Collo);
- Conferimento al DN, ai fini dello smaltimento nel deposito di superficie.

Per le fasi di stoccaggio, vengono definiti i requisiti relativi alle Condizioni di Progetto riportate di seguito.

Per la fase di trasporto, si fa riferimento alla IAEA Safety Standard SSR-6 [7], cui si rimanda per tutte le prove e relativi requisiti applicabili per il trasporto di materiale radioattivo: tali prove sono da eseguirsi sul Collo.

5.1 CONDIZIONI DI PROGETTO

Nel presente punto sono definite le Condizioni di Progetto e gli eventi associati a tali condizioni.

Per ognuna delle Condizioni di Progetto, gli eventi da selezionare devono essere quelli rappresentativi, cioè involuppati in termini di conseguenze.

Per casi specifici, potrebbe essere necessario considerare eventi aggiuntivi, ai quali sono associate condizioni più gravose di quelle relative agli eventi previsti nelle Condizioni di Progetto.

5.1.1 Condizioni di Progetto I – Eventi Normali

Le Condizioni di Progetto I si riferiscono alle normali operazioni previste durante la vita di progetto dei manufatti: per esempio, tutte le operazioni di riempimento del Contenitore, di cementazione, di movimentazione e stoccaggio sia nel sito di produzione che nel DN, di trasporto, delle eventuali operazioni di ispezione e manutenzione programmate del Manufatto.

Durante la **fase di stoccaggio** gli Eventi Normali considerano i seguenti valori di riferimento:

- Temperatura ambiente massima: 40 °C;
- Temperatura ambiente minima: -5 °C;
- Aree industriali e zone costiere con moderata salinità, classe di corrosività alta (C4) secondo la UNI EN ISO 12944-2;
- Configurazione di impilaggio verticale pari ad un numero di 4 livelli totali di Manufatto;
- Umidità relativa, superiore al punto di rugiada, sulle superfici dei contenitori, con conseguente condensazione di vapore saturo, per periodi di tempo per i quali è credibile che il controllo di umidità, eventualmente presente nei depositi, non sia disponibile.

Le condizioni ambientali considerate per gli Eventi Normali devono comunque involuppare le condizioni ambientali tipiche dello stoccaggio nello specifico deposito temporaneo del sito di produzione e del DN.

Durante la **fase di trasporto** dei colli le condizioni associate agli Eventi Normali sono quelle definite nelle “Routine Conditions of Transport”, secondo gli standard IAEA (punto 106 della IAEA SSR-6 [7] e punto 106.2 della IAEA SSG-26 [8]).

5.1.2 Condizioni di Progetto II – Eventi Anormali

Le Condizioni di Progetto II si riferiscono a tutti gli eventi con probabilità tale da poter accadere durante la vita di progetto.

Durante la **fase di stoccaggio** dei contenitori, devono essere considerati almeno i seguenti eventi anormali:

- Ribaltamento del singolo Manufatto appoggiato su soletta di calcestruzzo;
- Caduta del Manufatto da un'altezza di 0,3 m su soletta di calcestruzzo, nelle condizioni che realizzano il massimo danneggiamento.

La soletta realizzata in calcestruzzo, con resistenza minima pari a C32/40 [3], deve essere spessa almeno 1 m.

Durante la **fase di trasporto** dei colli le condizioni associate alle Condizioni di Progetto II sono quelle definite nelle “Normal Conditions of Transport”, secondo gli standard IAEA (punto 106 della IAEA SSR-6 [7] e punto 106.3 della IAEA SSG-26 [8]). In particolare, gli scenari che la IAEA prende in considerazione sono quelli associati alle prove di caduta libera, di impilaggio e, ove previsto, di aspersione d'acqua e di penetrazione (rispettivamente ai punti 722, 723, 721 e 724 della IAEA SSR-6 [7]).

5.1.3 Condizioni di Progetto III – Eventi Incidentali

Le Condizioni di Progetto III si riferiscono a tutti gli eventi con probabilità tale da renderli non attesi durante la vita di progetto.

Per la **fase di stoccaggio**, vengono considerati i seguenti Eventi Incidentali:

- Caduta da una quota pari all'altezza massima a cui sarà movimentato il Manufatto e comunque non inferiore³ a 5 m, su una superficie orizzontale costituita da tipica soletta in calcestruzzo (di spessore minimo pari a 1 m e classe di resistenza minima pari a C32/40), nella configurazione che massimizza il danno e senza considerare alcun sistema aggiuntivo di attenuazione dell'urto;
- Sisma di riferimento agente sui manufatti nella loro configurazione di stoccaggio. È considerato "sisma di riferimento" quello più severo tra lo specifico sito di stoccaggio temporaneo previsto e il DN, secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC) [3];
- Incendio con temperatura della fiamma pari a 800 °C per la durata di 30 min secondo le modalità descritte al punto 728 della IAEA SSR-6 [7].

Per la **fase di trasporto** si precisa che:

- Essendo i colli di tipo IP-2 o IP-3, come previsto dalla IAEA SSR-6 [7], questi non saranno progettati per le Condizioni di Progetto III in quanto le caratteristiche chimico-fisiche e la quantità massima di attività consentita per questo tipo di colli assicurano conseguenze limitate in termini di dose, dovute a potenziali rilasci,

³ Generalmente l'altezza massima di impilaggio dei manufatti nelle configurazioni di stoccaggio.

anche in caso di eventi di tale natura.

5.2 TIPOLOGIA DI RIFIUTO

I rifiuti soggetti alle indicazioni della presente norma sono i rifiuti radioattivi che, a seguito del processo di condizionamento, producono manufatti di bassa attività.

Dal punto di vista fisico, i materiali sono distinti in:

- A.** Liquido;
- B.** Fango;
- C.** Solido di piccole dimensioni;
- D.** Solido di grandi dimensioni.

5.3 TIPOLOGIA DI CONDIZIONAMENTO DEL RIFIUTO

La mobilità dei radionuclidi è funzione dello stato fisico dei rifiuti in cui essi si trovano. Rifiuti liquidi sono caratterizzati da una mobilità maggiore rispetto a rifiuti solidi. Di fatto, il rischio connesso con la dispersione di particelle radioattive è maggiore e di conseguenza è maggiore il rischio di contaminazioni ed il potenziale impatto radiologico sull'uomo e l'ambiente.

Nel caso di rifiuti solidi, la mobilità dei radionuclidi è correlata, fra l'altro, alle dimensioni delle particelle di cui i rifiuti sono costituiti. Un radionuclide è generalmente più mobile quando è presente in un materiale di piccole dimensioni piuttosto che in un solido di grandi dimensioni. Al fine di confinare i materiali più disperdibili, è opportuna la miscelazione intima con una matrice cementizia, in modo da realizzare un Manufatto solido monolitico omogeneo in cui i radionuclidi sono distribuiti uniformemente.

Per la tipologia di rifiuti di cui al punto 5.2, è previsto il condizionamento con matrice cementizia.

In particolare, secondo le modalità previste dalla presente norma:

- i materiali di cui ai punti **A**, **B** del punto 5.2, devono essere condizionati in forma omogenea.
- i materiali di cui al punto **C** del punto 5.2 possono essere condizionati in forma omogenea o eterogenea, in funzione delle specifiche caratteristiche (radiologiche, fisiche e chimiche) del rifiuto da gestire, previa verifica finale di accettabilità al DN. In particolare, il condizionamento eterogeneo deve essere eseguito mediante confezionamento del rifiuto in un primo contenitore, il quale può essere condizionato nel Manufatto, tal quale o previa super-compattazione.
- i materiali di cui al punto **D** del punto 5.2 devono essere condizionati in forma eterogenea.

La qualifica della Forma del rifiuto per il condizionamento omogeneo e della malta per il condizionamento eterogeneo, si basa sulle prove riportate al punto 6.4.

5.4 VITA DI PROGETTO DEL MANUFATTO

La vita di progetto prevista per questi manufatti è pari ad almeno 50 anni. Tutti i requisiti previsti per il Manufatto, nella presente norma, devono essere soddisfatti per tutta la durata della vita di progetto, anche ricorrendo ad attività di manutenzione programmata.

5.5 CLASSIFICAZIONE AI FINI DEL TRASPORTO

Ai fini del trasporto, in conformità alla IAEA SSR-6 [7], essendo i rifiuti radioattivi oggetto della presente norma, classificabili come materiale LSA o SCO, i manufatti devono essere classificati come colli di tipo IP-2 o IP-3.

5.6 CRITERI E REQUISITI DEI CONTENITORI

I contenitori devono dimostrare di avere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche tali da garantire il rispetto, nel tempo, dei requisiti di seguito riportati per tutte le sue fasi di gestione.

5.6.1 Materiali

I **contenitori** devono essere realizzati con uno dei seguenti materiali:

- Acciaio al carbonio⁴ con caratteristiche e spessori tali da garantire la resistenza a processi di degradazione, anche con eventuali trattamenti di protezione superficiale (zincatura, verniciatura, ecc.), per la vita di progetto in tutte le condizioni di impiego previste;
- Acciaio inossidabile⁵ con caratteristiche e spessori tali da garantire la resistenza a

⁴ Per esempio, S355J0 in base alla designazione definita dalla UNI EN 10027-1

⁵ Per esempio, 1.4301, 1.4401 in base alla designazione definita dalla UNI EN 10088-1

processi di degradazione per la vita di progetto in tutte le condizioni di impiego previste.

Le guarnizioni di tenuta del coperchio devono essere realizzate con materiali compatibili e idonei a mantenere le loro caratteristiche per un periodo di almeno 50 anni. Per esempio, possono essere utilizzati i seguenti materiali:

- 1) Metalli (Acciaio, Inconel, Argento, ecc.);
- 2) Grafite;
- 3) Polimeri (Silicone, PTFE, EPDM, ecc.).

5.6.2 Geometria e Dimensioni

Ai fini della sistemazione nel modulo di smaltimento del DN, le geometrie dei contenitori devono essere solo cilindriche o prismatiche e di dimensioni tali che ottimizzino il riempimento del modulo stesso al DN.

I contenitori standard (Contenitori Cilindrici – CC, Contenitori Prismatici – CP) che devono essere utilizzati per il confezionamento dei rifiuti radioattivi, con la finalità ultima di produrre manufatti che siano compatibili con le strutture di smaltimento del Deposito Nazionale, sono riportati di seguito.

