



**Ispettorato Nazionale  
per la Sicurezza Nucleare  
e la Radioprotezione**



# GUIDA TECNICA N. 33

## Criteri di sicurezza nucleare e radioprotezione per la gestione dei rifiuti radioattivi

04/2023

(blank)



**Ispettorato Nazionale  
per la Sicurezza Nucleare  
e la Radioprotezione**

---

**GUIDA TECNICA ISIN N.33**

**CRITERI DI SICUREZZA NUCLEARE E  
RADIOPROTEZIONE PER LA GESTIONE DEI  
RIFIUTI RADIOATTIVI**

**Gennaio 2023**

(blank)

Le Guide Tecniche, emesse ai sensi dell'articolo Art. 236 del Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101, sono documenti con cui l'ISIN diffonde norme di buona tecnica che definiscono le procedure di attuazione, sul piano tecnico-operativo, delle disposizioni di legge in materia di sicurezza nucleare e di radioprotezione, stabilendo altresì i criteri e le metodologie con cui intende svolgere la propria azione di controllo.

(blank)

# Criteria di sicurezza nucleare e radioprotezione per la gestione dei rifiuti radioattivi

## Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Scopo e campo di applicazione</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Definizioni e Acronimi</b> .....	<b>2</b>
2.1 Definizioni.....	2
2.2 Acronimi.....	4
<b>3. Normativa di riferimento</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Principi, obiettivi e criteri generali di gestione</b> .....	<b>7</b>
4.1 Radioprotezione dei lavoratori, della popolazione e tutela dell'ambiente .....	7
4.2 Riduzione della quantità di rifiuti prodotti .....	7
4.3 Classificazione dei rifiuti radioattivi .....	8
4.4 Modalità di gestione dei rifiuti radioattivi.....	8
4.5 Sistema di gestione.....	8
<b>5. Criteri di gestione dei rifiuti radioattivi</b> .....	<b>10</b>
5.1 Rifiuti a vita media molto breve.....	10
5.2 Rifiuti di attività molto bassa .....	10
5.3 Rifiuti di bassa attività.....	11
5.4 Rifiuti di media attività.....	11
5.5 Rifiuti di alta attività.....	12
5.6 Sorgenti dismesse.....	12
<b>6. Fasi della gestione dei rifiuti radioattivi</b> .....	<b>14</b>
6.1 Caratterizzazione .....	14
6.2 Trattamento e condizionamento .....	15
6.2.1 <i>Trattamento e condizionamento presso impianti esteri</i> .....	17
6.2.2 <i>Qualificazione del processo di condizionamento</i> .....	18
6.3 Classificazione ai fini del trasporto di rifiuti condizionati .....	20
6.3.1 <i>Requisiti per il trasporto di rifiuti condizionati</i> .....	20
6.4 Schedatura, etichettatura e sistema di registrazione dati .....	21
6.5 Stoccaggio .....	22
6.6 Smaltimento.....	23
<b>7. Requisiti dei contenitori per rifiuti radioattivi</b> .....	<b>24</b>
7.1 Requisiti generali.....	24
7.2 Contenitori per rifiuti radioattivi di attività molto bassa, bassa e media .....	24
7.3 Contenitori speciali.....	24

7.4 Contenitori di stoccaggio e trasporto per il combustibile irraggiato e per rifiuti radioattivi di alta attività.....	25
--	----

<b>Allegato I – Condizionamento dei rifiuti radioattivi: Requisiti minimi dei manufatti ai fini dello smaltimento in impianti di superficie o dello stoccaggio di lunga durata .....</b>	<b>26</b>
--	-----------

## Introduzione

I principi fondamentali alla base della gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi sono volti ad assicurare che i lavoratori, la popolazione e l'ambiente siano protetti dai pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti, tenendo anche conto dell'impatto sulle generazioni future. I rifiuti radioattivi, prodotti nelle attività disciplinate dalle norme vigenti sull'impiego pacifico dell'energia nucleare e sull'uso delle radiazioni ionizzanti, si presentano sotto varie forme e con un contenuto di radioattività molto variabile. Essi presentano caratteristiche sia fisiche e chimiche (es. stato fisico, composizione chimica) sia radiologiche (es. tipo di radiazione emessa, concentrazione di attività, tempo di dimezzamento dei radionuclidi contenuti) molto diverse e comportano, pertanto, la necessità di una loro gestione differenziata.

Tale gestione si articola in varie fasi che comprendono la produzione, la raccolta, la caratterizzazione, la cernita, il trattamento, il condizionamento, lo stoccaggio, lo smaltimento e il trasporto che può intervenire nelle varie fasi. Inoltre, la gestione dei rifiuti radioattivi è strettamente connessa ai processi e agli impianti che li generano, in quanto questi aspetti possono influenzare in larga misura sia la natura che le quantità dei rifiuti prodotti.

## 1. Scopo e campo di applicazione

1.1 La presente Guida Tecnica:

- sostituisce la Guida Tecnica n. 26 “*Gestione dei rifiuti radioattivi*” (ENEA-DISP, 1987);
- definisce i criteri generali che devono essere rispettati, secondo un approccio graduato, per una corretta gestione dei rifiuti radioattivi, tenendo conto della natura e del rischio radiologico associato a ciascuna tipologia di rifiuto e della loro classificazione secondo il Decreto 7 agosto 2015 “*Classificazione dei rifiuti radioattivi, ai sensi dell’articolo 5 del Decreto Legislativo 4 marzo 2014, n. 45*”;
- stabilisce i requisiti minimi per il condizionamento dei rifiuti radioattivi ai fini dello stoccaggio e dello smaltimento, suddivisi in funzione della classificazione dei rifiuti e della tipologia di condizionamento, ai sensi del Decreto 7 agosto 2015;
- descrive le principali fasi di gestione dei rifiuti radioattivi: raccolta e selezione, caratterizzazione, classificazione, trattamento e condizionamento, schedatura ed etichettatura, stoccaggio e smaltimento e ne stabilisce i requisiti;
- stabilisce i riferimenti normativi ai fini della classificazione e del trasporto dei rifiuti radioattivi condizionati.

1.2 La presente Guida Tecnica si applica alla gestione dei rifiuti radioattivi prodotti nelle attività disciplinate dalle norme vigenti sull'impiego pacifico dell'energia nucleare e sull'uso delle radiazioni ionizzanti, ovvero alle seguenti tipologie:

- rifiuti radioattivi, solidi e liquidi, prodotti nell'ambito dell'esercizio e dello smantellamento delle installazioni nucleari;
- combustibile irraggiato non riprocessato e considerato come rifiuto;
- sorgenti non sigillate e sigillate dismesse, quando considerate rifiuto;
- materiali contaminati con radionuclidi provenienti da attività di bonifica in seguito ad incidenti (ad es. fusione di sorgenti sigillate o rilasci indebiti nell'ambiente);
- rifiuti radioattivi prodotti nell'ambito di attività mediche, di ricerca ed in campo industriale.

1.3 La presente Guida Tecnica non si applica a:

- materiali e rifiuti contenenti radionuclidi naturali (NORM e TENORM) provenienti da pratiche di cui al Capo II del Titolo IV del D.Lgs. n. 101/2020;
- effluenti aeriformi e liquidi smaltiti nell'ambiente ai sensi dell'art. 54 del D.Lgs. n. 101/2020;
- rifiuti e materiali solidi allontanati ai sensi dell'art.54 del D.Lgs. n.101/2020.

1.4 I criteri di sicurezza e di radioprotezione per le installazioni di trattamento, condizionamento, stoccaggio e smaltimento sono stabiliti con specifiche guide tecniche emanate dall'Ispettorato.

## 2. Definizioni e Acronimi

### 2.1 Definizioni

Ai fini della presente Guida Tecnica, oltre alle definizioni stabilite nella legislazione in materia di sicurezza nucleare e di radioprotezione, si applicano le seguenti definizioni:

#### 2.1.1 *Approccio graduato*

L'applicazione dei criteri di sicurezza commisurata alle caratteristiche di tutte le attività attinenti alla gestione dei rifiuti radioattivi e quindi all'entità ed alla probabilità delle esposizioni, nonché al rischio potenziale associato alle varie condizioni operative.

#### 2.1.2 *Condizionamento*

Processo effettuato sul rifiuto radioattivo allo scopo di produrre un manufatto idoneo alla movimentazione, al trasporto, allo stoccaggio temporaneo e al conferimento all'impianto di smaltimento con l'obiettivo di minimizzare le dosi agli operatori e i rischi connessi al trasferimento di radionuclidi e di sostanze pericolose dai rifiuti all'ambiente. Queste operazioni possono includere la conversione del rifiuto in una forma solida e stabile e l'inserimento in un contenitore di adeguate caratteristiche.

#### 2.1.3 *Confinamento*

Isolamento e contenimento dei radionuclidi dalla biosfera mediante l'utilizzo di barriere statiche e/o dinamiche allo scopo di prevenire il rilascio dei materiali radioattivi nell'ambiente circostante.

#### 2.1.4 *Contenitore*

Struttura tipicamente cilindrica o prismatica in cui vengono inseriti i rifiuti radioattivi, ai fini della loro gestione.

#### 2.1.5 *Contenitore speciale*

Contenitore le cui caratteristiche assicurano il condizionamento del rifiuto senza l'impiego di alcuna matrice.

#### 2.1.6 *Criteri di accettazione*

Criteri qualitativi e/o quantitativi, specificati dall' esercente e approvati dall'ISIN, che fissano le caratteristiche tecniche dei manufatti per la loro accettazione al deposito di stoccaggio temporaneo o all'impianto di smaltimento.

#### 2.1.7 *Deposito di stoccaggio temporaneo*

L'insieme di strutture, sistemi e componenti (SSC) progettati e realizzati per lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti radioattivi, di sorgenti dismesse o del combustibile irraggiato in attesa di essere trasferiti all'impianto di smaltimento o al deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata.

#### 2.1.8 *Deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata*

Deposito di lunga durata, quale quello previsto nella struttura del Deposito nazionale e Parco Tecnologico di cui al Decreto Legislativo n. 31/2010, progettato per lo stoccaggio di rifiuti radioattivi a media ed alta attività e di combustibile irraggiato in attesa del loro smaltimento definitivo in formazioni geologiche profonde.

#### *2.1.9 Imballaggio*

Uno o più involucri e ogni altro componente o materiale necessario ai contenitori per assicurare il contenimento e le altre funzioni di sicurezza per il trasporto.

#### *2.1.10 Immobilizzazione*

Conversione di un rifiuto in una forma atta a mitigare la migrazione o la dispersione dei radionuclidi mediante solidificazione o inglobamento.

#### *2.1.11 Impianto di smaltimento di superficie*

Struttura ingegneristica per lo smaltimento di rifiuti radioattivi condizionati situato in superficie o fino a poche decine di metri di profondità dalla superficie, in grado di garantire l'isolamento dei rifiuti dalla biosfera per alcune decine o centinaia di anni.

#### *2.1.12 Impianto di smaltimento in formazione geologica profonda*

Struttura per lo smaltimento di rifiuti radioattivi condizionati situato in formazioni geologiche stabili ad alcune centinaia di metri in profondità, in grado di garantire l'isolamento dei rifiuti dalla biosfera per alcune decine o centinaia di migliaia di anni.

#### *2.1.13 Inglobamento*

Condizionamento dei rifiuti radioattivi solidi mediante loro incorporazione in una matrice stabile qualificata, all'interno di un contenitore anch'esso qualificato, con ottenimento di un manufatto eterogeneo.

#### *2.1.14 Manufatto*

L'insieme costituito dal contenitore e dal rifiuto condizionato in esso contenuto (con o senza impiego di matrici di condizionamento), idoneo alla movimentazione, al trasporto, allo stoccaggio e allo smaltimento.