Per i Contenitori Cilindrici:

- CC-220 (solo per condizionamento omogeneo);
- CC-440 (per condizionamento omogeneo ed eterogeneo)

Per i Contenitori Prismatici (per solo condizionamento eterogeneo):

- CP-2,6;
- CP-5,2.

Nella tabella seguente sono riportate le principali dimensioni esterne di riferimento di tali modelli di Contenitore:

	CC-440	CC-220
<i>Volume lordo [m³]</i>	0,54	0,25
<i>Altezza [mm]</i>	1.120	870
<i>Diametro [mm]</i>	791	600
<i>N° massimo di manufatti per modulo di smaltimento</i>	6	8

Prospetto 1 - Dimensioni esterne di riferimento dei contenitori Cilindrici

	CP-5.2	CP-2.6
<i>Volume lordo [m³]</i>	5,2	2,6
<i>Altezza [mm]</i>	1.250	1.250
<i>Lunghezza [mm]</i>	2.500	1.250
<i>Larghezza [mm]</i>	1.650	1.650
<i>N° massimo di manufatti per modulo di smaltimento</i>	1	2

Prospetto 2 - Dimensioni esterne di riferimento dei contenitori Prismatici

5.6.3 Resistenza strutturale

In fase di stoccaggio:

- Nelle Condizioni di Progetto I, deve essere garantita l'assenza totale di deformazioni permanenti a carico del Contenitore e il soddisfacimento di tutti i suoi restanti requisiti funzionali.
- Nelle Condizioni di Progetto II, è accettata la presenza localizzata di deformazioni permanenti a carico del Contenitore, purché i manufatti restino movimentabili. Inoltre, in tali Condizioni di Progetto i manufatti devono rispettare i requisiti di tenuta e di rateo di dose riportati rispettivamente nei punti 5.6.8 e 5.10.2.
- Nelle Condizioni di Progetto III (vedere punto 5.1.3) deve essere garantita la possibilità di movimentare e trasportare internamente al deposito i manufatti anche a seguito della prova termica (incendio) e della caduta in condizioni di stoccaggio definite nello stesso punto 5.1.3.

Per la fase di trasporto si rimanda alla IAEA SSR-6 [7].

5.6.4 Impilaggio

I contenitori devono avere caratteristiche geometriche tali da permettere il loro impilaggio tal quali.

I contenitori devono garantire la resistenza strutturale (vedere punto 5.6.3) durante l'impilaggio dei manufatti, nelle varie Condizioni di Progetto.

In particolare, a fronte delle Condizioni di Progetto III (vedere punto 5.1.3), deve essere garantita la resistenza strutturale della pila (assenza di deformazioni plastiche) e la stabilità della pila, a seguito del sisma di riferimento. In tal caso, al fine di evitare fenomeni di martellamento, si devono definire la distanza minima tra le pile ed eventuali specifici dispositivi (dispositivi di fissaggio delle pile o gabbie di contenimento dei manufatti) qualificati per una vita di progetto pari a quella dei manufatti.

5.6.5 Movimentabilità

In Condizioni di Progetto I, i contenitori devono essere realizzati sia con presa dall'alto sia dal basso o laterale, in modo tale che i manufatti siano movimentabili sia in verticale che in orizzontale, con apposita attrezzatura di presa (per esempio pinze, forche, gripper), senza che si generino deformazioni permanenti.

Il Contenitore, ai fini della movimentazione, deve essere progettato per un carico statico pari al doppio del peso nominale del Manufatto.

In Condizioni di Progetto II e III, i contenitori devono garantire la movimentabilità dei manufatti e permettere quindi la loro recuperabilità. In particolare, il Manufatto potrà essere movimentato anche mediante attrezzature speciali e procedure non standard, senza che si abbia un cedimento strutturale del Contenitore.

Inoltre, nelle Condizioni di Progetto II deve essere garantito il contenimento dei materiali in forma di polvere o solidi, come richiesto al punto 5.6.8.

5.6.6 Rilascio di gas

Qualora il rifiuto, a seguito di condizionamento con matrice cementizia, sia tale da dar luogo a rilascio di gas in quantità significativa durante la vita di progetto, dovuto, per esempio, a radiolisi e/o corrosione, i contenitori devono essere muniti di apposito sistema di sfiato dotato di filtro assoluto, con grado di filtrazione minimo richiesto pari al 98% a 0,4 μm e al 99,9% a 1,2 μm .

Si ritiene significativa una quantità di gas che, distribuita nei vuoti del contenitore, dà luogo ad una sovrappressione all'interno del contenitore superiore a 5 kPa, alla temperatura ambientale massima prevista dalle condizioni di progetto I.

Inoltre, il sistema di sfiato deve essere dimensionato per garantire che alla portata pari ad almeno il tasso di generazione di gas di cui alla prova 6.5.5 (n. 16 Prospetto 3), la differenza di pressione tra l'interno e l'esterno del Contenitore non sia superiore a 5 kPa.

5.6.7 Resistenza alla degradazione

Il Contenitore e tutti i relativi componenti (guarnizioni, eventuali filtri, etc.) devono essere realizzati con materiali (vedere punto 5.6.1) tali da garantire una adeguata resistenza alla degradazione (in particolare a fenomeni di corrosione), tenendo debitamente conto dell'interazione della Forma del rifiuto con la parte interna del Contenitore e dell'ambiente di stoccaggio (le cui condizioni sono definite al punto 5.1.1) con la parte esterna del Contenitore.

I fenomeni di degradazione possono essere contrastati anche tramite l'adozione di adeguati rivestimenti protettivi dei componenti del Contenitore, opportunamente qualificati.

I processi costruttivi e l'accoppiamento dei vari materiali devono essere tali da non attivare nei materiali stessi processi di degradazione.

La resistenza a degradazione deve essere garantita per tutta la vita di progetto del Manufatto (vedere punto 5.4).

5.6.8 Tenuta

Qualora sia prevista la generazione di gas all'interno del Manufatto, devono essere usati degli sfiati (vedere punto 5.6.6). La chiusura del Contenitore deve comunque essere a tenuta per consentire ai gas di fuoriuscire, opportunamente filtrati, solo attraverso tali sfiati.

Pertanto, il Contenitore deve essere sottoposto ad una prova di tenuta eseguita così come indicato al punto 6.3.2.

In Condizioni di Progetto I, i contenitori chiusi con i relativi coperchi e pressurizzati ad una pressione relativa iniziale di almeno 5 kPa, devono mantenere, in 60 min, una pressione interna pari ad almeno il 95% della pressurizzazione iniziale.

In Condizioni di Progetto II la tenuta al gas dei contenitori non è richiesta. Deve essere invece garantito il contenimento dei materiali in forma di polvere o solidi.

In Condizioni di Progetto III ai contenitori non è richiesta la tenuta a gas e a materiali in forma di polvere o solidi.

5.6.9 Decontaminabilità

La forma delle superfici esterne deve essere, per quanto possibile, tale da non favorire l'accumulo di contaminazione.

La finitura delle superfici esterne deve facilitare la decontaminazione del Contenitore al fine di poter rispettare i valori di contaminazione massima delle superfici esterne definiti per il trasporto nella IAEA SSR-6 [7] (punto 508) e altri valori che possono essere fissati per lo stoccaggio.

5.7 CRITERI E REQUISITI DELLA FORMA DEL RIFIUTO PER IL CONDIZIONAMENTO OMOGENEO

La Forma del rifiuto deve dimostrare di avere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche tali da garantirne il rispetto dei requisiti di seguito riportati.

5.7.1 Resistenza alla compressione

La Forma del rifiuto deve presentare una resistenza a compressione, dopo 28 giorni di stagionatura, non inferiore a 10 N/mm². Il valore di riferimento deve essere quello medio su tre provini e deve essere determinato secondo la prova riportata al punto 6.4.1.

5.7.2 Resistenza ai cicli termici

La Forma del rifiuto non deve presentare, dopo i previsti cicli termici, danneggiamenti macroscopici e deve conservare una resistenza a compressione media (su tre provini testati) non inferiore a 10 N/mm².

La prova deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.2.

5.7.3 Resistenza all'immersione in acqua

La Forma del rifiuto non deve presentare, dopo la prevista prova d'immersione, rigonfiamenti o danneggiamenti macroscopici e deve conservare una resistenza a compressione media (su tre provini testati) non inferiore a 10 N/mm².

La prova deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.3.

5.7.4 Resistenza alla lisciviazione

L'indice di Lisciviabilità medio della Forma del rifiuto (calcolato su tre provini testati) deve essere $L \geq 6$ per il Cesio-137.

La prova deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.4.

5.7.5 Resistenza alle radiazioni

La Forma del rifiuto deve garantire una adeguata resistenza alle radiazioni. Dopo l'irraggiamento, i provini non devono presentare danneggiamenti macroscopici e la resistenza a compressione media (sui tre provini) non deve essere inferiore a 10 N/mm².

La prova deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.5.

5.7.6 Resistenza alla biodegradazione

La Forma del rifiuto deve avere adeguate caratteristiche di resistenza alla biodegradazione e i provini, con cui la resistenza vien verificata, non devono presentare danneggiamenti macroscopici e la resistenza a compressione media (su tre provini testati per ciascuna condizione di incubazione) non deve essere inferiore a 10 N/mm².

La prova di verifica deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.6.

5.7.7 Resistenza al fuoco

La Forma del rifiuto deve presentare un'adeguata resistenza al fuoco. In particolare, al termine della prova di esposizione alla fiamma la matrice deve risultare non combustibile o almeno autoestinguente.

La prova di verifica deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.7.

5.7.8 Permeabilità all'acqua

La Forma del rifiuto deve avere una ridotta permeabilità all'acqua. Al termine della prova, il fronte di avanzamento dell'acqua non deve essere penetrato mediamente per più di 20 mm all'interno del provino e comunque in nessun punto per più di 50 mm.

La prova di verifica deve essere eseguita così come indicato al punto 6.4.8.

5.7.9 Resistenza al gas generato

La Forma del rifiuto deve essere tale da resistere strutturalmente alle eventuali sovrappressioni generate dalla produzione di gas interna alla matrice stessa.

In particolare, bisogna verificare che la capacità resistente a trazione della Forma del rifiuto sia superiore alle sollecitazioni generate dalle sovrappressioni associate alla produzione di gas, dipendenti dalla permeabilità al gas della matrice, testata secondo la prova al punto 6.4.9.

5.8 CRITERI E REQUISITI DELLA MALTA PER IL CONDIZIONAMENTO ETEROGENEO

La malta cementizia di inglobamento del rifiuto deve dimostrare di avere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche tali da garantirne il rispetto, dei requisiti di seguito riportati.

5.8.1 Resistenza alla compressione

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.1.

5.8.2 Resistenza ai cicli termici

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.2.

5.8.3 Resistenza all'immersione in acqua

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.3.

5.8.4 Resistenza alla lisciviazione

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.4.

5.8.5 Resistenza alle radiazioni

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.5.

5.8.6 Permeabilità all'acqua

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.8.

5.8.7 Resistenza al gas generato

I requisiti relativi alla malta cementizia inglobante il rifiuto sono i medesimi riportati al punto 5.7.9.

5.9 CRITERI E REQUISITI DEL MANUFATTO RISULTANTE DAL PROCESSO DI CONDIZIONAMENTO OMOGENEO

Il Manufatto deve dimostrare di avere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche tali da garantire il rispetto dei requisiti per tutta la sua vita di progetto.

Di seguito vengono riportati i requisiti relativi alle fasi di stoccaggio e smaltimento.

Per quanto riguarda la fase di trasporto, per tutte le condizioni di progetto, devono essere soddisfatti i requisiti indicati nel riferimento IAEA SSR 6 [7], in funzione della classificazione del Collo.

5.9.1 Massa

La massa nominale del Manufatto, per ciascun tipo di Contenitore (vedere punto 5.6.2), non deve eccedere, a pieno carico, i seguenti valori:

- CC-220 – 900 kg;
- CC-440 – 1.800 kg.

5.9.2 Rateo di dose all'esterno

In fase di stoccaggio:

- a seguito degli eventi associati alle condizioni di Progetto I, i limiti per il rateo di dose all'esterno del Manufatto sono demandati alle specifiche strutture di stoccaggio;
- a seguito degli eventi associati alle condizioni di Progetto II non si deve avere un incremento del rateo di dose all'esterno del Manufatto maggiore del 20% rispetto al corrispondente valore del rateo di dose che si osserva all'esterno del Manufatto nelle condizioni di Progetto I;
- a seguito degli eventi associati alle condizioni di Progetto III non si deve avere un incremento del rateo di dose all'esterno del Manufatto maggiore del 100% rispetto

al corrispondente valore del rateo di dose che si osserva all'esterno del Manufatto nelle condizioni di Progetto I.

Per la fase di trasporto, nel caso in cui il Manufatto da solo non rispetti i limiti di dose prescritti dalla normativa di riferimento (IAEA SSR 6 [7]), il Collo deve essere costituito dal Manufatto stesso e da componenti schermanti aggiuntivi in grado di ridurre il rateo di dose al di sotto dei limiti richiesti.

5.9.3 Assenza di liquidi liberi

Al termine della prova, eseguita secondo quanto riportato al punto 6.5.3, il volume totale degli eventuali liquidi raccolti deve risultare inferiore allo 1% del volume interno utile del Manufatto stesso. Inoltre, il pH del liquido libero eventualmente raccolto deve essere compreso tra 5 e 9.

5.9.4 Omogeneità della Forma del rifiuto e riempimento

La Forma del rifiuto deve risultare omogeneamente distribuita all'interno del Manufatto. La Forma del rifiuto è intesa omogeneamente distribuita se la miscelazione all'interno del Contenitore è tale da garantire, al controllo visivo, l'assenza diffusa di:

- Bolle;
- Fessurazioni;
- Differenza di densità.

Per ciò che riguarda i vuoti all'interno del Manufatto, devono essere rispettati entrambi i seguenti requisiti:

- il volume totale dei vuoti all'interno del Manufatto non deve essere superiore al

10% del volume interno utile del Manufatto stesso⁶.

- Inoltre, il volume totale dei vuoti nel volume della Forma del rifiuto non deve essere superiore al 2 % del volume della Forma del rifiuto stesso.

5.9.5 Controllo della Criticità nucleare

Nel caso in cui nel rifiuto radioattivo confezionato nel Contenitore sia presente del materiale fissile, deve essere verificato che il Manufatto, in condizioni di stoccaggio, garantisca sempre adeguati margini di sotto criticità in tutte le condizioni di progetto.

In particolare, ai fini del trasporto, nel caso in cui il contenuto di materiale fissile sia superiore ai limiti definiti nei punti 417, 674 e 675 della IAEA SSR-6 [7], il Collo deve rispettare tutti i requisiti aggiuntivi riportati nei punti da 676 a 686 della suddetta IAEA SSR-6 [7].

5.9.6 Modalità di identificazione tramite etichetta

Le modalità di identificazione ed etichettatura dei manufatti devono essere conformi alla UNI 10755.

⁶ Il volume totale dei vuoti, include anche lo spazio tra la superficie superiore della Forma del rifiuto ed il coperchio del contenitore.

5.10 CRITERI E REQUISITI DEL MANUFATTO RISULTANTE DAL PROCESSO DI CONDIZIONAMENTO ETEROGENEO

Il Manufatto deve dimostrare di avere caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche tali da garantire il rispetto dei requisiti per tutta la sua vita di progetto.

Di seguito vengono riportati i requisiti relativi alle fasi di stoccaggio e smaltimento.

Per quanto riguarda la fase di trasporto, per tutte le condizioni di progetto, devono essere soddisfatti i requisiti indicati nel riferimento IAEA SSR 6 [7], in funzione della classificazione del Collo.

5.10.1 Massa

La massa nominale del Manufatto, per ciascun tipo di Contenitore (vedere punto 5.6.2), non deve eccedere, a pieno carico, i seguenti valori:

- CC-220 – 900 kg;
- CC-440 – 1.800 kg.
- CP-2,6 – 10.000 kg;
- CP-5,2 – 20.000 kg.

5.10.2 Rateo di dose all'esterno

I requisiti sono i medesimi riportati al punto 5.9.2.

5.10.3 Assenza di liquidi liberi

I requisiti sono i medesimi riportati al punto 5.9.3.

5.10.4 Controllo della criticità nucleare

I requisiti sono i medesimi riportati al punto 5.9.5.

5.10.5 Modalità di confezionamento e Ricoprimento

Il confezionamento del rifiuto all'interno del Contenitore deve essere fatto in modo da garantire che la matrice di inglobamento possa penetrare, il più possibile, negli spazi liberi, in modo che il volume totale dei vuoti all'interno del Manufatto non sia superiore al 10% del volume interno del Manufatto stesso⁷.

Il rifiuto deve essere disposto all'interno del Contenitore in modo da essere inglobato nella matrice cementizia, con uno spessore minimo di ricoprimento di 5 cm in tutte le direzioni.

Tale risultato può essere ottenuto, per esempio, mediante l'uso di un apposito cestello interno al Contenitore, dotato di eventuali sistemi anti-galleggiamento.

Inoltre, il ricoprimento deve essere uniformemente distribuito, in modo tale che, a seguito della prova di cui al punto 6.5.4, si possa escludere la presenza diffusa di:

- bolle;
- fessurazioni;
- differenza di densità della malta.

⁷ Il volume totale dei vuoti, include anche lo spazio tra la superficie superiore della Forma del rifiuto ed il coperchio del contenitore.

5.10.6 Modalità di identificazione tramite etichetta

I requisiti sono i medesimi riportati al punto 5.9.6.

5.11 Criteri e Requisiti del Collo

Il Collo deve dimostrare di avere caratteristiche chimiche, fisiche, meccaniche e di schermaggio tali da garantire il rispetto, per la fase di trasporto, dei requisiti richiesti, per i quali si rimanda ai riferimenti: IAEA SSR-6 [7] e SSG-26 [8].

6 PROVE PER LA QUALIFICAZIONE DEL PROCESSO DI CONDIZIONAMENTO

6.1 GENERALITÀ

La qualificazione di un processo di condizionamento comprende l'insieme delle prove volte a dimostrare che il Manufatto/Collo risultante rispetti i requisiti previsti per lo stoccaggio in sito, per il trasporto e per il conferimento al DN.

Le prove devono essere eseguite nelle seguenti modalità, che possono essere alternative o anche concorrenti:

- sperimentale, su provini della Forma del rifiuto, sul materiale del Contenitore, su prototipi del Contenitore, del Manufatto o del Collo (questi ultimi realizzati simulando i rifiuti da condizionare, il processo di condizionamento ed eventualmente l'imballaggio ai fini del trasporto);
- sperimentale, su modelli in scala appropriata, aventi caratteristiche rappresentative del componente da verificare;
- calcolo, o appropriata argomentazione, quando le metodologie di calcolo (*by analysis* e/o *by formula*) e i parametri utilizzati sono generalmente accettabili purché affidabili o conservativi;
- riferimento ad altre attività sperimentali rappresentative delle prove stesse.

Il processo di condizionamento, sviluppato sulla base delle indicazioni della presente norma, è parte della più ampia gestione del rifiuto radioattivo, la quale sarà comunque

verificata nell'ambito della procedura autorizzativa che viene attivata, caso per caso, presso l'Autorità di Controllo (ISIN) e che vede inclusa la Lettera di Compatibilità (LdC)⁸.

6.2 ESECUZIONE DELLE PROVE

L'organizzazione incaricata di eseguire le prove di qualificazione, identificate nel PQ di cui al punto 7.2 deve operare in accordo ai seguenti requisiti:

- essere accreditata secondo la UNI CEI EN ISO/IEC 17025 per le prove richieste o, in alternativa, deve avere operante un Sistema Qualità rispondente ai requisiti della UNI EN ISO 9001 attestato da certificato in corso di validità, rilasciato da un organismo accreditato in Italia da ACCREDIA o per l'estero da altro ente di accreditamento partecipante agli accordi di mutuo riconoscimento (EA-MLA)⁹;
- essere dotata di adeguate competenze, esperienza specifica ed attrezzature

⁸ La LdC è lo strumento con cui l'operatore del DN (Sogin, così come stabilito dal D. Lgs 31/2010) si pronuncia in merito alla potenziale accettabilità al DN di manufatti, nell'ambito della procedura con cui l'Autorità di Controllo (ISIN), autorizza la produzione di quei manufatti secondo il processo di gestione proposto dal produttore dei rifiuti radioattivi.