#### *2.1.15 Matrice*

Materiale (ad es. malta cementizia, vetro, ecc.) utilizzato per il condizionamento dei rifiuti radioattivi la cui composizione ottimale viene definita mediante prove di laboratorio, secondo protocolli ben definiti (qualificazione) e che presenta specifiche proprietà di compatibilità con il rifiuto da condizionare e resistenza a diversi processi degenerativi.

#### *2.1.16 Piano di Qualificazione e Controllo*

Documento che, con riferimento ai requisiti di produzione dei manufatti, indica i parametri, i criteri, le norme applicabili e le prove per la qualificazione del processo di condizionamento dei rifiuti radioattivi.

#### *2.1.17 Proprietario del rifiuto*

La persona fisica o giuridica avente titolo legale sul rifiuto radioattivo.

#### *2.1.18 Recuperabilità*

La capacità di recuperare i rifiuti collocati nell'impianto di smaltimento.

#### *2.1.19 Reversibilità*

La possibilità di ripristinare le condizioni che sussistono antecedentemente all'esecuzione delle operazioni di smaltimento.

### *2.1.20 Rifiuto radioattivo con altre caratteristiche di pericolosità*

Rifiuto radioattivo che contiene materiali che, oltre quello radiologico, presentano anche rischi di pericolosità di natura convenzionale che possono causare effetti indesiderati per la popolazione o per l'ambiente, secondo quanto previsto dal D.Lgs. n. 152/2006 e successive modifiche.

### *2.1.21 Solidificazione*

Processo di immobilizzazione dei rifiuti radioattivi liquidi o pulverulenti, mediante loro miscelazione in una matrice stabile per ottenere un solido omogeneo.

### *2.1.22 Trattamento*

Complesso di operazioni che, mediante l'applicazione di processi fisici, chimici e/o meccanici, modificano la forma fisica e/o la composizione chimica dei rifiuti radioattivi con l'obiettivo principale di operare una riduzione del volume e/o una rimozione dei radionuclidi dai rifiuti e/o di preparare i rifiuti radioattivi alla successiva fase di condizionamento.

## 2.2 Acronimi

HLW	High Level Waste
IAEA	International Atomic Energy Agency
ILW	Intermediate Level Waste
LLW	Low Level Waste
NORM	Naturally Occurring Radioactive Materials
PQC	Piano di Qualificazione e Controllo
TENORM	Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials
VLLW	Very Low Level Waste
VSLW	Very Short-Lived Waste

### 3. Normativa di riferimento

Si riportano i riferimenti normativi vigenti al momento dell'emissione della presente Guida Tecnica. Essi andranno aggiornati ed integrati al momento dell'utilizzo.

#### **Normativa nazionale**

- [RIF 1] Legge n. 1860 del 31 dicembre 1962 e successive modifiche.
- [RIF 2] Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101 recante “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”.
- [RIF 3] Decreto Legislativo. 4 marzo 2014, n. 45 e successive modifiche - “Attuazione della Direttiva 2011/70/EURATOM che istituisce un quadro comunitario per la sicurezza della gestione dei rifiuti radioattivi e del combustibile esaurito”.
- [RIF 4] Decreto Legislativo 15 febbraio 2010, n. 31 e successive modifiche “Disciplina della localizzazione, della realizzazione e dell'esercizio nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare, di impianti di fabbricazione del combustibile nucleare, dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché misure compensative e campagne informative al pubblico, a norma dell'articolo 25 della legge 23 luglio 2009, n. 99”.
- [RIF 5] Decreto 7 agosto 2015 “Classificazione dei rifiuti radioattivi, ai sensi dell'articolo 5 del decreto legislativo 4 marzo 2014, n. 45”.
- [RIF 6] Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e successive modifiche “Norme in materia ambientale”.
- [RIF 7] DPR 15 luglio 2003, n. 254 “Regolamento recante disciplina della gestione dei rifiuti sanitari a norma dell'articolo 24 della legge 31 luglio 2002, n. 179”.
- [RIF 8] Programma Nazionale per la gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi (2019).

#### **Guide, raccomandazioni e requisiti normativi internazionali**

- [RIF 9] WENRA Report – “Radioactive Waste Treatment and Conditioning Safety Reference Levels” [2018]
- [RIF 10] IAEA Safety Standards No. GSG-1 – “Classification of Radioactive Waste” [2009]
- [RIF 11] IAEA Safety Requirements No. GSR Part 5 – “Predisposal Management of Radioactive Waste” [2009]
- [RIF 12] IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1) – “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”, 2018 Edition
- [RIF 13] IAEA Safety Standards Series No. SSG-26 (Rev.1) – “Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”, 2018 Edition
- [RIF 14] IAEA Safety Standards Series No. SSG-33 (Rev.1) “Schedules of Provisions of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”, 2018 Edition
- [RIF 15] IAEA Specific Safety Guide No. SSG-40 – “Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Research Reactors” [2016]
- [RIF 16] IAEA Specific Safety Guide No. SSG-41 – “Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Fuel Cycle Facilities” [2016]

- [RIF 17] IAEA Specific Safety Guide No. SSG-45 – “Predisposal Management of Radioactive Waste from the Use of Radioactive Material in Medicine, Industry, Agriculture, Research and Education” [2019]
- [RIF 18] ADR 2021 – “Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road”
- [RIF 19] The IMDG Code ”The International Maritime Dangerous Goods (IMDG)”, 2020 Edition
- [RIF 20] ICAO “Technical Instructions of the Safe Transport of Dangerous Goods by Air”, 2021-22 Edition
- [RIF 21] RID 2021 “Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID)”
- [RIF 22] ADN 2021 “European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways”
- [RIF 23] UN – “Recommendations on the Transport of Dangerous Goods – Model Regulations (Rev.22)” [2021]

### **Guide Tecniche e Manuali**

- [RIF 24] ENEA DISP Guida Tecnica n. 26 “Gestione dei rifiuti radioattivi” [1987]
- [RIF 25] ISPRA Guida Tecnica n. 29 “Criteri per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività” [2014]
- [RIF 26] ISIN Guida Tecnica n. 30 “Criteri di sicurezza e radioprotezione per depositi di stoccaggio temporaneo di rifiuti radioattivi e di combustibile irraggiato” [2020]
- [RIF 27] ISIN Guida Tecnica n. 31 “Criteri di sicurezza e radioprotezione per la disattivazione delle installazioni nucleari” [2022]
- [RIF 28] ISIN Guida Tecnica n. 32 “Criteri di sicurezza e di radioprotezione per impianti ingegneristici di smaltimento in superficie di rifiuti radioattivi” [2022]

### **Norme Tecniche**

- [RIF 29] UNI 10621 “Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Caratterizzazione” [2011]
- [RIF 30] UNI 10755 “Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Colorazione, marcatura, schedatura e registrazione” [2011]
- [RIF 31] UNI 11193 “Metodi di prova per la qualificazione dei processi di condizionamento per manufatti appartenenti alla Categoria 2” [2006]
- [RIF 32] UNI 11196 “Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Contenitori per il deposito finale di manufatti appartenenti alla Categoria 2” [2006]
- [RIF 33] UNI EN ISO 9001 – “Sistemi di gestione per la qualità – Requisiti” [2015]
- [RIF 34] UNI CEI EN ISO/IEC 17025 – “Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura” [2018]
- [RIF 35] UNI 11784 “Manufatti di rifiuti radioattivi - Contenitori per rifiuti radioattivi solidi di media attività - Caratteristiche e requisiti” [2020]

## 4. Principi, obiettivi e criteri generali di gestione

### 4.1 Radioprotezione dei lavoratori, della popolazione e tutela dell'ambiente

#### 4.1.1 Principi generali

Il principio fondamentale per la gestione dei rifiuti radioattivi prodotti dall'impiego pacifico dell'energia nucleare e dall'uso delle radiazioni ionizzanti è assicurare che i lavoratori e la popolazione siano protetti dai pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

La gestione dei rifiuti radioattivi deve garantire la tutela dell'ambiente.

I rifiuti radioattivi devono essere gestiti in sicurezza dal momento della loro produzione fino al loro smaltimento, evitando oneri per le generazioni future.

I soggetti che, a qualsiasi titolo, gestiscono rifiuti radioattivi devono stabilire un sistema di gestione orientato alla cultura della protezione e della sicurezza.

#### 4.1.2 Obiettivi di radioprotezione

Per la gestione dei rifiuti radioattivi i principi fondamentali, di cui al paragrafo 4.1.1, si traducono nei seguenti obiettivi:

- mantenere le esposizioni dei lavoratori e della popolazione al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenendo in considerazione fattori economici e sociali (principio di ottimizzazione) e fissando, ove richiesto, gli opportuni vincoli di dose;
- assicurare la protezione dei lavoratori e della popolazione e la tutela dell'ambiente a fronte dei rischi associati a eventuali situazioni incidentali;
- porre in essere tutte le precauzioni atte a ridurre al minimo il rischio di insorgenza di incidenti con potenziale rilascio di radioattività;
- mitigare le conseguenze derivanti da situazioni incidentali qualora queste si verificino.

#### 4.1.3 Criteri di radioprotezione

Devono, in particolare, essere assicurati:

- lo schermaggio delle radiazioni;
- l'ottimizzazione delle operazioni;
- il confinamento della radioattività;
- il controllo della eventuale presenza di contaminazione;
- l'impiego di personale qualificato;
- lo svolgimento delle attività attraverso un sistema di gestione;
- l'impiego di sistemi di monitoraggio.

### 4.2 Riduzione della quantità di rifiuti prodotti

4.2.1 Nella gestione dei rifiuti radioattivi devono essere adottati adeguati provvedimenti atti a minimizzare la loro produzione in termini di massa e volume.

4.2.2 Devono essere ottimizzati tutti gli aspetti tecnici, gestionali e amministrativi, riguardanti le fasi di

progettazione tecnica e/o le modalità operative degli impianti o delle apparecchiature, la selezione di processi, che hanno o possono avere un'influenza sugli obiettivi di minimizzazione di cui al punto precedente.

## 4.3 Classificazione dei rifiuti radioattivi

4.3.1 I rifiuti radioattivi sono classificati, ai sensi del Decreto 7 agosto 2015 [RIF 5] e con riferimento al Safety Standard IAEA sulla classificazione dei rifiuti [RIF10], nelle seguenti cinque categorie:

- rifiuti radioattivi a vita media molto breve (VSLW);
- rifiuti radioattivi di attività molto bassa (VLLW);
- rifiuti radioattivi di bassa attività (LLW);
- rifiuti radioattivi di media attività (ILW);
- rifiuti radioattivi di alta attività (HLW).

4.3.2 A ciascuna categoria di rifiuto radioattivo corrispondono specifiche modalità di gestione e, in particolare, soluzioni di smaltimento nel rispetto della strategia nazionale di gestione dei rifiuti radioattivi.

4.3.3 La classificazione si riferisce ai rifiuti radioattivi condizionati. I rifiuti radioattivi, solidi e liquidi prodotti, sono preliminarmente classificati, in relazione alla tipologia di condizionamento per essi prevista, nel rispetto dell'obiettivo di minimizzazione dei volumi finali dei rifiuti condizionati prodotti.

4.3.4 Il rispetto dei livelli, in termini di condizioni e/o concentrazioni di attività, riportati nella Tabella 1 del Decreto 7 agosto 2015 è riferito alla fase di smaltimento dei manufatti. Tali livelli devono essere verificati al termine del processo di condizionamento e nella fase di stoccaggio temporaneo, al fine di stabilire la destinazione finale dei manufatti, come previsto nello schema di classificazione dei rifiuti radioattivi di cui al Decreto 7 agosto 2015.

## 4.4 Modalità di gestione dei rifiuti radioattivi

4.4.1 I rifiuti radioattivi devono essere suddivisi in modo da poter gestire separatamente rifiuti appartenenti a categorie di classificazione diverse.

4.4.2 Tutti i rifiuti prodotti devono essere gestiti, accumulati o stoccati, ove possibile, per gruppo omogeneo di provenienza (con riferimento al sistema/componente di impianto da cui è prodotto), nonché per omogeneità di materiale e classe merceologica.

4.4.3 Nell'ambito della stessa categoria o sottocategoria devono essere messe in atto, quando applicabile, tecniche che fanno ricorso a una miscelazione delle diverse tipologie di rifiuti, verificato preventivamente che non siano presenti incompatibilità fisiche e chimiche tali da poter generare processi che possano degradare il manufatto, anche nel lungo periodo, al fine di realizzare una congrua riduzione dei volumi finali di rifiuti condizionati.

## 4.5 Sistema di gestione

4.5.1 Il titolare della licenza deve stabilire, attuare, valutare e migliorare con continuità un Sistema di Gestione che sia applicabile a tutte le attività che vengono svolte nell'installazione che gestisce i rifiuti radioattivi. A tale scopo deve:

- prendere in considerazione in maniera coerente tutti i requisiti di gestione della struttura organizzativa;

- assicurare che i requisiti gestionali siano considerati congiuntamente con quelli riguardanti la salute, l'ambiente, la protezione fisica, la qualità e gli aspetti economici al fine di evitare che le esigenze gestionali abbiano un impatto negativo su di essi;
- descrivere le azioni pianificate e sistematiche che sono necessarie per assicurare il soddisfacimento di tutti i requisiti gestionali.

4.5.2 Il Sistema di Gestione deve coprire tutte le fasi di gestione dei rifiuti radioattivi individuate nel capitolo 6 della presente guida, nonché le azioni da intraprendere nelle situazioni anomale e di emergenza.

4.5.3 Il Sistema di Gestione deve essere in linea con gli obiettivi della struttura organizzativa e deve contribuire al loro conseguimento.

4.5.4 Devono essere identificati i processi del Sistema di Gestione necessari per raggiungere gli obiettivi e devono essere assicurati i mezzi per soddisfare tutti i requisiti. Lo sviluppo di tali processi deve essere pianificato, attuato, valutato e continuamente migliorato, attraverso apposite procedure, istruzioni operative o altri mezzi appropriati che devono essere periodicamente rivisti per assicurare la loro adeguatezza ed efficacia.

4.5.5 La documentazione del Sistema di Gestione deve includere:

- la dichiarazione della politica di sicurezza del titolare della licenza;
- la descrizione del Sistema di Gestione;
- la descrizione della struttura organizzativa;
- la descrizione delle responsabilità funzionali, dei compiti, dei livelli di autorità e della modalità di interazione del personale coinvolto nella gestione, nell'esecuzione e nella valutazione delle attività lavorative;
- la descrizione delle interfacce con le organizzazioni esterne;
- la descrizione dei processi e le informazioni di supporto che spiegano le modalità di predisposizione, assegnazione, esecuzione, supervisione, valutazione e miglioramento delle attività lavorative.

4.5.6 Le attività rilevanti per la sicurezza nucleare devono essere svolte in accordo al Programma della Qualità (PdQ) vigente nell'installazione.

## 5. Criteri di gestione dei rifiuti radioattivi

### 5.1 Rifiuti a vita media molto breve

5.1.1 I rifiuti a vita media molto breve devono essere conservati in un deposito di stoccaggio temporaneo per un periodo di tempo sufficiente al raggiungimento di valori di concentrazione di attività di massa inferiori a quanto indicato nella Tabella I-1B dell'allegato I del D.Lgs. n. 101/2020 e smaltiti nel rispetto degli obiettivi di protezione sanitaria e di tutela dell'ambiente secondo le indicazioni stabilite dal D.Lgs. n. 152/2006 e ss.mm.ii e tenendo conto, nel caso di rifiuti di provenienza sanitaria, del DPR 15 luglio 2003, n. 254.

5.1.2 Qualora nel rifiuto siano presenti radionuclidi con diversi tempi di dimezzamento, deve essere effettuata una cernita, sul luogo di produzione, al fine di ottimizzare la loro gestione (permanenza) nel deposito. Qualora questa operazione non sia possibile, il tempo di permanenza nel deposito è determinato considerando i radionuclidi a tempo di dimezzamento più lungo.

5.1.3 In aggiunta alle proprietà radioattive deve essere considerata ogni altra proprietà pericolosa dei rifiuti, come esplosività, infiammabilità, tossicità chimica, infettività e corrosività, prevedendo l'adozione di specifiche modalità di gestione.

5.1.4 I rifiuti devono essere conservati nel deposito in contenitori atti a garantirne il confinamento, anche tenendo conto dei processi di interazione chimico-fisica tra rifiuto e contenitore e tra contenitore ed ambiente, avendo particolare riguardo alla valutazione del comportamento del rifiuto nelle condizioni normali, anomale e incidentali (ad es. incendio).

5.1.5 Eventuali trattamenti di questi rifiuti, richiesti da specifiche condizioni di necessità, potranno essere eseguiti previa approvazione dell'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo.

5.1.6 Al fine di ridurre eventuali problemi di contaminazione del contenitore, nel caso di un suo previsto riutilizzo, è opportuno che i rifiuti vengano raccolti in un ulteriore sistema di contenimento (ad es. sacchi in materiale plastico), scelto in modo tale da non incrementare né il carico di pericolosità chimica, né il carico di fuoco.

5.1.7 In aggiunta alle informazioni di cui al paragrafo 6.4, per questo tipo di rifiuto deve essere istituito un sistema di registrazione che indichi, per ogni contenitore:

- le eventuali sostanze aventi altre caratteristiche di pericolosità più significative secondo la classificazione vigente;
- la data di chiusura del contenitore in cui sono confezionati i rifiuti e la loro provenienza.

5.1.8 Per la valutazione delle concentrazioni di attività possono essere adottati anche metodi indiretti, (ad es. fattori di correlazione).

### 5.2 Rifiuti di attività molto bassa

5.2.1 I rifiuti di tipo solido secco che, anche a seguito di eventuali processi di trattamento finalizzati alla riduzione del volume, presentino concentrazioni di attività inferiori a quelle indicate per i rifiuti di attività molto bassa nella Tabella 1 del Decreto 7 agosto 2015, possono essere conferiti all'impianto di smaltimento senza un loro preventivo condizionamento. Tali rifiuti sono in genere costituiti da oggetti contaminati o leggermente attivati, quali ad esempio, stracci, carta, vestiario, attrezzi e componenti di origine e genere diversi.

5.2.2 I rifiuti radioattivi ad attività molto bassa devono essere conservati in depositi di stoccaggio temporaneo, fino

al conferimento all'impianto di smaltimento di superficie.

5.2.3 I rifiuti solidi, per i quali dopo un periodo di tempo fino a circa dieci anni si verifica che il contenuto radiologico decade a valori inferiori a quelli indicati nella Tabella I-1B dell'allegato I del D.Lgs. n. 101/2020, possono essere rilasciati e gestiti secondo le indicazioni dettate dal D.Lgs. n. 152/2006 e ss.mm.ii.

5.2.4 Nel caso di rifiuti liquidi, semi-liquidi o pulverulenti, è richiesta la solidificazione. Per i rifiuti pulverulenti, se non è praticabile la solidificazione diretta, si deve predisporre una seconda barriera di contenimento (ad es. sacchi in polietilene all'interno del fusto prima della supercompattazione o all'interno del contenitore "overpack" nel quale sono inseriti i fusti compattati).

5.2.5 Le caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei manufatti prodotti a seguito del confezionamento dei rifiuti in contenitori devono soddisfare i requisiti definiti al paragrafo 6.3.1 e nella Tabella I-1 dell'Allegato I nonché i criteri di accettazione dei rifiuti all'impianto di smaltimento di superficie.

5.2.6 Le caratteristiche dei contenitori per i rifiuti radioattivi ad attività molto bassa sono riportate nei paragrafi 7.1 e 7.2.

### 5.3 Rifiuti di bassa attività

5.3.1 I rifiuti radioattivi di bassa attività devono essere caratterizzati radiologicamente per verificare le concentrazioni di attività di massa dei principali radionuclidi presenti nei manufatti, con particolare riferimento alla determinazione delle concentrazioni di radionuclidi a lunga vita.

5.3.2 I rifiuti radioattivi di bassa attività devono essere sottoposti a specifici processi di condizionamento qualificati, di cui al paragrafo 6.2, per assicurare che le caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei manufatti prodotti, soddisfino i requisiti definiti al paragrafo 6.3.1 e nelle Tabelle I-2 e I-3 dell'Allegato I nonché i criteri di accettazione per il conferimento all'impianto di smaltimento di superficie.

5.3.3 Le attività di qualificazione del processo di condizionamento, di cui al paragrafo 6.2.2, devono essere condotte sulla base di un Piano di Qualificazione e Controllo i cui contenuti sono specificati al paragrafo 6.2.2.1.

5.3.4 I rifiuti di bassa attività devono essere conservati in depositi di stoccaggio temporaneo in attesa del conferimento all'impianto di smaltimento di superficie.

5.3.5 Le caratteristiche dei contenitori per i rifiuti radioattivi a bassa attività sono riportate nei paragrafi 7.1 e 7.2.

5.3.6 Per i rifiuti radioattivi solidi di bassa attività è consentito, previa specifica approvazione dell'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo, l'utilizzo di contenitori speciali le cui caratteristiche devono soddisfare i criteri riportati nei paragrafi 7.1 e 7.3.

### 5.4 Rifiuti di media attività

5.4.1 I rifiuti radioattivi di media attività devono essere caratterizzati radiologicamente per verificare le concentrazioni di attività dei principali radionuclidi presenti nei manufatti, con particolare riferimento alla determinazione delle concentrazioni di radionuclidi a lunga vita, anche al fine di valutare la possibilità di conferimento nell'impianto di smaltimento di superficie, secondo quanto previsto dal Decreto 7 agosto 2015.

5.4.2 I rifiuti radioattivi di media attività devono essere sottoposti a specifici processi di condizionamento qualificato, di cui al paragrafo 6.2.

5.4.3 Nel caso di rifiuti per i quali sia stata accertata la conferibilità all'impianto di smaltimento di superficie, le caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei manufatti prodotti devono soddisfare i requisiti definiti al paragrafo 6.3.1 e nelle Tabelle I-4 e I-5 dell'Allegato I nonché i criteri di accettazione al suddetto impianto di smaltimento di superficie.

5.4.4 Nel caso di rifiuti che si prevede non possano essere smaltiti in un impianto di superficie, le caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei manufatti prodotti devono soddisfare i requisiti definiti al paragrafo 6.3.1 e nelle Tabelle I-4 e I-5 dell'Allegato I nonché i criteri di accettazione del deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata.

5.4.5 Le attività di qualificazione del processo di condizionamento, di cui al paragrafo 6.2.2, devono essere condotte sulla base di un Piano di Qualificazione e Controllo i cui contenuti sono riportati al paragrafo 6.2.2.1.

5.4.6 Le caratteristiche dei contenitori per i rifiuti radioattivi di media attività sono riportate nei paragrafi 7.1 e 7.2.

5.4.7 Per i rifiuti radioattivi solidi di media attività è consentito, previa specifica approvazione dell'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo, l'utilizzo di contenitori speciali le cui caratteristiche devono soddisfare i criteri riportati nei paragrafi 7.1 e 7.3.

5.4.8 La quantità di calore ammessa nei rifiuti di media attività va determinata in funzione della possibilità di condizionare il rifiuto senza rischiare fenomeni di degrado della matrice a causa del calore prodotto.

## 5.5 Rifiuti di alta attività

5.5.1 I rifiuti radioattivi di alta attività devono essere sottoposti a processi di condizionamento qualificati (ad es. vetrificazione) per assicurare che le caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei manufatti prodotti soddisfino i requisiti definiti al paragrafo 6.3.1 e nella Tabella I-6 dell'Allegato I nonché i criteri di accettazione al deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata.