⁹ Nel caso di prove non riconducibili a schemi di accreditamento e/o nel caso in cui non sia possibile effettuarle presso un'organizzazione operante un Sistema Qualità certificato UNI EN ISO 9001, il produttore deve trasferire al fornitore/ente di prova tutti i requisiti relativi alla tipologia della prova, necessari per assicurare la qualità dei risultati di prova, quali a titolo esemplificativo e non esaustivo le modalità di gestione delle infrastrutture, i metodi di prova, le registrazioni, le qualifiche richieste al personale addetto alla prova, la taratura della strumentazione etc., e verificare l'idonea applicazione di un sistema di qualità presso l'organizzazione anche attraverso l'implementazione di uno specifico Piano della Qualità come disciplinato al punto 7.3.

relative alle prove da eseguire;

- effettuare le prove secondo procedure validate, in particolare quando siano effettuate sulla base di metodi non standardizzati;
- identificare univocamente i prototipi/provini.

L'Organizzazione, al termine di ciascuna prova, elabora un rapporto di prova in cui sono riportati, almeno, i seguenti dati ed informazioni:

- tipologia di provini/prototipi sottoposti alla prova;
- numero di provini/prototipi previsti e relative sigle di identificazione;
- tipo di prova e relative norme di riferimento, ove previste;
- modalità di esecuzione delle prove (procedure di prova), condizioni di prova o riferimento al metodo di prova utilizzato;
- indicazione degli strumenti e delle apparecchiature di misurazione utilizzate e loro stato di taratura/certificazione;
- esito della prova;
- data di effettuazione della prova;
- sottoscrizione del rapporto a cura dell'Organizzazione.

Tutte le attività connesse con l'esecuzione delle prove devono essere adeguatamente documentate e conservate.

Al termine delle attività di qualificazione, deve essere prodotto un Dossier Finale di Qualificazione che deve contenere almeno i seguenti documenti:

- piano di Qualificazione;
- specifiche ed eventuali procedure di prova;
- dossier di Fine Fabbricazione dei prototipi utilizzati per le prove;
- rapporti delle prove effettuate;

- rapporto finale di qualificazione, che riassume le attività svolte ed i risultati ottenuti;
- eventuali certificazioni, documenti e/o registrazioni della qualità.

Le proprietà fisiche, chimiche e radiologiche del Manufatto sono determinate con apposite prove alle quali devono essere sottoposti i provini e/o i prototipi, simulanti i rifiuti condizionati. Qualora le prove di qualificazione siano svolte con prodotti simulanti il reale rifiuto radioattivo, devono essere stabiliti opportuni criteri di correlazione tra il prodotto simulante ed il rifiuto reale da condizionare.

Qualora le prove di qualificazione siano effettuate su prototipi in scala ridotta, le caratteristiche di tali prototipi devono essere determinate sulla base di opportune correlazioni, ovvero leggi di scala, con riferimento a quelle dei prototipi in scala reale.

Nel corso delle prove di qualificazione devono essere inoltre individuati i parametri ed il relativo intervallo di variabilità da controllare nella fase di produzione dei manufatti, al fine di verificare il rispetto dei requisiti pertinenti.

Sono di seguito riportate le prove di qualificazione ed è indicata la normativa nazionale e/o internazionale di riferimento per l'esecuzione delle stesse. Possono essere utilizzati anche altri documenti normativi o altre specifiche tecniche purché ne sia documentata l'equivalenza a quelli citati.

Qualora non esistano documenti di riferimento o norme relative ad una o più delle prove da eseguire, deve essere predisposto un rapporto dettagliato sulle procedure di esecuzione, sui parametri rilevati e sulle apparecchiature utilizzate, al fine di dimostrare la rispondenza a quanto richiesto.

Nel Prospetto 3 sono elencate le prove previste per la qualificazione dei processi di condizionamento in matrice cementizia che danno luogo a rifiuti condizionati di bassa attività; è specificato se la prova è da eseguirsi sulla Forma del rifiuto, sul Contenitore, sul Manufatto o sul Collo.

N.	PROVA		RIFERIMENTO REQUISITO PUNTO DELLA NORMA O RIFERIMENTO ESTERNO	CONFIGURAZIONI DI PROVA					
	TIPO	RIFERIMENTO PUNTO DELLA NORMA		CONTENITORE	FORMA DEL RIFIUTO ¹		MANUFATTO		COLLO
					Om	Et	Om	Et	
CONDIZIONI DI PROGETTO I – EVENTI NORMALI									
01	Degradazione	6.3.1	5.6.7	X					
02	Tenuta	6.3.2	5.6.8	X					
03	Compressione	6.4.1	5.7.1 e 5.8.1		X	X			
04	Cicli Termici	6.4.2	5.7.2 e 5.8.2		X	X			
05	Immersione all’acqua	6.4.3	5.7.3 e 5.8.3		X	X			
06	Lisciviazione	6.4.4	5.7.4 e 5.8.4		X	X			
07	Resistenza alle radiazioni	6.4.5	5.7.5 e 5.8.5		X	X			
08	Resistenza alla biodegradazione	6.4.6	5.7.6		X				
09	Resistenza al fuoco	6.4.7	5.7.7		X				
10	Permeabilità all’acqua	6.4.8	5.7.8 e 5.8.6		X	X			
11	Permeabilità al gas	6.4.9	5.7.9 e 5.8.7		X	X			

N.	PROVA		RIFERIMENTO REQUISITO PUNTO DELLA NORMA O RIFERIMENTO ESTERNO	CONFIGURAZIONI DI PROVA					
	TIPO	RIFERIMENTO PUNTO DELLA NORMA		CONTENITORE	FORMA DEL RIFIUTO ¹		MANUFATTO		COLLO
					Om	Et	Om	Et	
12	Resistenza all’impilaggio in fase di stoccaggio	6.5.1	5.6.3 e 5.6.4				X	X	
13	Movimentazione	6.5.2	5.6.3 e 5.6.5				X	X	
14	Assenza liquidi liberi	6.5.3	5.9.3 e 5.10.3				X	X	
15	Omogeneità forma del rifiuto	6.5.4	5.9.4 e 5.10.5				X	X	
16	Generazione di Gas	6.5.5	5.6.6 e 5.7.9				X	X	
CONDIZIONI DI PROGETTO II – EVENTI ANORMALI									
17	Caduta libera in fase di stoccaggio	6.5.6	5.6.5, 5.6.8, 5.9.2, 5.10.2				X	X	
18	Aspersione d'acqua	6.6	SSR-6 [7] SSG-26 [8]						X
19	Caduta libera in fase di trasporto	6.6	SSR-6 [7] SSG-26 [8]						X
20	Impilaggio in fase di trasporto	6.6	SSR-6 [7] SSG-26 [8]						X
21	Penetrazione in fase di trasporto ²	6.6	SSR-6 [7] SSG-26 [8]						X
CONDIZIONI DI PROGETTO III – EVENTI INCIDENTALI									
22	Caduta libera in fase di stoccaggio	6.5.6	5.6.5, 5.6.8, 5.9.2, 5.10.2				X	X	
23	Alta temperatura (incendio) in fase di stoccaggio	6.5.7	5.6.5, 5.6.8.				X	X	

N.	PROVA		RIFERIMENTO REQUISITO PUNTO DELLA NORMA O RIFERIMENTO ESTERNO	CONFIGURAZIONI DI PROVA					
	TIPO	RIFERIMENTO PUNTO DELLA NORMA		CONTENITORE	FORMA DEL RIFIUTO ¹		MANUFATTO		COLLO
					Om	Et	Om	Et	
24	Stabilità all’impilaggio in fase di stoccaggio	6.5.8	5.6.4				X	X	
Om: Condizionamento Omogeneo Et: Condizionamento Eterogeneo									
<u>NOTE DEL PROSPETTO:</u>									
1 Nel caso di condizionamento eterogeneo ci si riferisce alla sola matrice di condizionamento									
2 La prova si applica ai soli colli tipo IP-3.									

Prospetto 3 - Prove di Qualificazione

6.3 Prove di Qualificazione da eseguire sul Contenitore

6.3.1 Prova di resistenza alla degradazione (N 01 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Contenitore.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: da identificare in relazione ai materiali utilizzati.

Descrizione: tutti i materiali costituenti il Contenitore suscettibili di degradazione nelle condizioni di impiego (anche in considerazione dell'interazione del materiale con il rifiuto radioattivo) devono essere sottoposti alle prove di resistenza alla degradazione.

Le prove possono essere svolte in condizioni di invecchiamento accelerato (tramite incremento di temperatura e/o salinità/umidità dell'ambiente) per verificare che le caratteristiche dei materiali e del Contenitore siano conservate nel tempo.

L'invecchiamento sarà scelto in funzione dello specifico materiale.

Condizione di prova: Le prove devono essere svolte sul Contenitore e/o su provini dei materiali utilizzati per la fabbricazione del Contenitore. Qualora siano disponibili evidenze scientifiche che dimostrino la resistenza di un materiale nelle condizioni specifiche d'impiego, le prove di tipo sperimentale possono non essere eseguite.

Criterio di accettabilità: deve essere dimostrata la durabilità del Contenitore per tutta la vita di progetto del Manufatto, sotto il profilo strutturale e funzionale, in riferimento ai requisiti di cui al punto 5.6.7.

6.3.2 Prova di tenuta (N 02 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Contenitore.

Condizione di Progetto: I

Descrizione: la prova consiste in una pressurizzazione iniziale non inferiore a 0,05 bar relativi e in un monitoraggio della pressione interna per 60 min. Deve inoltre essere monitorata la temperatura interna del Contenitore e le condizioni ambientali (temperatura e pressione) al fine di effettuare le eventuali correzioni sull'andamento della pressione interna. Per quanto riguarda il monitoraggio delle condizioni di pressione e temperatura, si possono utilizzare formule di compensazione (vedere Appendice B), basate sulla legge dei gas perfetti. Si ritengono accettabili solo le prove durante le quali le condizioni di temperatura e pressione rispettino i seguenti requisiti:

- le variazioni di pressione relativa del Contenitore, durante l'arco della prova, sono inferiori al 30% del valore iniziale;
- le variazioni di temperatura interna al Contenitore, durante l'arco della prova, sono inferiori a $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$;
- le variazioni di pressione atmosferica, durante l'arco della prova, sono inferiori a 500Pa;
- le variazioni di temperatura dell'ambiente di prova sono inferiori a 1°C .