5.5.2 Per quanto riguarda il combustibile irraggiato, nel caso sia scelta l'opzione dello smaltimento diretto in un deposito geologico, il suo condizionamento deve prevedere l'inserimento in contenitori a tenuta e resistenti alla corrosione. Tale condizionamento può essere preceduto o da trattamenti meccanici, quali disassemblaggio degli elementi, taglio delle barrette, ecc., atti a ridurre il volume, oppure da riconfezionamento in contenitori (ad es. capsule metalliche) quando il rivestimento (*cladding*) degli elementi risulta degradato.

5.5.3 Le caratteristiche dei contenitori per i rifiuti radioattivi ad alta attività e per il combustibile irraggiato sono riportate nei paragrafi 7.1 e 7.4.

## 5.6 Sorgenti dismesse

5.6.1 Per quanto riguarda la gestione delle sorgenti sigillate, come definite nel D.Lgs. n. 101/2020, non più in uso (dismesse) per le quali non è stato possibile la rispedizione al produttore ovvero la spedizione ad un impianto anche estero per il loro riutilizzo, è necessario mantenere l'identificazione di ogni singola sorgente e verificare se la tipologia e/o l'attività residua permetta il conferimento all'impianto di smaltimento di superficie. In tal caso, esse possono essere considerate come rifiuti radioattivi di bassa e media attività e gestite con le modalità descritte ai paragrafi 5.3 e 5.4.

5.6.2 Qualora più sorgenti vengano condizionate, mediante inglobamento nello stesso contenitore, tali sorgenti dovranno:

- essere distribuite, per quanto possibile, in modo omogeneo nel volume del contenitore;
- avere, per quanto possibile, attività dello stesso ordine di grandezza e stessa tipologia di radiazione emessa;
- essere caratterizzate da radionuclidi con tempi di dimezzamento simili.

5.6.3 I manufatti di sorgenti dismesse destinate allo smaltimento di superficie dovranno rispettare sia i requisiti riportati nelle Tabelle I.3 o I.5 sia i criteri di accettazione all'impianto di smaltimento di superficie.

5.6.4 Le sorgenti sigillate che non sono smaltibili in depositi superficiali dovranno:

- essere segregate e messe in sicurezza, eventualmente riconfezionate in contenitori speciali; gli eventuali processi di condizionamento messi in atto non devono essere irreversibili (ad es. inglobate in cemento);
- soddisfare i requisiti di accettazione del deposito temporaneo di stoccaggio di lunga durata.

5.6.5 Per la gestione delle sorgenti sigillate a vita molto breve valgono le modalità indicate nel paragrafo 5.1.

5.6.6 Per la gestione delle sorgenti non sigillate, quando considerate rifiuto, valgono i criteri di classificazione e le modalità di gestione dei rifiuti radioattivi.

## 6. Fasi della gestione dei rifiuti radioattivi

La gestione dei rifiuti radioattivi si articola in diverse fasi quali: raccolta, caratterizzazione, cernita, trattamento, condizionamento, stoccaggio, trasporto e smaltimento. Le modalità di gestione dipendono dalle caratteristiche tecniche dei rifiuti e dalle tipologie e concentrazioni dei radioisotopi in essi contenuti.

Alle categorie di rifiuti radioattivi definite nel Decreto 7 agosto 2015 corrispondono diverse strategie di gestione e, in particolare, diverse soluzioni di smaltimento, come illustrato nella Tabella 1 del decreto.

Il proprietario dei rifiuti è responsabile della strategia di gestione dei rifiuti radioattivi che deve tenere in considerazione le condizioni presenti nell'autorizzazione e tutte le possibili interdipendenze tra le varie fasi di gestione. Tale strategia deve essere coerente con la strategia nazionale di gestione dei rifiuti radioattivi come indicato nel Programma Nazionale [RIF 8].

Il proprietario dei rifiuti deve migliorare periodicamente la strategia globale di gestione dei rifiuti radioattivi, tenendo conto dei risultati delle esperienze pregresse e dei progressi della scienza e della tecnologia.

### 6.1 Caratterizzazione

6.1.1 La caratterizzazione dei rifiuti radioattivi si attua per mezzo di una serie di analisi e misurazioni finalizzate a determinare le caratteristiche chimiche, fisiche e radiologiche del rifiuto, ricorrendo anche a valutazioni basate sulle informazioni disponibili sulla sua storia.

6.1.2 La caratterizzazione dei rifiuti radioattivi consente di ottenere i dati e le informazioni necessari per:

- classificare i rifiuti;
- definire le modalità per il loro trattamento e condizionamento;
- valutare l'impatto radiologico connesso con queste attività;
- verificare il rispetto dei criteri di accettazione del deposito temporaneo;
- fornire le informazioni necessarie per la gestione dei rifiuti nel deposito stesso;
- verificare il rispetto dei criteri di accettazione per lo smaltimento.

6.1.3 Al fine di definire le modalità di trattamento e le precauzioni necessarie da intraprendere, è necessario effettuare una caratterizzazione radiologica del rifiuto, per quanto possibile, al momento della produzione. Caratterizzazioni radiologiche successive sono poi necessarie per verificare il trattamento e/o il condizionamento effettuato.

6.1.4 La caratterizzazione radiologica può essere attuata con l'utilizzo sia di procedure analitiche (modelli matematici e codici di calcolo), sia di misure radiometriche *in situ* e/o analisi radiochimiche di laboratorio su campioni. Le misure radiometriche *in situ* sono sempre di tipo non distruttivo (NDA "Non- Destructive Assay") mentre le misure in laboratorio possono essere effettuate sia con tecniche non distruttive sia con tecniche di analisi radiochimiche di tipo distruttivo ("Destructive Analysis" - DA). Ai fini della rilevazione dei radionuclidi di difficile rilevabilità (HTM - "Hard-to-Measure") le tecniche NDA non sono applicabili e pertanto è necessario ricorrere a tecniche DA.

## 6.2 Trattamento e condizionamento

6.2.1 I rifiuti radioattivi devono essere sottoposti, quando tecnicamente realizzabile, a processi di trattamento e a successivi specifici processi di condizionamento, ove previsto, con lo scopo di ridurre la pericolosità e assicurarne la gestione in sicurezza e di generare un manufatto qualificato idoneo a tutte le fasi successive della loro gestione.

6.2.2 Il proprietario dei rifiuti deve definire un programma di trattamento e condizionamento dei rifiuti, come richiesto in relazione alle loro caratteristiche, da attuarsi nei tempi tecnici strettamente necessari a valle della generazione.

6.2.3 Nella scelta dei processi di trattamento/condizionamento devono essere considerate tutte le caratteristiche dei rifiuti che, oltre alla radioattività, possono avere impatto sulla sicurezza in tutte le fasi di gestione, incluso lo smaltimento. Prima di essere sottoposti a tali processi, i suddetti rifiuti devono essere caratterizzati in relazione a parametri fisici, chimici e radiologici. Particolare attenzione deve essere riservata alla determinazione dei radionuclidi di difficile rilevabilità, anche attraverso metodi indiretti (ad es. fattori di correlazioni), delle componenti pericolose e delle componenti chimiche che possono influenzare negativamente i processi di trattamento/condizionamento.

6.2.4 Nell'ambito della scelta dei processi di trattamento/condizionamento, devono essere presi in considerazione vari fattori rilevanti, quali:

- la sicurezza nucleare e la radioprotezione;
- i rischi di natura convenzionale (ad es. utilizzazione di sostanze infiammabili, processi meccanici);
- la minimizzazione dei rifiuti secondari;
- la capacità di operare in garanzia di qualità.

6.2.5 Nelle operazioni di confezionamento preliminari al successivo trattamento e condizionamento non dovranno essere utilizzati materiali plastici contenenti cloro, fatti salvi casi eccezionali, preventivamente autorizzati dall'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo.

6.2.6 La modalità di confezionamento dei rifiuti deve essere compatibile con le caratteristiche dei rifiuti e con le fasi successive della gestione dei medesimi.

6.2.7 Gli operatori degli impianti di trattamento/condizionamento devono stabilire procedure per la ricezione dei rifiuti radioattivi al fine di garantire che le caratteristiche dei rifiuti ammessi al trattamento/condizionamento siano conformi ai criteri di accettazione dell'impianto.

6.2.8 I processi di trattamento/condizionamento devono essere condotti secondo un programma di garanzia della qualità che individui i parametri che possono influire sulla sicurezza operativa degli impianti e sulla qualità del prodotto, quali:

- le specifiche di accettazione dei rifiuti;
- i parametri di processo, con relativi limiti e condizioni;
- le caratteristiche dei sistemi/componenti di impianto rilevanti;
- gli adeguati metodi di controllo del processo che comprendano il tipo e la frequenza dei campionamenti o delle prove richieste.

6.2.9 I processi di trattamento sono finalizzati principalmente alla riduzione del volume dei rifiuti e/o alla preparazione dei medesimi per la successiva fase di condizionamento; essi possono essere di diversi tipi:

- fisico (quali l'evaporazione, la filtrazione, la centrifugazione), termico (come l'incenerimento) o meccanico (quali la supercompattazione, la frantumazione, il taglio); essi sono principalmente finalizzati alla riduzione del volume e/o ad una modifica della forma del rifiuto;

- chimico (quali la precipitazione, lo scambio ionico, l'estrazione con solvente), finalizzati alla separazione di componenti del rifiuto che possano influenzare negativamente le fasi successive di trattamento o condizionamento.

6.2.10 I rifiuti radioattivi possono essere sottoposti prima del trattamento a processi di decontaminazione finalizzati alla rimozione o alla riduzione della contaminazione radioattiva da superfici contaminate a livelli tali da consentire la gestione dei materiali, sottoposti al successivo trattamento/condizionamento, come rifiuti ad attività più bassa ovvero al rilascio incondizionato dei medesimi.

6.2.11 La decontaminazione può essere realizzata attraverso metodi meccanici (ad es. con abrasivi, operazioni di scarifica o lavaggio con acqua), chimici (ad es. con detergenti o soluzioni corrosive), elettrochimici, ad erosione termica ed altri metodi. La scelta della tecnica più idonea deve essere correlata al materiale da trattare e alla contaminazione da rimuovere.

6.2.12 Al termine delle operazioni di decontaminazione devono essere aggiornati i dati della caratterizzazione radiologica al fine di stabilire correttamente le successive fasi di gestione.

6.2.13 I processi di condizionamento sono finalizzati alla produzione di manufatti contenenti rifiuti, idonei alla movimentazione, al trasporto (nei termini specificati al paragrafo 6.3.1), allo stoccaggio temporaneo ed al potenziale smaltimento.

6.2.14 Nella definizione (progettazione ed esercizio) dei sistemi di trattamento e/o condizionamento, tenendo presente le esigenze di ordine radioprotezionistico, devono essere considerati i seguenti criteri:

- svolgimento delle operazioni di trattamento e/o condizionamento dei rifiuti radioattivi in una fase temporale quanto più possibile prossima alla fase di produzione del rifiuto (con priorità per i rifiuti liquidi);
- adozione, per quanto ragionevolmente possibile, di tecniche che favoriscano una riduzione del volume totale di rifiuto condizionato, anche attraverso una miscelazione di diverse correnti di rifiuti della stessa categoria che abbiano compatibilità chimico-fisica tale da non pregiudicare la stabilità e la durabilità del manufatto nel lungo periodo;
- adozione delle misure necessarie per ridurre la presenza di sostanze pericolose.

6.2.15 Il condizionamento avviene di norma tramite cementazione, utilizzando malte cementizie tecnologicamente avanzate, qualificate e adeguate alle specifiche caratteristiche del rifiuto da condizionare. Le modalità di condizionamento possono variare in base alla forma fisica e alle caratteristiche chimiche e radiologiche del rifiuto.

6.2.16 Specifiche situazioni possono richiedere condizionamenti con altre tipologie di materiali inglobanti o l'utilizzo di contenitori speciali. In ogni caso l'insieme rifiuto/matrice (se presente) /contenitore deve garantire tutti i requisiti di stabilità e durabilità del manufatto.

6.2.17 I manufatti di rifiuti radioattivi possono essere così suddivisi:

- "forma omogenea": rifiuti solidificati mediante miscelazione con una matrice di condizionamento qualificata all'interno di un contenitore anch'esso qualificato; il confinamento a lungo termine (300 anni e oltre) e la resistenza meccanica sono garantite dalle caratteristiche del rifiuto solidificato;
- "forma eterogenea": rifiuti solidi inglobati in una matrice di condizionamento qualificata (ad es. cemento) all'interno di un contenitore anch'esso qualificato, con l'ottenimento di un'unica massa solida tale da minimizzare i vuoti; ovvero rifiuti inseriti in un contenitore speciale qualificato senza l'impiego di matrice di condizionamento; per i rifiuti condizionati in forma eterogenea il confinamento a lungo termine e la resistenza meccanica possono dipendere dalla matrice inglobante, dallo spessore di ricoprimento del rifiuto da parte della matrice, ovvero dal contenitore stesso.

6.2.18 Ai fini della corretta attribuzione della categoria di un rifiuto condizionato, la concentrazione di attività dei radionuclidi non deve essere superiore ai limiti riportati, per ciascuna categoria, nella Tabella 1 del Decreto 7 agosto 2015.

6.2.19 Nel caso di manufatti omogenei, il calcolo della concentrazione di attività deve essere effettuato considerando la massa del rifiuto condizionato corrispondente alla massa del rifiuto più la massa della matrice di condizionamento. Sono esclusi dal computo della massa complessiva gli strati di materiale aventi funzioni di schermo e altre funzioni che non siano quelle relative alla solidificazione e inglobamento del rifiuto radioattivo stesso.

6.2.20 Nel caso di manufatti eterogenei, il calcolo delle concentrazioni di attività deve essere effettuato facendo riferimento alla massa del rifiuto solido prima dell'inglobamento e non all'intera massa del manufatto finale.

6.2.21 I metodi impiegati per la valutazione delle concentrazioni di attività nei manufatti possono essere diretti o indiretti, ma comunque tali da consentire una verifica del rispetto dei limiti riportati nella Tabella 1 del Decreto 7 agosto 2015.

6.2.22 Qualora le attività di trattamento/condizionamento vengano svolte da un operatore differente dal proprietario dei rifiuti, le reciproche responsabilità devono essere chiaramente identificate. Il proprietario del rifiuto è responsabile della corretta attuazione del Piano di Qualificazione e Controllo, di cui al paragrafo 6.2.2.1, e della qualità del manufatto finale svolgendo, a tal fine, la necessaria sorveglianza sulle operazioni condotte dall'operatore incaricato del trattamento/condizionamento. L'operatore che svolge le operazioni di trattamento/condizionamento è responsabile del loro svolgimento nel rispetto dei requisiti di sicurezza e di radioprotezione stabiliti nell'autorizzazione delle proprie installazioni.

6.2.23 Nel caso in cui le attività di trattamento/condizionamento vengano eseguite presso impianti esteri, vale quanto riportato nel paragrafo 6.2.1.

6.2.24 Nel caso di trattamento/condizionamento di rifiuti radioattivi di provenienza estera, deve essere chiaramente individuata, in maniera univoca, la proprietà dei rifiuti di provenienza.

6.2.25 Un operatore sul territorio nazionale che intenda eseguire il trattamento/condizionamento di rifiuti radioattivi di provenienza estera deve attuare opportune procedure al fine di verificare preventivamente che la ricezione dei suddetti rifiuti avvenga in conformità ai criteri di accettazione del proprio impianto, così come definiti nell'ambito degli atti autorizzativi. Tale conformità dovrà essere garantita attraverso la valutazione dei potenziali impatti sull'impianto dovuti alle attività di trattamento/condizionamento dei suddetti rifiuti, tenendo conto dell'ubicazione dell'installazione, dell'idoneità dei locali, delle modalità di esercizio, delle attrezzature e della qualificazione del personale addetto, dell'organizzazione del sistema di radioprotezione e dei vincoli di dose adottati, delle valutazioni di sicurezza e delle modalità di allontanamento di materiali o smaltimento nell'ambiente.

### *6.2.1 Trattamento e condizionamento presso impianti esteri<sup>1</sup>*

Nei casi in cui il trattamento/condizionamento dei rifiuti venga realizzato presso impianti esteri, il proprietario dei rifiuti dovrà stipulare contratti di servizio con operatori esteri che prevedano tra gli obiettivi quelli di assicurare:

- la minimizzazione dei volumi dei manufatti finali;
- la minimizzazione dei rifiuti secondari prodotti;
- l'equivalenza radiologica tra i rifiuti pervenuti ed i rifiuti secondari;
- il livello di sicurezza più elevato per le successive fasi di gestione dei rifiuti fino allo smaltimento;

---

<sup>1</sup> Non rientra in questo paragrafo il riprocessamento all'estero del combustibile irraggiato

- il rispetto della normativa vigente nel paese dove avviene il trattamento.

I trattamenti eseguiti all'estero possono restituire all'impianto di origine rifiuti da trattare ulteriormente e condizionare presso siti sul territorio nazionale, quali ad esempio le ceneri prodotte da incenerimento all'estero che vengono sottoposte a compattazione e condizionamento in impianti italiani, ovvero manufatti finali destinati allo stoccaggio provvisorio presso l'impianto di origine e allo smaltimento definitivo, per i quali l'Autorità di regolamentazione competente italiana acquisisce i certificati di approvazione del processo di produzione del manufatto del Paese di origine per la verifica del rispetto dei requisiti per i rifiuti condizionati definiti nella presente Guida Tecnica.

Per i rifiuti radioattivi per i quali è prevista la restituzione all'impianto di origine, devono essere rispettati i seguenti criteri:

- la dose efficace impegnata<sup>2</sup> calcolata sull'attività totale dei rifiuti da reimportare dopo il trattamento/condizionamento, non deve essere superiore alla dose efficace impegnata calcolata sull'attività totale dei rifiuti da esportare; è ammessa una tolleranza del 20%;
- l'attività totale dei rifiuti radioattivi da reimportare dopo il trattamento sia inferiore all'attività totale dei rifiuti radioattivi esportati.
- dovranno essere messe in atto specifiche procedure per ridurre la “*cross-contamination*” del sistema di trattamento al fine di ridurre al minimo la presenza di radionuclidi nei rifiuti da reimportare diversi da quelli presenti nei rifiuti esportati e in tale caso deve essere inviata una specifica comunicazione all'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo prima del rientro in Italia dei rifiuti trattati.

Eventuali ulteriori condizioni sui rifiuti da reimportare dovranno essere approvate dall'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo ed applicate caso per caso.

### 6.2.2 Qualificazione del processo di condizionamento

La qualificazione del processo di condizionamento è un insieme di attività pianificate e sistematiche volte a dimostrare che il processo sia in grado di produrre manufatti conformi ai requisiti minimi per lo stoccaggio temporaneo, il trasporto e lo smaltimento, di cui alla presente Guida Tecnica. Essa viene effettuata mediante l'esecuzione di prove su:

- provini della matrice di condizionamento realizzati simulando i rifiuti da condizionare e il processo di condizionamento stesso;
- provini del materiale del contenitore;
- prototipi del manufatto.

In alcuni casi le prove sperimentali possono essere sostituite da specifiche analisi attraverso l'utilizzo di modelli matematici e codici di calcolo validati.

La qualificazione è finalizzata anche ad individuare i parametri rilevanti del processo di condizionamento ovvero quei parametri che hanno una rispondenza diretta o indiretta sulla qualità del prodotto finale; essi possono essere variabili fisiche (ad es. temperatura, densità), caratteristiche di processo (ad es. portata, miscelazione) e/o caratteristiche della miscela (ad es. attività, concentrazione di componenti chimico-tossici, caratteristiche dell'agente solidificante).

La qualificazione deve essere realizzata sulla base di un Piano di Qualificazione e Controllo (PQC), i cui contenuti

---

<sup>2</sup> La dose efficace impegnata è calcolata come somma della dose da ingestione ed inalazione utilizzando i coefficienti di dose delle ultime pubblicazioni ICRP per la classe di età adulti.

sono riportati nel paragrafo 6.2.2.1, per mezzo dell'insieme delle prove indicate al paragrafo 6.3.1 e nell'Allegato I.

Il Piano di Qualificazione e Controllo deve essere sottoposto, per approvazione, all'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo, nell'ambito dei procedimenti di approvazione di specifici piani operativi o progetti particolareggiati per la cui attuazione sia prevista la produzione di correnti di rifiuti che richiedono uno specifico trattamento/condizionamento.

Ai fini dell'approvazione del progetto, successivamente all'approvazione del Piano di Qualificazione e Controllo da parte dell'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo, la documentazione dell'esercente deve essere integrata da una "Lettera di Compatibilità" (LdC), rilasciata dall'esercente dell'impianto di smaltimento o del deposito temporaneo di lunga durata, cui i rifiuti dovranno essere destinati. La LdC deve sintetizzare gli esiti della Valutazione Preliminare di Accettabilità (VPA) dei rifiuti, svolta al fine di verificare il potenziale conferimento degli stessi all'impianto di smaltimento o al deposito temporaneo di lunga durata.

#### 6.2.2.1 Piano di Qualificazione e Controllo

Il Piano di Qualificazione e Controllo (PQC) ha come obiettivo principale quello di definire un processo atto a dimostrare il rispetto dei requisiti di cui al paragrafo 6.3.1 ed all'Allegato I. Il piano deve contenere le seguenti informazioni:

- definizione dei rifiuti a cui si applica il PQC;
- organizzazione, attrezzature, competenza ed esperienza dei laboratori che eseguono le prove di qualificazione;
- programma temporale delle prove;
- specifiche di prova con indicazione dei criteri di accettabilità e della normativa di riferimento;
- criteri per la definizione della composizione della miscela rifiuto, agente solidificante, eventuali additivi, ecc.;
- criteri di simulazione, nel caso di impiego di campioni non attivi (rifiuto simulato);
- metodi, procedure di prova e strumentazione di controllo;
- identificazione dei provini/campioni;
- piani di controllo delle attività con i relativi punti di sorveglianza del committente.

Il PQC può prevedere anche l'esecuzione di prove su un impianto in scala (*mock up*) dell'impianto reale di condizionamento al fine di dimostrare la riproducibilità dei risultati ottenuti in fase di qualificazione e di individuare i parametri rilevanti del processo stesso ed i relativi livelli di accettabilità.

#### 6.2.2.2 Esecuzione delle prove

I laboratori incaricati di eseguire le prove devono possedere i seguenti requisiti:

- essere accreditati secondo la UNI CEI EN ISO/IEC 17025 per le prove richieste, dove applicabile;
- avere un Sistema di Gestione per la Qualità rispondente ai requisiti della UNI EN ISO 9001;
- essere dotati di adeguate competenze, esperienza specifica ed attrezzature relative alle prove da eseguire;
- eseguire le prove secondo procedure validate dalle istituzioni competenti.

Al termine di ciascuna prova i laboratori devono redigere un rapporto nel quale siano riportati:

- i dati relativi ai campioni di prova (numero e relative sigle di identificazione);
- il tipo di prova e le relative norme di riferimento;
- le modalità di esecuzione della prova;

- i dati relativi agli strumenti e alle apparecchiature di prova (stato e certificati di taratura);
- la data di esecuzione e l'esito della prova;
- la documentazione fotografica;
- la sottoscrizione del rapporto di prova.

Le attività di prova devono essere inquadrare in un piano di controllo della qualità sia dei campioni (prototipi e/o provini) sia delle stesse prove.