Nell'esecuzione della prova gli sfiati dei contenitori devono essere chiusi con appositi tappi copri-filtro che garantiscano la tenuta.

Criteri di accettabilità della prova: i valori di accettabilità relativi alle diverse tipologie di contenitori ed alle Condizioni di Progetto sono riportati nel punto 5.6.8.

6.4 Prove di Qualificazione da eseguire per la Forma del rifiuto

Le prove riportate di seguito, sono riferite alla Forma del rifiuto, nel caso di condizionamento omogeneo e alla sola matrice di condizionamento (malta), nel caso di condizionamento eterogeneo.

6.4.1 Prova di resistenza alla compressione (N 03 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: la prova va eseguita secondo le modalità riportate nelle normative di riferimento:

- UNI EN 12390-3;
- UNI EN 12390-4.

In particolare, viene eseguita su dei provini, realizzati come indicato nelle norme:

- UNI EN 12390-1;
- UNI EN 12390-2;
- UNI EN 12390-7.

Descrizione: la prova consiste nel sottoporre ad adeguata compressione i provini realizzati con la Forma del rifiuto, per il condizionamento omogeneo e con la malta, per il condizionamento eterogeneo.

Condizione di prova: la prova deve essere eseguita su almeno tre provini cubici (10x10x10 cm) preparati riproducendo in laboratorio il processo di condizionamento previsto.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.1.

6.4.2 Prova di resistenza ai cicli termici (N 04 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: I provini per l'esecuzione della prova devono essere realizzati come indicato nelle seguenti norme di riferimento:

- UNI EN 12390-1;
- UNI EN 12390-2;
- UNI EN 12390-7.

Descrizione: La prova prevede, prima dell'inizio dell'esecuzione della stessa, che sia determinata la massa dei provini e che le superfici dei provini stessi siano ispezionate visivamente per verificare l'assenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

La prova deve essere eseguita sottoponendo i provini ad almeno 30 cicli termici di 24 h ciascuno, con le seguenti temperature estreme:

- temperatura minima non maggiore di (233 ± 2) K;
- temperatura massima non minore di (313 ± 2) K.

con un gradiente non minore di 10 K/h nelle fasi di salita e discesa della temperatura.

Nel corso della prova, l'umidità relativa deve essere mantenuta pari a (90 ± 5) %.

Al termine della prova, le superfici dei provini sono nuovamente ispezionate visivamente per verificare l'eventuale presenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

I provini stessi sono, quindi, sottoposti alla prova di compressione con le modalità indicate al punto 6.4.1.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su almeno tre provini cubici (10x10x10 cm) preparati con le stesse modalità indicate al punto 6.4.1.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.2.

6.4.3 Prova di resistenza all'immersione in acqua (N 05 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: I provini per l'esecuzione della prova devono essere realizzati come indicato nelle seguenti norme di riferimento:

- UNI EN 12390-1;
- UNI EN 12390-2;
- UNI EN 12390-7.

Descrizione: La prova prevede, prima dell'inizio dell'esecuzione della stessa, che sia determinata la massa dei provini e che le superfici dei provini stessi siano ispezionate visivamente per verificare l'assenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

I provini devono essere immersi per 90 giorni in acqua dolce (durezza non maggiore di 15 gradi francesi), a temperatura ambiente.

Trascorso tale periodo di immersione, le dimensioni dei provini sono misurate accuratamente, per valutare l'estensione delle eventuali variazioni dimensionali o danneggiamenti macroscopici.

I provini devono essere lasciati asciugare a temperatura ambiente ed è determinata la variazione di massa dei provini stessi rispetto a quella iniziale.

Al termine della prova, le superfici dei provini sono nuovamente ispezionate visivamente per verificare l'eventuale presenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

I provini stessi devono essere sottoposti alla prova di compressione con le modalità indicate

al punto 6.4.1.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su almeno tre provini cubici (10x10x10 cm) preparati con le stesse modalità indicate al punto 6.4.1.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.3.

6.4.4 Prova di resistenza alla lisciviazione (N 06 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: ANSI ANS 16.1:2019 [10]

Descrizione: La prova prevede, prima dell'inizio dell'esecuzione della stessa, che sia determinata la massa dei provini e che le superfici dei provini stessi siano ispezionate visivamente per verificare l'assenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

La prova deve essere eseguita utilizzando provini radioattivi realizzati utilizzando, come tracciante, il Cs137. Il mezzo lisciviante utilizzato per la prova è acqua deionizzata, con le caratteristiche previste nella norma di riferimento, mantenuto, per l'intera durata della prova, ad una temperatura compresa tra 290,5 K e 300,5 K.

La prova deve essere condotta in modalità "extended test" ed avere una durata di 90 giorni al termine dei quali si valuta l'indice di lisciviabilità L.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su almeno tre provini cilindrici (h 5 cm; Ø 5 cm) preparati con le stesse modalità previste al punto 6.4.1, riproducendo in laboratorio il processo di condizionamento previsto.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.4.

6.4.5 Prova di resistenza alle radiazioni (N 07 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: I provini per l'esecuzione della prova devono essere realizzati come indicato nelle seguenti norme di riferimento:

- UNI EN 12390-1;
- UNI EN 12390-2;
- UNI EN 12390-7.

Descrizione: la prova deve prevedere, prima dell'inizio dell'esecuzione della stessa, che sia determinata la massa dei provini e che le superfici dei provini stessi siano ispezionate visivamente per verificare l'assenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

La prova deve prevedere che i provini siano irraggiati fino ad una dose integrata pari a 1E6 Gy, utilizzando una sorgente di radiazioni gamma con emissioni di energia comprese tra 0,6 MeV e 1,5 MeV. Il periodo di irraggiamento non deve essere minore di 20 giorni.

Al termine della prova, le superfici dei provini sono nuovamente ispezionate visivamente per verificare l'eventuale presenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

I provini stessi devono essere sottoposti alla prova di compressione con le modalità indicate al punto 6.4.1.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su almeno tre provini cubici (10x10x10 cm) preparati con le stesse modalità indicate al punto 6.4.1.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.5.

6.4.6 Prova di resistenza alla biodegradazione (N 08 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto.

Tipologia di condizionamento: Omogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento:

- ASTM G 21 – 15 [11];
- UNI EN ISO 846.

I provini per l'esecuzione della prova devono essere realizzati come indicato nelle seguenti norme di riferimento:

- UNI EN 12390-1;
- UNI EN 12390-2;
- UNI EN 12390-7.

Descrizione: La prova prevede, prima dell'inizio dell'esecuzione della stessa, che sia determinata la massa dei provini e che le superfici dei provini stessi siano ispezionate visivamente per verificare l'assenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

La prova può essere omessa nel caso in cui la Forma del rifiuto contenga materiale organico al di sotto del 5% in peso del rifiuto.

I provini devono essere inoculati con funghi e batteri ed incubati come previsto nelle norme di riferimento.

Dopo l'incubazione, nelle condizioni previste nelle norme di riferimento, devono essere rilevate sia la crescita dei microrganismi sui provini, sia le eventuali variazioni delle dimensioni e delle caratteristiche morfologiche e meccaniche di questi ultimi.

Al termine della prova, le superfici dei provini devono essere nuovamente ispezionate visivamente per verificare l'eventuale presenza di danneggiamenti macroscopici e laddove presenti documentare lo stato delle superfici medesime (mediante fotografie e/o misure di laboratorio).

I provini stessi devono essere quindi sottoposti alla prova di compressione con le modalità indicate al punto 6.4.1.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su sei provini cubici (10x10x10 cm) preparati con le stesse modalità indicate al punto 6.4.1.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.6.

6.4.7 Prova di resistenza al fuoco (N 09 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto.

Tipologia di condizionamento: Omogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: ASTM D 635-14 [12].

Descrizione: Gli spigoli e le superfici dei provini devono essere integri e continui, al fine di consentire il tracciamento delle linee di riferimento previste dalla norma.

La prova può essere omessa nel caso in cui la Forma del rifiuto non contenga materiale combustibile.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su dieci provini prismatici (1,25x1,25x12,5 cm) preparati con le stesse modalità indicate al punto 6.4.1.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.7.

6.4.8 Prova di permeabilità all'acqua (N 10 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: UNI EN 12390-8.

Descrizione: La prova deve essere eseguita sui provini di riferimento (maturati per almeno 28 giorni a 20°C in ambiente con U.R. di almeno 95%) posti nell'apposita apparecchiatura e sottoposto in sequenza alle seguenti pressioni:

1. 100 kPa per 48 h;
2. 300 kPa per 24 h;
3. 700 kPa per 24 h.

Alla fine della prova il provino è sezionato lungo un piano parallelo alla linea del flusso per misurare la profondità di avanzamento del fronte bagnato.

Al termine della prova viene determinato il valore medio del volume di acqua raccolto, oppure il valore medio della profondità di avanzamento del fronte bagnato.

L'acqua che attraversa ciascun provino deve essere raccolta ed il suo volume è misurato.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su almeno tre provini prismatici o cubici preparati con le stesse modalità indicate nella norma di riferimento.

Criterio di accettabilità della prova: il valore di accettabilità è riportato nel punto 5.7.8.

6.4.9 Prova di permeabilità al gas (N 11 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Forma del rifiuto (omogeneo) e malta (eterogeneo).

Tipologia di condizionamento: Omogeneo ed Eterogeneo.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: ISO 11599

Descrizione: La misura di permeabilità ai gas deve essere eseguita mediante l'uso di elio o azoto come gas di prova.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su almeno tre provini cilindrici aventi dimensioni indicate nella norma di riferimento.

Criterio di accettabilità della prova: Non sono previsti criteri di accettabilità sul singolo parametro. Deve essere verificato, nel complesso, il requisito di cui al punto 5.7.9.

6.5 Prove di Qualificazione da eseguire sul Manufatto

6.5.1 Prova di resistenza all'impilaggio in fase di stoccaggio (N 12 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: I

Descrizione: il prototipo deve sostenere il carico equivalente alla configurazione di impilaggio, indicata al punto 5.1.1;

Nel caso in cui il Manufatto coincida con il Collo, la prova che deve essere eseguita è quella indicata dalla norma SSR-6 – IAEA [7], al par 723, relativamente alle condizioni di trasporto (si vedere punto 6.6).

Criteri di accettabilità della prova: al termine della prova il prototipo non deve registrare deformazioni permanenti, così come indicato nel punto 5.6.3. Inoltre, deve essere garantito l'impilaggio, come indicato al punto 5.6.4.