Al termine dell'attività di qualificazione, deve essere prodotto un Dossier Finale di Qualificazione che contenga:

- il Piano di Qualificazione e Controllo;
- le specifiche e le procedure di prova;
- i dossier di Fine Fabbricazione dei campioni utilizzati per le prove;
- i rapporti delle prove;
- il rapporto finale di qualificazione che riassume le attività svolte e i risultati ottenuti;
- i parametri rilevanti individuati e gli eventuali limiti di tolleranza;
- eventuali scostamenti dei parametri rilevanti oltre i limiti di tolleranza stabiliti e relative azioni correttive;
- le eventuali certificazioni e/o le registrazioni della qualità.

Il proprietario del rifiuto deve svolgere e documentare le proprie azioni di sorveglianza sulle diverse fasi di attuazione del Piano di Qualificazione e Controllo.

## 6.3 Classificazione ai fini del trasporto di rifiuti condizionati

6.3.1 All'atto della produzione o, quando possibile, all'atto della progettazione del manufatto è necessario caratterizzare il rifiuto radioattivo ai fini della classificazione per il trasporto.

6.3.2 Requisiti e indicazioni sulle metodologie e sulle procedure adottabili per la classificazione dei materiali radioattivi ai fini del trasporto sono riportate nelle seguenti pubblicazioni:

- *IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev. 1), "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" 2018 Edition;*
- *IAEA Safety Standards Series No. SSG-26 (Rev. 1) "Advisory Material for the Safe Transport of Radioactive Material" 2018 Edition;*
- *IAEA Safety Standards Series No. SSG-33 (Rev. 1) "Schedules of Provisions of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2018 Edition".*

### 6.3.1 Requisiti per il trasporto di rifiuti condizionati

Ogni manufatto deve essere idoneo al trasporto. Ai fini della produzione di manufatti idonei al trasporto si deve quindi tenere conto, nell'intero processo di condizionamento, dei requisiti stabiliti dalle norme che regolamentano il trasporto nazionale e internazionale delle materie radioattive.

Nel caso di manufatti che non soddisfino i requisiti stabiliti da suddette norme e che siano già presenti presso i siti, dovrà essere valutata l'adozione di componenti addizionali ai fini della loro trasportabilità.

Per classificare ai fini del trasporto il manufatto in accordo alla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev. 1) è necessario che, in relazione al processo di condizionamento, il rifiuto più la matrice di condizionamento, nei manufatti omogenei, o il rifiuto solido, prima dell'eventuale inglobamento, nei manufatti eterogenei, siano oggetto

di un'analisi finalizzata alla definizione delle loro principali caratteristiche, tra cui:

- stato fisico-chimico;
- la distribuzione dell'attività;
- la contaminazione superficiale;
- il rateo di dose superficiale.

Una volta completata la classificazione ai fini del trasporto dei manufatti, la Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) fornisce l'indicazione sul corretto imballaggio da utilizzare nonché le prove e i requisiti per la qualificazione del collo.

I trasporti di rifiuti radioattivi all'interno di uno stesso stabilimento, possono essere effettuati senza l'applicazione dei requisiti della Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev. 1), purché le movimentazioni non coinvolgano strade e/o ferrovie pubbliche e siano operanti appropriate procedure di sicurezza.

## 6.4 Schedatura, etichettatura e sistema di registrazione dati

6.4.1 Il proprietario dei rifiuti deve stabilire un sistema di registrazione in grado di mantenere aggiornati i dati dei rifiuti stessi. Per tutte le fasi di gestione dei rifiuti, il sistema deve includere procedure per identificare in maniera univoca e descrivere adeguatamente i rifiuti radioattivi in qualunque fase della loro gestione.

6.4.2 Per la corretta gestione del rifiuto radioattivo il sistema di registrazione deve consentire la conservazione della storia di ogni elemento che è parte del contenuto del rifiuto. A tale fine, per ciascun manufatto, devono essere fornite e registrate le seguenti informazioni:

- produttore del manufatto;
- descrizione del manufatto e del contenitore: massa, volume, dimensioni, densità del contenuto;
- tipologia del rifiuto (ad es. resine a scambio ionico, vetreria di laboratorio) e sua composizione chimica (ad es. calcio fluoruro, toluene);
- caratteristiche fisico-chimiche e biologiche del rifiuto e della matrice anche ai fini della classificazione al trasporto (vedi paragrafo 6.3);
- i dati identificativi del modello di collo;
- classificazione radiologica secondo il Decreto 7 agosto 2015;
- attività totale alfa, beta, gamma (Bq);
- flusso neutronico (neutroni/cm<sup>2</sup>·s), ove applicabile;
- concentrazioni di attività per i radionuclidi principali<sup>3</sup> presenti nel rifiuto (Bq/g);
- massimo rateo di dose alla superficie e ad 1 metro dalla superficie del collo/manufatto (mSv/h);
- livello di contaminazione superficiale trasferibile (Bq/cm<sup>2</sup>);
- data di confezionamento del manufatto;
- sigla di identificazione.

La raccolta di queste informazioni deve essere effettuata in fase di produzione del manufatto.

6.4.3 Al termine dei processi di condizionamento, su ogni manufatto deve essere apposta una etichetta dove sono riportate, in modo chiaro ed indelebile, le seguenti indicazioni:

---

<sup>3</sup> Con radionuclidi principali si intendono quei radionuclidi il cui contenuto di attività contribuisce all'attività totale del rifiuto con percentuali superiori al 5 %.

- simbolo internazionale dell'Italia (I);
- segno grafico secondo UNI EN ISO 7010:2021;
- denominazione del proprietario del rifiuto e del luogo di produzione;
- numero di serie, suddiviso in due parti: numero progressivo e anno di produzione;
- classificazione radiologica secondo il Decreto 7 agosto 2015;
- massimo rateo di dose sulla superficie esterna alla data della produzione (mSv/h);
- massa lorda del manufatto (kg).

6.4.5 Su ogni manufatto deve essere apposta la marcatura prevista dalla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) per la tipologia di collo.

6.4.6 Il sistema di registrazione deve essere organizzato per via informatica, al fine di assicurare la disponibilità e il mantenimento nel tempo di tutte le informazioni e deve consentire il caricamento progressivo dei dati e, eventualmente, degli aggiornamenti, mantenendo traccia delle operazioni eseguite.

6.4.7 Lo sviluppo del sistema di registrazione, il suo mantenimento e il caricamento dei dati devono essere condotti conformemente ad un Sistema di Gestione<sup>4</sup>; tale sistema deve contenere le procedure che definiscono la responsabilità e le modalità di inserimento dei dati, nonché il tipo ed il formato dei dati.

6.4.8 Le informazioni relative al manufatto devono essere mantenute fino al trasferimento dello stesso all'impianto di smaltimento in accordo con il principio di ridondanza e separazione.

## 6.5 Stoccaggio

6.5.1 Dopo le attività di trattamento ed eventuale condizionamento, i rifiuti radioattivi devono essere collocati in depositi temporanei autorizzati, al fine di garantirne la gestione in sicurezza, in attesa di essere inviati allo smaltimento.

6.5.2 In alcuni casi, su specifica richiesta del proprietario, rifiuti in attesa di trattamento/condizionamento possono essere provvisoriamente immagazzinati in depositi di stoccaggio, purché previsto nell'autorizzazione o previa approvazione dell'Autorità competente responsabile del provvedimento autorizzativo. In ogni caso, per tali rifiuti deve essere definito un programma di trattamento e condizionamento come definito al punto 6.2.2.

6.5.3 In alcune situazioni, come ad esempio per gli impianti in disattivazione, è possibile prevedere anche la presenza di stazioni di stoccaggio provvisorio (*buffer*) nelle quali vengono collocati i rifiuti radioattivi derivanti dalle attività di smantellamento, in attesa del loro invio alla fase successiva di trattamento e condizionamento o, in alternativa, al loro allontanamento, senza vincoli di natura radiologica, a seguito dei controlli radiometrici effettuati. In questo secondo caso, si configura l'attività di cernita tramite la quale verranno generate correnti separate di materiali che saranno reimmessi nel ciclo di gestione dei rifiuti oppure allontanati dall'impianto.

6.5.4 La trattazione di dettaglio della fase di stoccaggio temporaneo dei rifiuti radioattivi, nonché la definizione dei criteri generali di sicurezza nucleare e radioprotezione per la progettazione, la realizzazione, l'esercizio e la disattivazione dei depositi di stoccaggio temporaneo sono stabiliti nella Guida Tecnica ISIN n. 30 "*Criteri di sicurezza e radioprotezione per depositi di stoccaggio temporaneo di rifiuti radioattivi e di combustibile irraggiato*".

---

<sup>4</sup> In accordo con le Linee Guida sulla formazione, gestione e conservazione dei documenti informatici dell'Agenzia per l'Italia Digitale (2021).

## 6.6 Smaltimento

6.6.1 Lo smaltimento è la fase finale della gestione dei rifiuti radioattivi, ovvero il conferimento degli stessi ad un impianto di smaltimento autorizzato, con l'obiettivo di non recuperarli.

6.6.2 L'impianto di smaltimento deve garantire, per tutta la vita di progetto, il completo isolamento dei rifiuti radioattivi dalla popolazione e dall'ambiente fino a quando la radioattività, per effetto del decadimento, non raggiunga valori tali da garantire il rispetto degli obiettivi di dose, fissati dall'ISIN, a fronte degli scenari evolutivi del sistema deposito che saranno sviluppati per l'analisi di sicurezza di lungo periodo.

6.6.3 Le opzioni di smaltimento, con riferimento alla Tabella 1 del Decreto 7 agosto 2015, sono schematizzabili come segue:

- smaltimento ai sensi del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e successivi provvedimenti, qualora praticabile, o secondo modalità assimilabili;
- smaltimento sulla superficie terrestre in adeguate strutture poste in superficie o a piccole profondità;
- smaltimento in formazioni geologiche profonde che offrono particolare garanzia di stabilità nel tempo.

6.6.4 La scelta di tali opzioni di smaltimento è determinata dalla valutazione complessiva dei seguenti parametri caratteristici dei radionuclidi contenuti nei rifiuti radioattivi:

- tempo di dimezzamento - in relazione a questo parametro, si distinguono:
  - rifiuti a breve vita, in cui sono contenuti in massima parte radionuclidi aventi tempi di dimezzamento inferiori a 30 anni;
  - rifiuti a lunga vita, in cui sono contenuti in quantità significativa radionuclidi aventi tempi di dimezzamento superiori a 30 anni;
- natura della radiazione emessa (alfa, beta, gamma, neutroni);
- attività specifica - definita come numero di disintegrazioni nucleari al secondo (Bq) per unità di massa.

6.6.5 I rifiuti di media attività caratterizzati da livelli di concentrazioni di attività inferiori o uguali a 400 Bq/g per i radionuclidi alfa emettitori e che contengono radionuclidi beta/gamma emettitori, anche di lunga vita, possono essere smaltiti in impianti ingegneristici di superficie, purché il livello di concentrazione di attività sia tale da rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti nelle analisi di sicurezza a lungo termine relative allo stesso impianto; rientrano in questa casistica, ad esempio, i rifiuti attivati provenienti dalla disattivazione di alcune parti delle installazioni nucleari.

6.6.6 I rifiuti di media attività che non possono essere smaltiti in un impianto di superficie e i rifiuti di alta attività, ivi incluso il combustibile irraggiato se considerato rifiuto radioattivo, devono essere smaltiti esclusivamente in formazioni geologiche profonde. Nel periodo che precede lo smaltimento, tali rifiuti devono essere immagazzinati in idonee strutture di stoccaggio per l'immagazzinamento di lunga durata.