6.5.2 Prove di movimentazione (N 13 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto

Condizione di Progetto: I

Descrizione: le prove di movimentazione sono le seguenti:

- A. **prova statica di sollevamento:** la prova deve essere eseguita con un peso totale applicato corrispondente al doppio della massa nominale del Manufatto. Il sollevamento deve essere eseguito utilizzando i punti di presa previsti (dall'alto, dal basso ovvero laterali) per un tempo non inferiore a 10 min e posato nuovamente al suolo. La prova deve essere eseguita sperimentalmente;
- B. **prova dinamica di sollevamento:** la prova deve essere eseguita con un peso totale applicato corrispondente alla massa nominale del Manufatto. Il sollevamento deve essere eseguito utilizzando i punti di presa previsti (dall'alto, dal basso ovvero laterali), applicando un'accelerazione di sollevamento pari a tre volte

l'accelerazione di gravità. La prova può essere eseguita a calcolo;

- C. **prova di posizionamento:** la prova deve essere eseguita con un peso totale applicato corrispondente alla massa nominale del Manufatto. Il Manufatto deve essere movimentato per verificarne l'impilaggio sopra un altro analogo, utilizzando i punti di presa previsti (dall'alto, dal basso ovvero laterali). La prova deve essere eseguita sperimentalmente;

Criterio di accettabilità: deve essere verificato, attraverso opportuni controlli dimensionali, l'assenza di deformazioni permanenti sulla struttura del Contenitore, come riportato al punto 5.6.3. Deve inoltre essere garantita la movimentabilità, come indicato al punto 5.6.5

.

6.5.3 Prova di verifica dell'assenza di liquidi liberi (N 14 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: I

Descrizione: La prova deve essere eseguita su un modello del Manufatto in grandezza reale, preparato riproducendo in laboratorio o su impianto mock-up il processo di condizionamento previsto per i rifiuti ed utilizzando materiali che simulino efficacemente i rifiuti stessi. Lo stesso modello di prova può essere utilizzato per realizzare la prova di "omogeneità" di cui al punto 6.5.4.

Il Manufatto di prova deve essere lasciato a stagionare per un periodo minimo di 28 giorni, in ambiente industriale al coperto.

La prova per la verifica dell'assenza di liquidi liberi prevede le seguenti fasi:

1. Ispezione visiva, a coperchio rimosso, della superficie superiore del Manufatto, al fine di verificare l'assenza di liquidi liberi.
2. Esecuzione, in prossimità del fondo del Contenitore (mantenendo il Manufatto in posizione verticale), di almeno un foro, di diametro minimo pari a 30 mm, verificando che non vi sia fuoriuscita di liquidi liberi;

3. Sezionamento lungo il piano verticale del Manufatto per verificare l'eventuale presenza di liquidi al suo interno, mediante l'ulteriore esecuzione di fori di diametro minimo pari a 30 mm, sulle superfici sezionate.

Tutti gli eventuali liquidi liberi presenti sono raccolti in un recipiente graduato al fine di determinarne il volume.

Criterio di accettabilità della prova: i valori di accettabilità sono riportati nel punto 5.9.3 (per il condizionamento omogeneo) e nel punto 5.10.3 (per il condizionamento eterogeneo).

6.5.4 Prova di Omogeneità della Forma del rifiuto e verifica di riempimento del Contenitore (N 15 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: I

Norme di riferimento: Per l'esecuzione del carotaggio la norma di riferimento è la UNI EN-12504-1.

Descrizione: La prova deve essere eseguita su un modello del Manufatto in grandezza reale, preparato riproducendo in laboratorio o su impianto mock-up il processo di condizionamento previsto per i rifiuti ed utilizzando materiali che simulino efficacemente i rifiuti stessi. Lo stesso modello di prova può essere utilizzato per realizzare la prova dei "liquidi liberi" di cui al punto 6.5.3.

Il Manufatto di prova deve essere lasciato a stagionare per un periodo minimo di 28 giorni, in ambiente industriale al coperto.

La prova per la verifica dell'omogeneità della Forma del rifiuto deve prevedere le seguenti fasi:

1. Ispezione visiva, a coperchio rimosso, della superficie superiore del Manufatto;
2. Sezionamento lungo il piano verticale del Manufatto;
3. Ispezione visiva della sezione.

Lo stato delle superfici delle sezioni deve essere documentato mediante fotografie. Eventuali discontinuità devono essere documentate in dettaglio mediante macrofotografia, al fine di valutarne le dimensioni.

Deve inoltre essere verificato il corretto riempimento del Contenitore.

Criterio di accettabilità della prova: i valori di accettabilità relativi a tutte le Condizioni di Progetto sono riportati nel punto 5.9.4 (per il condizionamento omogeneo) e nel punto 5.10.5 (per il condizionamento eterogeneo).

6.5.5 Prova di generazione di gas (N. 16 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: I

Descrizione: Per la valutazione della generazione di gas all'interno del Manufatto, devono essere considerati i seguenti fattori:

- caratteristiche chimiche/fisiche e radiologiche della Forma del rifiuto;
- fenomeno che dà luogo alla generazione di gas (corrosione umida del rifiuto metallico in esso inglobato o del Contenitore, radiolisi dell'acqua contenuta nei pori, libera e/o debolmente legata e/o dell'eventuale materiale organico presente, decomposizione chimica o microbica di materiali organici condizionati, ecc.).

Condizione di prova: Il tipo di gas generato e il relativo tasso di produzione devono essere determinati mediante calcolo numerico (un esempio è fornito in Appendice C), modelli empirici oppure mediante apposite prove sperimentali.

Criterio di accettabilità della prova: non sono previsti criteri di accettabilità sul singolo parametro. Vanno verificati, nel complesso, i requisiti di cui al punto 5.6.6 e al punto 5.7.9.

6.5.6 Prova di resistenza alla caduta libera in fase di stoccaggio (N. 17 e N. 22 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: II e III.

Descrizione: La prova deve essere svolta come di seguito descritto.

Riguardo le condizioni di progetto II, in fase di stoccaggio (N.17 Prospetto 3) la caduta del Manufatto deve avvenire da un'altezza di 0,3 m su una superficie costituita da una soletta di calcestruzzo avente caratteristiche come riportate nel punto 5.1.2.

Nel caso di condizioni di progetto III, in fase di stoccaggio (N.21 Prospetto 3) la caduta del Manufatto deve avvenire da un'altezza di 5 m su una superficie costituita da una soletta di calcestruzzo avente caratteristiche come riportate nel punto 5.1.3.

Per ciascuna prova devono essere individuati ed eseguiti, tra i tipi di caduta effettivamente probabili, quelli che possono causare il massimo danno al Manufatto (caduta orizzontale, verticale, di spigolo, ecc.). Per ogni prova di caduta può essere utilizzato un diverso Manufatto di prova.

Criterio di accettabilità: i requisiti del Manufatto da soddisfare per le Condizioni di Progetto legate sia ad eventi anormali sia incidentali sono riportati nei punti 5.6.5, 5.6.8, 5.9.2, 5.10.2.

6.5.7 Prova di resistenza ad alta temperatura (N 23 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: III

Norme di riferimento: IAEA SSR-6 – Par 728 [7].

Descrizione: La prova termica comprende:

- a) l'esposizione di un Manufatto per un periodo di 30 min ad un ambiente termico che fornisce un flusso di calore equivalente a quello di una combustione di idrocarburi in aria, in condizioni ambientali sufficientemente calme, in modo da avere un coefficiente di emissività medio della fiamma di almeno 0,9 ed una temperatura di fiamma di almeno 800 °C che avvolga completamente il Manufatto, con un coefficiente di adsorbività superficiale di 0,8 o pari al valore che il Manufatto può dimostrare di possedere se esposto al fuoco specificato, seguita da:

- b) l'esposizione del Manufatto ad una temperatura ambiente di 38 °C, alle condizioni di insolazione specificate nella norma di riferimento, per un periodo sufficiente ad assicurare che le temperature all'interno del Manufatto siano in ogni punto in diminuzione e/o stiano raggiungendo le condizioni iniziali di stato stazionario.

Durante e dopo la prova il Manufatto non deve essere raffreddato artificialmente e, se si verifica una combustione dei materiali del Manufatto, essa deve procedere fino ad esaurimento.

Al termine della prova, il Manufatto deve essere ispezionato visivamente al fine di documentarne lo stato dell'eventuale degradazione.

Condizione di prova: La prova deve essere eseguita su un modello del Manufatto in grandezza reale, che è preparato riproducendo in laboratorio o su impianto mock-up il processo di condizionamento previsto per i rifiuti ed utilizzando materiali che simulino efficacemente i rifiuti stessi. Oppure può essere simulata numericamente avvalendosi di un modello rappresentativo del Manufatto.

Criterio di accettabilità della prova: i valori di accettabilità sono riportati nel punto 5.6.5, 5.6.8.

6.5.8 Prova di stabilità all'impilaggio in fase di stoccaggio (N 24 del Prospetto 3)

Configurazione di prova: Manufatto.

Condizione di Progetto: III

Norme di riferimento: NTC [3].

Descrizione: la verifica di stabilità all'impilaggio in fase di stoccaggio, deve essere eseguita utilizzando gli spettri di risposta del sisma di riferimento, come definito al punto 5.1.3, considerando una pila così come definita al punto 5.1.1.

La verifica della resistenza strutturale deve considerare il peso nominale dei manufatti impilati.

La verifica di stabilità, per ogni tipologia di stoccaggio previsto, deve essere effettuata valutando lo scenario più critico.

Eventuali dispositivi specifici necessari per garantire i requisiti di stabilità della pila, devono essere inclusi nelle verifiche richieste da questa prova.

La prova deve permettere di definire lo spostamento massimo della pila che comporterà la determinazione delle condizioni di stoccaggio (distanza tra le pile anche in considerazione della eventuale presenza di dispositivi di fissaggio delle stesse).

Criteri di accettabilità della prova: a seguito delle sollecitazioni derivanti dal sisma di riferimento, il Manufatto (e gli eventuali dispositivi) non deve registrare deformazioni che potrebbero alterarne la stabilità o l'abilità all'impilaggio.

Inoltre, a fronte dell'evento sismico, la pila non deve ribaltarsi né dar luogo a fenomeni di martellamento tra pile adiacenti (o contigue).

I requisiti da soddisfare sono riportati nel punto 5.6.4.

6.6 Prove di Qualificazione da eseguire sul Collo (N 18, N 19, N 20, N 21 del Prospetto 3)

Per le prove di cui al Prospetto 3 relative alle condizioni di progetto II, afferenti alla fase di trasporto, vale quanto riportato nei riferimenti IAEA – SSR-6 [7] e SSG-26 [8].

Le prove di riferimento sono riportate nel Prospetto 4:

Prova	Posizione nel Prospetto 3	Condizione di Progetto
Aspersione d'acqua	18	II
Caduta libera in fase di trasporto	19	II
Impilaggio in fase di trasporto	20	II
Penetrazione in fase di trasporto	21	II

Prospetto 4 - Prove di Qualifica da eseguire per il Collo

La prova di aspersione d'acqua (che si ricorda essere propedeutica all'esecuzione delle altre prove indicate nel Prospetto 4), come suggerito dalla IAEA SSG-26 [8], può essere omessa qualora si dimostri che i materiali costitutivi dei contenitori o più in generale la configurazione del collo di trasporto non consentano né l'assorbimento di acqua né tanto meno l'incremento della massa del collo: in tal modo, infatti, l'aspersione d'acqua sul contenitore non ha alcun impatto in relazione al soddisfacimento dei requisiti descritti nella sezione §5.6.

7 REQUISITI PER LA QUALITA'

7.1 GENERALITA'

Per la gestione delle attività di qualificazione del processo di condizionamento in forma omogenea (liquidi, fanghi, solidi di piccole dimensioni) ed eterogenea (rifiuti solidi), mediante l'uso di matrice cementizia, di rifiuti radioattivi di bassa attività (LLW), all'interno di un **Contenitore**, l'organizzazione deve avere operante un Sistema Qualità rispondente ai requisiti della UNI EN ISO 9001, attestato da certificato in corso di validità, rilasciato da un organismo accreditato in Italia o da ACCREDIA o per l'estero da altro ente di accreditamento partecipante agli accordi di mutuo riconoscimento (EA-MLA).

7.2 PIANO DI QUALIFICAZIONE

Il PQ ha come obiettivo principale quello di delineare un processo di verifica del soddisfacimento dei requisiti definiti al punto 5.

Il PQ, con riferimento ai requisiti di progettazione, deve indicare i parametri, i criteri, le modalità e le norme applicabili alla qualificazione del processo di condizionamento in forma omogenea ed eterogenea, mediante l'uso di matrice cementizia dei rifiuti radioattivi di bassa attività, predisposto ed in particolare deve includere il riferimento a:

- caratteristiche chimico-fisiche del rifiuto da confezionare;
- definizione dei criteri di simulazione dei rifiuti e del processo di condizionamento;
- ulteriori parametri di qualificazione con particolare riferimento a quelli ambientali durante le fasi di stoccaggio;
- criteri per il controllo dei processi di condizionamento e di produzione dei manufatti;
- modalità e norme applicabili alle prove di qualificazione.

Il documento deve inoltre contenere almeno le seguenti informazioni:

- piano di controllo qualità (PCQ) dei provini e prototipi, delle prove;
- identificazione dei provini e dei prototipi (se necessari) per le prove di qualificazione

- e di quelli di riserva;
- definizione delle prove di qualificazione;
- definizione dei criteri di accettabilità;
- elenco delle procedure previste;
- piano di controllo delle attività;
- pianificazione temporale.

7.3 PIANO DELLA QUALITA'

In conformità alla UNI EN ISO 9001, devono essere predisposte adeguate misure tendenti ad assicurare che le attività di progettazione, qualificazione e realizzazione del processo di condizionamento in forma omogenea (liquidi, fanghi, solidi di piccole dimensioni) ed eterogenea (rifiuti solidi), mediante l'uso di matrice cementizia, di rifiuti radioattivi di bassa attività (LLW), all'interno di un **Contenitore** siano tenute sotto controllo. Dette misure sono definite in un piano della qualità (PdQ), in cui devono essere trattati almeno i seguenti aspetti:

- norme e documenti applicabili (norme, procedure, istruzioni operative, ecc.);
- organizzazione e responsabilità;
- controllo e sorveglianza dei processi di progettazione;
- controllo e sorveglianza dei processi di qualificazione;
- controllo dei documenti e delle registrazioni, comprese quelle della qualità;
- controllo delle risorse e dei subappaltatori;
- controllo del processo di approvvigionamento ed eventuale certificazione dei materiali approvvigionati;
- controllo dei processi di realizzazione;
- identificazione dei manufatti;
- controllo delle apparecchiature di misurazione e prova;
- gestione degli audit di qualità;
- gestione delle non conformità e delle azioni correttive adottate.

In particolare, il documento deve includere, come minimo, i seguenti argomenti:

- Elenco completo delle norme, procedure esistenti, delle istruzioni operative e in generale di tutte le regole che l'organizzazione deve seguire per assicurare la gestione delle attività di progettazione, qualificazione e realizzazione dei manufatti per rifiuti radioattivi;
- Organigramma aziendale e del team che si occupa delle attività di progettazione, qualificazione e realizzazione con ruoli, responsabilità e struttura funzionale;
- Descrizione del processo di comunicazione (interno ed esterno);
- Qualifiche e responsabilità nello sviluppo delle attività;
- Elenco dei principali subappaltatori (se esistenti);
- Elenco dei principali fornitori di beni / materiali / servizi (non vincolanti);
- Procedure utilizzate per il processo di approvvigionamento;
- Procedure di progettazione, esecuzione e controllo;
- Procedure utilizzate per il processo di qualifica;
- Procedure di gestione delle modifiche e delle non conformità;
- Programma di auditing (pianificazione interna ed esterna);
- Programma di formazione;
- Identificazione e valutazione del rischio.

7.4 PIANO E PROGRAMMA DI PROGETTAZIONE

Deve essere redatto un piano e programma di progettazione che, corredato del relativo programma di sviluppo cronologico, identifichi i documenti base relativi alla progettazione (norme, requisiti base di progetto) e includa l'elenco dei documenti, degli elaborati tecnici e dei disegni che devono essere prodotti al fine di consentire la pianificazione delle attività di verifica e di sorveglianza sulla progettazione.

7.5 PIANO DI CONTROLLO DELLA QUALITA'

L'organizzazione deve predisporre tutti gli opportuni piani di controllo della qualità (PCQ) applicabili alle fasi di qualificazione del processo di condizionamento in forma omogenea ed eterogenea, mediante l'uso di matrice cementizia di rifiuti radioattivi di bassa attività (LLW), all'interno di un Contenitore.

Il PCQ è un documento che precisa, in forma organica e correlata alle sequenze di realizzazione, le attività di prova e di ispezione previste, richiamandone le modalità esecutive e le eventuali qualifiche necessarie al fine di documentare e assicurare la conformità del prodotto ai requisiti di progetto.

Nel caso di affidamento a terzi, l'organizzazione deve definire la sorveglianza tecnica sulle attività realizzative, sulla base del PCQ predisposto dal subfornitore, individuando le fasi di controllo che vincolano il subfornitore alla convocazione (fasi da segnalare) o quelle in cui la presenza dell'organizzazione è obbligatoria per lo svincolo alla prosecuzione delle attività (fasi vincolanti).

7.6 DOCUMENTI DI REGISTRAZIONE DELLA QUALITÀ

I documenti di registrazione della qualità devono essere gestiti in conformità ai criteri indicati nel piano della qualità di cui al punto 7.3 e devono essere conservati a cura del produttore dei manufatti e messi a disposizione del titolare dei rifiuti, qualora non coincidesse con il produttore del Manufatto.

Essi devono includere almeno i seguenti documenti:

- piano della qualità,
- piano e programma di progettazione,
- piano/i di controllo della qualità e documentazione allegata,
- piano di qualificazione (come descritto al punto 7.2) e rapporti di prova
- processi di realizzazione dei provini e prototipi.
- rapporti di non conformità e azioni correttive.

APPENDICE A

(informativa)

CLASSIFICAZIONE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

Un rifiuto che contiene radionuclidi in quantità tali da essere identificato come “rifiuto radioattivo” necessita di essere opportunamente classificato sulla base del rischio radiologico che lo caratterizza e gestito di conseguenza.

In Italia la classificazione dei rifiuti radioattivi è definita dal Decreto Ministeriale 7 agosto 2015 [1] di cui si riporta, nel seguente Prospetto A.1, lo schema della classificazione.

Tale schema identifica 6 categorie di materiali e ne indica la destinazione finale; in particolare, identifica 5 categorie di rifiuti radioattivi.

Prospetto A.1 – Classificazione dei rifiuti radioattivi in Italia

Categoria	Condizioni e/o Concentrazioni di attività		Destinazione finale
Esenti	<ul style="list-style-type: none">Art. 154 comma 2 del D.Lgs. N. 230/1995 [11]Art. 30 o Art. 154 comma 3-bis del D.Lgs. N. 230/1995		Rispetto delle disposizioni del D.Lgs. N. 152/2006 [12]
A vita media molto breve	<ul style="list-style-type: none">$T_{1/2} < 100$ giorniRaggiungimento in 5 anni delle condizioni:<ul style="list-style-type: none">Art. 154 comma 2 del D.Lgs. N. 230/1995Art. 30 o Art. 154 comma 3-bis del D.Lgs. N. 230/1995		Stoccaggio temporaneo (art. 33 D.Lgs. N. 230/1995) e smaltimento nel rispetto delle disposizioni del D.Lgs. N. 152/2006
Attività molto bassa	< 100 Bq/g (di cui Alfa ≤ 10 Bq/g)	Raggiungimento in $T \leq 10$ anni della condizione: Art. 154 comma 3-bis del D.Lgs. N. 230/1995	
		Non raggiungimento in $T \leq 10$ anni della condizione: Art. 154 comma 3-bis del D.Lgs. N. 230/1996	
Bassa attività	<ul style="list-style-type: none">Radionuclidi a vita breve ($T_{1/2} \leq 31$anni) ≤ 5 MBq/gNi59-Ni63 ≤ 40 KBq/gRadionuclidi a lunga vita ($T_{1/2} > 31$ anni) ≤ 400 Bq/g		Impianti di smaltimento superficiali o a piccola profondità, con barriere ingegneristiche (Deposito Nazionale D.Lgs. 31/2010 [3])
Media attività	<ul style="list-style-type: none">Radionuclidi a vita breve ($T_{1/2} \leq 31$anni) > 5 MBq/gNi59-Ni63 > 40 KBq/gRadionuclidi a lunga vita ($T_{1/2}$	Radionuclidi Alfa emettitori ≤ 400 Bq/g e Beta-Gamma emettitori in concentrazioni tali da rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti per l'impianto di smaltimento di superficie	

UNI1613904

	<p>> 31 anni) > 400 Bq/g</p> <ul style="list-style-type: none">• No produzione di calore	Radionuclidi in concentrazioni tali da non rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti per l'impianto di smaltimento di superficie	Impianto di immagazzinamento temporaneo del Deposito Nazionale (D.Lgs. 31/2010) in attesa di smaltimento in formazione geologica
Alta attività	Produzione di calore o di elevate concentrazioni di radionuclidi a lunga vita o di entrambe tali caratteristiche		

I rifiuti radioattivi di bassa attività possono essere prodotti nell'ambito delle attività afferenti all'esercizio ed al decommissioning dei reattori nucleari, degli impianti del ciclo del combustibile (impianti per fabbricazione degli elementi di combustibile, impianti di riprocessamento) ovvero dei laboratori di ricerca scientifica e delle attività svolte in campo medico.