## 7. Requisiti dei contenitori per rifiuti radioattivi

### 7.1 Requisiti generali

7.1.1 I contenitori per rifiuti radioattivi devono garantire le seguenti funzioni:

- assicurare il contenimento delle sostanze radioattive durante le operazioni di riempimento, movimentazione ed eventuale stoccaggio nel deposito temporaneo;
- costituire, se del caso, uno schermo contro le radiazioni;
- garantire il rispetto delle norme nazionali e internazionali che regolamentano il trasporto delle materie radioattive con particolare attenzione alle caratteristiche di tenuta secondo quanto previsto dalle prove di qualificazione dei colli [RIF12], [RIF 18], [RIF 19], [RIF 20], [RIF 21], [RIF 22], [RIF 23].

7.1.2 Il contenitore deve essere costruito con materiali di adeguate caratteristiche chimico-fisiche compatibili con il contenuto e con il processo di condizionamento prescelto. Le caratteristiche meccaniche devono essere tali da garantire un'adeguata resistenza a fronte di urti o cadute che si possano verificare durante la movimentazione e il trasporto. Le superfici devono essere facilmente decontaminabili.

7.1.3 La superficie esterna del contenitore deve fornire un'adeguata resistenza alla corrosione, mentre la superficie interna deve risultare compatibile col processo di condizionamento. Il contenitore deve inoltre avere una forma tale da facilitare le operazioni di movimentazione. Al fine di ottimizzare gli spazi disponibili e le attrezzature di movimentazione, devono essere utilizzati contenitori costruiti secondo standard internazionali e, per quanto possibile, della stessa tipologia.

7.1.4 I requisiti minimi per i contenitori da utilizzare per i manufatti di rifiuti radioattivi condizionati sono definiti nell'Allegato I.

### 7.2 Contenitori per rifiuti radioattivi di attività molto bassa, bassa e media

7.2.1 Il contenitore per i rifiuti radioattivi di molto bassa, bassa e media attività deve essere compatibile con il contenuto e con il processo di condizionamento. Inoltre, deve presentare buone caratteristiche meccaniche anche alle temperature raggiungibili durante il processo di condizionamento e, comunque, tali da garantire una adeguata resistenza a urti o cadute che si possano verificare durante la movimentazione e il trasporto.

7.2.2 Il contenitore deve presentare buone proprietà di resistenza alla corrosione e avere dimensioni tali da facilitare le operazioni di movimentazione. Le caratteristiche del contenitore devono essere comunque tali da garantire in ogni caso un'adeguata resistenza alla degradazione in relazione ai tempi previsti di stoccaggio.

### 7.3 Contenitori speciali

I contenitori speciali devono essere progettati in maniera tale da rispettare la norma UNI 11784 [RIF 35], inoltre devono:

- tener conto degli effetti chimici e corrosivi dovuti ai rifiuti contenuti, alle condizioni ambientali del deposito temporaneo e all'ambiente di smaltimento;
- tener conto degli effetti della degradazione dei rifiuti presenti nel contenitore (ad es. da irraggiamento);
- garantire un adeguato schermaggio;
- garantire il contenimento dei radionuclidi per tutte le fasi di vita del deposito temporaneo, anche a fronte di situazioni incidentali previste per l'impianto stesso;
- considerare i carichi termici derivanti dalle operazioni di preparazione del manufatto e dalle condizioni

ambientali del deposito temporaneo di lunga durata e dell'impianto di smaltimento.

## 7.4 Contenitori di stoccaggio e trasporto per il combustibile irraggiato e per rifiuti radioattivi di alta attività

7.4.1 Per i contenitori metallici per lo stoccaggio a secco e il trasporto di combustibile irraggiato (*cask*), o di rifiuti radioattivi ad alta attività vetrificati e di rifiuti di media attività compattati derivanti dalle attività di riprocessamento del combustibile esaurito, devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- i contenitori devono essere dotati di un doppio coperchio di chiusura;
- i materiali utilizzati devono avere caratteristiche di durabilità e resistenza alla corrosione per tutto il periodo di stoccaggio previsto;
- le saldature realizzate sui componenti devono rispettare gli standard internazionali e le norme applicabili (ASME BPVC 2021 Edition);
- deve essere assicurata la resistenza in campo elastico, con adeguato margine, ai carichi statici e dinamici durante le normali operazioni di esercizio;
- per ogni guarnizione, che è parte del sistema di tenuta, deve essere stabilito il tasso ordinario di perdita;
- durante le normali condizioni di esercizio, deve essere stabilita una pressione superiore a quella atmosferica, nello spazio tra i due coperchi di chiusura che deve essere continuamente monitorata durante il periodo di stoccaggio, tenendo anche conto delle variazioni di temperatura;
- la temperatura massima della matrice vetrosa inglobante di rifiuti radioattivi ad alta attività deve essere minore o uguale a 450°C;
- deve essere assicurata l'integrità delle guaine degli elementi di combustibile nel caso di stoccaggio di combustibile irraggiato;
- devono essere definite le temperature massime alla superficie del contenitore, compresa la superficie del piano di appoggio;
- deve essere assicurata la resistenza ai carichi statici e dinamici relativi alle condizioni incidentali ipotizzate;
- deve essere assicurata la recuperabilità del combustibile irraggiato o dei rifiuti derivanti dal riprocessamento del combustibile irraggiato per tutto il periodo di stoccaggio previsto;
- in caso di impatto aereo, la dose efficace all'individuo rappresentativo non deve superare il valore di qualche mSv;
- in caso di sisma, come definito dalla normativa applicabile, il contenitore non deve ribaltarsi;
- i contenitori devono essere qualificati e certificati per il trasporto.

7.4.2 Nel caso sia destinato allo stoccaggio temporaneo di lunga durata, prima di essere collocato nei contenitori metallici, il combustibile irraggiato deve essere opportunamente caratterizzato con riferimento almeno ai parametri seguenti:

- caratteristiche geometriche e meccaniche dei suoi componenti;
- composizione iniziale del materiale fissile e dati di bruciamento;
- composizione isotopica al momento del caricamento nel contenitore;
- stato di integrità dell'incamiciatura (in caso di elementi difettati deve essere presa in considerazione la possibilità di collocarli in capsule metalliche di contenimento);
- altre informazioni utili al momento del recupero del combustibile (ad es. composizione del crud, pressione iniziale nel gap).

## Allegato I – Condizionamento dei rifiuti radioattivi: Requisiti minimi dei manufatti ai fini dello smaltimento in impianti di superficie o dello stoccaggio di lunga durata

1.1 In funzione della classificazione del rifiuto radioattivo e della tipologia di condizionamento, per ciascuna categoria di rifiuto, dovranno essere rispettati i criteri elencati nelle seguenti tabelle. Per ognuno dei parametri elencati dovrà essere prevista una prova.

Tabella I-1 – REQUISITI MINIMI PER RIFIUTI RADIOATTIVI AD ATTIVITÀ MOLTO BASSA (VLLW)

PARAMETRO	CRITERIO DI ACCETTABILITÀ
<b>RIFIUTO</b>	
Assenza di polveri libere	Qualitativa
<b>CONTENITORE</b>	
Resistenza alla degradazione	Il contenitore deve avere una resistenza alla degradazione adeguata a garantire la funzione di barriera alla diffusione della radioattività per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al conferimento del manufatto all'impianto di smaltimento di superficie (almeno 50 anni). La resistenza viene dimostrata mediante prove di degradazione in condizioni ambientali estreme.
Tenuta	Il contenitore deve garantire la tenuta per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al conferimento del manufatto all'impianto di smaltimento. A tal fine il sistema di chiusura del contenitore deve prevedere l'utilizzo di guarnizioni che garantiscano una durata adeguata al periodo previsto di stoccaggio, ovvero sia predisposto un adeguato programma di sostituzione delle guarnizioni. Per evitare l'aumento della pressione, sul coperchio del contenitore può essere previsto uno sfiato dotato di filtro che dovrà essere progettato per ridurre al minimo il rilascio di particolato. Le specifiche di tenuta dovranno tenere conto dello stato fisico del materiale e della tipologia di imballaggio qualificato per il trasporto.
<b>MANUFATTO</b>	
Liquidi liberi	< 1% del volume interno utile del manufatto.
Presenza di vuoti	Percentuale di vuoto <10% del volume del manufatto.

Tabella I-2 – REQUISITI MINIMI PER RIFIUTI CONDIZIONATI OMOGENEI DI BASSA ATTIVITA' (LLW)

PARAMETRO	CRITERIO DI ACCETTABILITA'	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO
<b>MATRICE</b>		
Resistenza a compressione	Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 28 gg di maturazione.	UNI EN 12390-1:2021 UNI EN 12390-2:2019 UNI EN 12390-3:2019 UNI EN 12390-4:2019 UNI EN 12390-7:2019
Resistenza a cicli termici	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 30 cicli di 24 ore da -40° a +40°C.	UNI 11193:2006
Resistenza alle radiazioni	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo dose integrata di 10 <sup>6</sup> Gy.	UNI 11193:2006
Resistenza alla biodegradazione*	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo incubazione con muffe e batteri.	ASTM G 21-15:2021
Resistenza al fuoco	Non combustibile o autoestinguente.	ASTM D 635-98
Resistenza alla lisciviazione	Elevata resistenza alla lisciviazione. L(Cs) $\geq$ 6	ANSI/ANS-16.1-2019
Resistenza all'immersione	Assenza di rigonfiamenti o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 90 gg di immersione.	UNI 11193:2006
<b>CONTENITORE</b>		
Resistenza alla degradazione	Il contenitore deve avere una resistenza alla degradazione adeguata a garantire la funzione di barriera alla diffusione della radioattività per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al conferimento del manufatto all'impianto di smaltimento di superficie (almeno 50 anni).  La resistenza viene dimostrata mediante prove di degradazione in condizioni ambientali estreme.	UNI 11193:2006

Tenuta	<p>Il contenitore deve garantire la tenuta per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al conferimento del manufatto all'impianto di smaltimento di superficie. A tal fine il sistema di chiusura del contenitore deve prevedere l'utilizzo di guarnizioni che garantiscano una durata fino allo smaltimento, ovvero sia predisposto un adeguato programma di sostituzione delle guarnizioni.</p> <p>Per evitare l'aumento della pressione, sul coperchio del contenitore può essere previsto uno sfiato dotato di filtro che dovrà essere progettato per ridurre al minimo il rilascio di particolato. Le specifiche di tenuta dovranno tenere conto dello stato fisico del materiale e della tipologia di imballaggio qualificato per il trasporto.</p>	UNI 11193:2006
MANUFATTO**		
Liquidi liberi	< 1% del volume interno utile del manufatto.	ANSI/ANS-55.1-2021
Generazione di gas	Deve essere valutata la generazione di gas all'interno del manufatto per interazione tra la matrice di condizionamento e il rifiuto.	UNI 11193:2006
Presenza di vuoti	Percentuale di vuoto <10% del volume del manufatto.	

\* - Per tale parametro la prova può essere omessa nel caso in cui la forma del rifiuto contenga materiale organico al di sotto del 5%.

\*\* - Per la qualificazione al trasporto si devono integrare le prove con quanto richiesto dalla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) [RIF 12.]