Come si può evincere dal prospetto A.1, i rifiuti radioattivi di bassa attività sono rifiuti che hanno concentrazioni di attività tali da poter essere gestiti in uno smaltimento di tipo superficiale, in quanto essi possono contenere radionuclidi, sia di lunga vita (specialmente transuranici) che di vita breve¹⁰, in quantità tali per cui il grado di contenimento ed isolamento dalla biosfera fornito da un impianto di smaltimento di superficie con barriere ingegneristiche è ritenuto sufficiente.

In particolare, i rifiuti radioattivi di bassa attività di pertinenza nazionale saranno smaltiti presso il deposito di superficie del Deposito Nazionale.

¹⁰ Il Decreto Ministeriale 7 agosto 2015 [1] all'art. 3 comma 1, definisce i radionuclidi a vita breve come quei radionuclidi con tempo di dimezzamento maggiore di 100 giorni e minore o uguale a 31 anni. I radionuclidi a vita lunga sono quelli con tempo di dimezzamento maggiore di 31 anni.

APPENDICE B

(informativa)

MONITORAGGIO DELLE CONDIZIONI DI PROVA E FORMULE DI COMPENSAZIONE DELLA PRESSIONE NELLA PROVA DI TENUTA

Questa appendice presenta una possibile modalità di esecuzione della prova di tenuta del contenitore e descrive un metodo di valutazione della compensazione della pressione differenziale del contenitore, qualora durante l'esecuzione le condizioni ambientali subiscano delle variazioni, entro limiti definiti.

B.1 Prassi di buona conduzione di prova

Per garantire una buona condotta di prova si raccomanda che:

- le variazioni di pressione relativa del contenitore, durante l'arco della prova, siano inferiori al 30% del valore iniziale
- le variazioni di temperatura interna al contenitore, durante l'arco della prova, siano inferiori a $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- le variazioni di pressione atmosferica, durante l'arco della prova, siano inferiori a 100Pa
- se possibile, le variazioni di temperatura dell'ambiente di prova siano inferiori a 1°C

B.2 Grandezze monitorate durante la prova

Ipotizzando che la prova sia condotta registrando le seguenti grandezze:

- pressione atmosferica con misuratore di pressione assoluta
- pressione interna del contenitore con misuratore di pressione differenziale

La prova, durante l'arco di conduzione, monitora le seguenti grandezze (si tralasciano per semplicità gli eventuali punti di misura intermedi necessari per ottemperare alle raccomandazioni di cui al B.1):

T_{i_0} → temperatura interna (°K) ad inizio prova $t_0=0$

T_{i_f} → temperatura interna (°K) registrata nell'ultima lettura a fine prova $t_f=60\text{min}$

Δp_0 → pressione differenziale interno/esterno ad inizio prova $t_0=0$

Δp_f → pressione differenziale interno/esterno a fine prova $t_f=60\text{min}$

p_{A_0} → pressione atmosferica assoluta ad inizio prova $t_0=0$

p_{A_f} → pressione atmosferica assoluta a fine prova $t_f=60\text{min}$

T_{A_0} → temperatura ambiente ad inizio prova $t_0=0$

T_{A_f} → temperatura ambiente registrata a fine prova $t_f=60\text{min}$

B.3 Compensazioni del differenziale di pressione del contenitore

Le grandezze derivate da quelle elencate in B.2, e che costituiscono l'oggetto della verifica di tenuta, sono:

Δp_{i_eff} → differenziale di pressione effettiva (compensata) del contenitore tra inizio e fine prova

p_{i_0} → pressione assoluta interna ad inizio prova $t_0=0$; $p_{i_0} = p_{A_0} + \Delta p_0$

p_{i_f} → pressione assoluta interna a fine prova $t_f=60\text{min}$; $p_{i_f} = p_{A_f} + \Delta p_f$

Compensazione per effetto di variazioni della pressione atmosferica a $t_f=60\text{min}$

$$\Delta p_{p_f} = p_{A_f} - p_{A_0}$$

Compensazione per effetto di variazioni della temperatura interna del contenitore a $t_f=60\text{min}$

(dalla legge dei gas perfetti, assumendo $V=\text{cost}$)

$$\Delta p_{T_f} = [(T_{i_f} - T_{i_0}) / T_{i_0}] \times p_{i_0}$$

Differenziale di pressione effettiva (compensata) del contenitore

$$\Delta p_{i_eff} = (\Delta p_f - \Delta p_0) + \Delta p_{p_f} + \Delta p_{T_f}$$

oppure

$$\Delta p_{i_eff} = (p_{i_f} - p_{i_0}) + \Delta p_{T_f}$$

APPENDICE C (informativa)

PROVE E MODELLI EMPIRICI PER DETERMINARE LA QUANTITÀ DI GAS GENERATO

La formazione di gas generato per radiolisi è strettamente legata alla dose applicata ed al rateo di dose e può essere espressa dalla seguente legge empirica [13]:

$$M \text{ (moli/h)} = k \times G \times D / N \times 100$$

dove:

k fattore di conversione per le unità di misura

N numero di Avogadro

G molecole di gas per 100 eV

D rateo di dose espresso in Gy/s

Nel caso di conglomerato di cemento, i valori tipici di G misurati sono mediamente compresi tra:

0,1 e 0,35 per irraggiamento gamma,

0,13 e 0,2 per irraggiamento beta,

0,3 e 0,7 per irraggiamento alfa.

L'irraggiamento gamma di cemento ad una dose di 10^6 Gy produce una quantità di gas, prevalentemente idrogeno, variabile in funzione del rateo di dose e non maggiore di 1 cm³/g [14] e [15].

La corrosione metallica può interessare i contenitori ed eventualmente il manufatto stesso, se inglobante solidi metallici. Il ferro metallico può essere attaccato direttamente dall'ossigeno e dall'acqua o solo da acqua (corrosione anaerobica); in questo ultimo caso è maggiore la quantità di idrogeno liberata. Se si trascura il consumo di idrogeno, per meccanismi di ricombinazione o di adsorbimento sulla superficie della matrice, la quantità di gas prodotta dipende esclusivamente dalla quantità di materiale che ha subito corrosione (Q), secondo le relazioni:

$$Q = S \times \rho \times v$$

$$N = \frac{Q}{56} \times \frac{NH_2}{NFe}$$

dove:

Q è espressa in g/anno

S superficie del contenitore

ρ massa volumica, g/cm³

v velocità di corrosione in cm/anno

N moli/anno di idrogeno

NH₂/NFe rapporto stechiometrico nella reazione di corrosione.

Un metodo sperimentale utilizzato per la misura di gas generati nella matrice di condizionamento da diversi fenomeni chimico-fisici prevede un campionamento da un recipiente di acciaio, ermetico ai gas, in cui è posizionato il campione da irraggiare. Il sistema è dotato di un gasometro per l'analisi simultanea dei gas prodotti e di un dispositivo in grado di misurare l'espansione indotta dall'accumulo di gas. L'analisi qualitativa e

UNI1613904

quantitativa dei gas è condotta attraverso gas-cromatografo e spettrometro di massa. I risultati sono espressi in litri al kilogrammo di campione e per unità di dose assorbita [16].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Ministeriale 7 agosto 2015 – Classificazione dei rifiuti radioattivi, ai sensi dell'articolo 5 del Decreto Legislativo 4 marzo 2014, n. 45;
- [2] Decreto Legislativo 31/2010 (ss.mm.ii.) – Disciplina dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché benefici economici, a norma dell'articolo 25 della Legge 23 luglio 2009, n. 99;
- [3] Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC);
- [4] Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101 – Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. (20G00121);
- [5] Guida Tecnica n. 33 - Criteri di sicurezza nucleare e radioprotezione per la gestione dei rifiuti radioattivi – 04/2023;
- [6] IAEA – General Safety Guide – GSG-1 – Classification of Radioactive waste – 2009;
- [7] IAEA Safety Standards Series No. SSR-6. “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”. 2018 Edition;
- [8] IAEA Specific Safety Guide No. SSG-26. “Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”. 2018 Edition;
- [9] ISO 1161 – Series 1 freight containers - Corner and intermediate fittings – Specifications;

- [10] ANSI – ANS 16.1:2019 – Measurement of the Leachability of Solified Low-level Radioactive Wastes by a Short-Term Test Procedure;
- [11] ASTM G 21 – 15 – Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi;
- [12] ASTM D 635-14 – Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position.
- [13] Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repositories – Proceedings of a Workshop Organised by NEA in Co-Operation With Andra, Aix-En-Provence (Disposal of Radioactive Waste), (1992)
- [14] IAEA Technical Report Series No 254 - Treatment of spent ion-exchange resins for storage and disposal, (1985)
- [15] [Neilson and Colombo - Properties of Radioactive Wastes and Waste Containers, First Topical Report, BNL NUREG-50957, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, (Jan. 1979)
- [16] [W. G. Burns, F. T. Ewart, J. Hobley, A. J. Smith, W. S. Walters, S. J. Williams - Radiolytic oxidation. Task 3. Characterization of radioactive waste forms. A series of final reports (1985-89). No. 25. Commission European Communities, [Rep.] EUR, Issue EUR 13670, (1991)

Copyright

Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.