Tabella I-3 – REQUISITI MINIMI PER RIFIUTI CONDIZIONATI ETEROGENEI DI BASSA ATTIVITA' (LLW)

PARAMETRO	CRITERIO DI ACCETTABILITA'	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO
<b>MATRICE</b>		
Resistenza a compressione	Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 28 gg di maturazione.	UNI EN 12390-1:2021 UNI EN 12390-2:2019 UNI EN 12390-3:2019 UNI EN 12390-4:2019 UNI EN 12390-7:2019
Resistenza a cicli termici	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 30 cicli di 24 ore da -40° a +40°C.	UNI 11193:2006
Resistenza alle radiazioni	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo dose integrata di 10 <sup>6</sup> Gy	UNI 11193:2006
Resistenza alla lisciviazione	Elevata resistenza alla lisciviazione. L(Cs) $\geq$ 6	ANSI/ANS-16.1-2019
Resistenza all'immersione	Assenza di rigonfiamenti o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 90 gg di immersione.	UNI 11193:2006
Permeabilità all'acqua	Penetrazione media $\leq$ 20mm Penetrazione massima $\leq$ 50mm	UNI EN 12390-8:2019
<b>CONTENITORE</b>		
Resistenza alla degradazione	Il contenitore deve avere una resistenza alla degradazione adeguata a garantire la funzione di barriera alla diffusione della radioattività per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al conferimento del manufatto all'impianto di smaltimento di superficie (almeno 50 anni). La resistenza viene dimostrata mediante prove di degradazione in condizioni ambientali estreme.	UNI 11193:2006

Tenuta	<p>Il contenitore deve garantire la tenuta per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al conferimento del manufatto all'impianto di smaltimento di superficie. A tal fine il sistema di chiusura del contenitore deve prevedere l'utilizzo di guarnizioni che garantiscano una durata fino allo smaltimento del manufatto, ovvero sia predisposto un adeguato programma di sostituzione delle guarnizioni.</p> <p>Per evitare l'aumento della pressione, sul coperchio del contenitore può essere previsto uno sfiato dotato di filtro che dovrà essere progettato per ridurre al minimo il rilascio di particolato. Le specifiche di tenuta dovranno tenere conto dello stato fisico del materiale e della tipologia di imballaggio qualificato per il trasporto.</p>	UNI 11193:2006
<b>MANUFATTO*</b>		
Liquidi liberi	< 1% del volume interno utile del manufatto.	ANSI/ANS-55.1-2021
Ricoprimento del rifiuto	Lo spessore di ricoprimento del rifiuto da parte della matrice che lo ingloba dovrà essere al minimo di 2,5÷3 cm (da valutare in funzione del contenuto radiologico).	UNI 11193:2006
Generazione di gas	Deve essere valutata la generazione di gas all'interno del manufatto per interazione tra la matrice di condizionamento e il rifiuto.	UNI 11193:2006
Presenza di vuoti	Percentuale di vuoto <10% del volume del manufatto.	

\* - Per la qualificazione al trasporto si devono integrare le prove con quanto richiesto dalla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) [RIF 12]

Tabella I-4 – REQUISITI MINIMI PER RIFIUTI CONDIZIONATI OMOGENEI DI MEDIA ATTIVITA' (ILW)

PARAMETRO	CRITERIO DI ACCETTABILITA'	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO
MATRICE		
Resistenza a compressione	Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 28 gg di maturazione.	UNI EN 12390-1:2021 UNI EN 12390-2:2019 UNI EN 12390-3:2019 UNI EN 12390-4:2019 UNI EN 12390-7:2019
Resistenza a cicli termici	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 30 cicli di 24 ore da -40° a +40°C.	UNI EN 12390-1:2012 UNI EN 12390-7:2009 UNI 11193:2006**
Resistenza alle radiazioni	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo dose integrata equivalente alla dose integrata generata nella forma del rifiuto in un arco temporale di circa 300 anni di 10 <sup>7</sup> Gy <sup>+</sup> .	UNI EN 12390-1:2012 UNI EN 12390-7:2009 UNI 11193:2006**
Resistenza alla biodegradazione*	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo incubazione con muffe e batteri.	ASTM G 21-15:2021
Resistenza al fuoco	Non combustibile o autoestinguente.	ASTM D 635-98
Resistenza alla lisciviazione	Elevata resistenza alla lisciviazione. L(Cs) $\geq$ 7	ANSI/ANS-16.1-2019
Resistenza all'immersione	Assenza di rigonfiamenti o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 90 gg di immersione.	UNI EN 12390-1:2012 UNI EN 12390-7:2009 UNI 11193:2006**
Permeabilità all'acqua	Penetrazione media < 20mm Penetrazione massima < 50mm	UNI EN 12390-8:2019

Permeabilità a gas	Qualitativa; il valore di permeabilità ottenuto viene confrontato con i parametri ottenuti a livello internazionale per matrici inglobanti rifiuti radioattivi.	ISO 11599:1997
Stabilità dimensionale	Ritiro assiale <2000 µm/m	UNI 12390-16:2019
<b>CONTENITORE</b>		
Resistenza alla degradazione	Il contenitore deve avere una resistenza alla degradazione adeguata a garantire la funzione di barriera alla diffusione della radioattività per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al suo conferimento all'impianto di smaltimento o al deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata (almeno 100 anni). La resistenza viene dimostrata mediante prove di degradazione in condizioni ambientali estreme.	UNI 11784:2020
Tenuta	Il contenitore deve garantire la tenuta per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al suo conferimento all'impianto di smaltimento o al deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata. A tal fine il sistema di chiusura di quest'ultimo deve prevedere l'utilizzo di guarnizioni che garantiscano una durata adeguata al periodo previsto di stoccaggio, ovvero sia predisposto un adeguato programma di sostituzione delle guarnizioni. In caso di condizionamento con matrice e conferimento al deposito superficiale, per evitare l'aumento della pressione, sul coperchio del contenitore può essere previsto uno sfiato dotato di filtro che dovrà essere progettato per ridurre al minimo il rilascio di particolato. Le specifiche di tenuta dovranno tenere conto dello stato fisico del materiale e della tipologia di imballaggio qualificato per il trasporto.	ISO 12807:2018
<b>MANUFATTO***</b>		
Liquidi liberi	< 1% del volume interno utile del manufatto.	ANSI/ANS-55.1-2021
Generazione di gas	Deve essere valutata la generazione di gas all'interno del manufatto per interazione tra la matrice di condizionamento e il rifiuto.	UNI 11193:2006
Presenza di vuoti	Percentuale di vuoto <10% del volume del manufatto.	

+ - La prova può essere effettuata a una dose  $10^6$  Gy se viene dimostrato che la dose equivalente integrata nel periodo di 300 anni non supera tale valore.

\* - La prova può essere omessa nel caso in cui la forma del rifiuto contenga materiale organico al di sotto del 5%.

\*\* - Il riferimento vale solo per i rifiuti di media attività destinati allo smaltimento nell'impianto di superficie.

\*\*\*- Per la qualificazione al trasporto si devono integrare le prove con quanto richiesto dalla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) [RIF 12]

Tabella I-5 - REQUISITI MINIMI PER RIFIUTI CONDIZIONATI ETEROGENEI DI MEDIA ATTIVITA' (ILW)

PARAMETRO	CRITERIO DI ACCETTABILITA'	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO
<b>MATRICE</b>		
Resistenza a compressione	Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 28 gg di maturazione.	UNI EN 12390-1:2021 UNI EN 12390-2:2019 UNI EN 12390-3:2019 UNI EN 12390-4:2019 UNI EN 12390-7:2019
Resistenza a cicli termici	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 30 cicli di 24 ore da -40° a +40°C.	UNI EN 12390-1:2012 UNI EN 12390-7:2009 UNI 11193:2006**
Resistenza alle radiazioni	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo dose integrata equivalente alla dose integrata generata nella forma del rifiuto in un arco temporale di circa 300 anni di 10 <sup>7</sup> Gy*.	UNI EN 12390-1:2012 UNI EN 12390-7:2009 UNI 11193:2006**
Resistenza alla biodegradazione*	Assenza di crepe o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo incubazione con muffe e batteri.	ASTM G 21-15:2021
Resistenza alla lisciviazione	Elevata resistenza alla lisciviazione. L(Cs) $\geq$ 6	ANSI/ANS-16.1-2019
Resistenza all'immersione	Assenza di rigonfiamenti o lesioni superficiali. Rc $\geq$ 10 N/mm <sup>2</sup> dopo 90 gg di immersione.	UNI EN 12390-1:2012 UNI EN 12390-7:2009 UNI 11193:2006**
Permeabilità all'acqua	Penetrazione media < 20mm. Penetrazione massima < 50mm.	UNI EN 12390-8 :2019
Permeabilità a gas	Qualitativa; il valore di permeabilità ottenuto viene confrontato con i parametri ottenuti a livello internazionale per matrici inglobanti rifiuti radioattivi.	ISO 11599 :1997

CONTENITORE		
Resistenza alla degradazione	Il contenitore deve avere una resistenza alla degradazione adeguata a garantire la funzione di barriera alla diffusione della radioattività per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al suo conferimento all'impianto di smaltimento o al deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata (almeno 100 anni). La resistenza viene dimostrata mediante prove di degradazione in condizioni ambientali estreme.	UNI 11784:2020
Tenuta	Il contenitore deve garantire la tenuta per tutto il periodo di stoccaggio temporaneo presso il sito, fino al suo conferimento all'impianto di smaltimento o al deposito di stoccaggio temporaneo di lunga durata. A tal fine il sistema di chiusura di quest'ultimo deve prevedere l'utilizzo di guarnizioni che garantiscano una durata adeguata al periodo previsto di stoccaggio, ovvero sia predisposto un adeguato programma di sostituzione delle guarnizioni. In caso di condizionamento con matrice e conferimento al deposito superficiale, per evitare l'aumento della pressione, sul coperchio del contenitore può essere previsto uno sfiato dotato di filtro che dovrà essere progettato per ridurre al minimo il rilascio di particolato. Le specifiche di tenuta dovranno tenere conto dello stato fisico del materiale e della tipologia di imballaggio qualificato per il trasporto.	ISO 12807:2018
MANUFATTO***		
Liquidi liberi	< 1% del volume interno utile del manufatto.	ANSI/ANS-55.1-2021
Ricoprimento del rifiuto	Lo spessore minimo di ricoprimento del rifiuto da parte della matrice che lo ingloba dovrà essere maggiore di 5 cm.	UNI 11193:2006**
Generazione di gas	Deve essere valutata la generazione di gas all'interno del manufatto per interazione tra la matrice di condizionamento e il rifiuto.	UNI 11193:2006**
Presenza di vuoti	Percentuale di vuoto <10% del volume del manufatto.	

+ - La prova può essere effettuata a una dose  $10^6$  Gy se viene dimostrato che la dose equivalente integrata nel periodo di 300 anni non supera tale valore.

\* - Per tale parametro, la rispettiva prova può essere omessa nel caso in cui la forma del rifiuto contenga materiale organico al di sotto del 5%.

\*\* - Il riferimento vale solo per i rifiuti di media attività destinati allo smaltimento superficiale al Deposito nazionale.

\*\*\* - Per la qualificazione al trasporto si devono integrare le prove con quanto richiesto dalla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) [RIF 12]

Tabella I-6 – REQUISITI MINIMI PER RIFIUTI CONDIZIONATI OMOGENEI DI ALTA ATTIVITA' (HLW)

PARAMETRO	CRITERIO DI ACCETTABILITA'	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO
<b>MATRICE</b>		
Resistenza alla lisciviazione	La resistenza a lisciviazione secondo norme internazionali dovrà essere non superiore ad $1,5 \text{ E-3 g/cm}^2 \cdot \text{d}$ a $97^\circ\text{C}$	ANSI/ANS-16.1-2019
Conducibilità termica	$K \geq 0,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	UNI EN ISO 8990:1999 UNI EN 12664:2002
Capacità termica	La capacità termica dovrà essere compresa tra $800$ e $1200 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$ nell'intervallo di temperatura da $100$ a $500^\circ\text{C}$ .	
Espansione termica	L'espansione termica dovrà essere compresa tra $0,75$ e $1,8 \text{ E-5 } ^\circ\text{K}^{-1}$ .	
Modulo di elasticità	Il modulo di elasticità dovrà essere pari a circa $9\text{E}+10 \text{ N/m}^2$	
<b>MANUFATTO*</b>		
Generazione di calore	La generazione di calore non dovrà superare i $2 \text{ kW}$ per manufatto.	

\* - Per la qualificazione al trasporto si devono integrare le prove con quanto richiesto dalla Regolamentazione IAEA SSR-6 (Rev.1) [RIF 12.]