

Criteri di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale

Codice DN SM 00028 Fase del progetto Preliminare Data 30/12/2020 Pag. 1



Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



indice

1	INTRODUZIONE	4
2	ACRONIMI	7
3	SCOPO	8
4	LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI	11
4.1	Principi generali	11
4.2	Lo smaltimento in depositi di superficie.....	13
5	IL DEPOSITO NAZIONALE	17
5.1	Descrizione generale del deposito di smaltimento	17
5.2	Descrizione generale del deposito di stoccaggio	20
6	CRITERI DI SICUREZZA DEL DEPOSITO PER LO SMALTIMENTO	23
6.1	Criteria di sicurezza concettuali	24
6.1.1	<i>Protezione dalle radiazioni</i>	25
6.1.2	<i>Contenimento passivo dei rifiuti radioattivi</i>	25
6.1.3	<i>Isolamento dei rifiuti radioattivi</i>	25
6.1.4	<i>Condizionamento dei rifiuti</i>	26
6.1.5	<i>Sistema Multi-barriera (Difesa in profondità)</i>	26
6.1.6	<i>Robustezza</i>	27
6.1.7	<i>Scelta del sito su cui realizzare il deposito</i>	28
6.1.8	<i>Sicurezza passiva e attiva</i>	29
6.1.9	<i>Recuperabilità dei rifiuti</i>	30
6.1.10	<i>Limitazione del contenuto radiologico del 'Source Term'</i>	31
6.1.11	<i>Durabilità e qualifica delle barriere ingegneristiche</i>	31
6.1.12	<i>Criteria di Accettazione dei rifiuti al DN (WAC)</i>	34
6.1.13	<i>Monitoraggio e Sorveglianza nelle aree limitrofe al Deposito e Manutenzione delle strutture di deposito</i>	34
6.1.14	<i>Formazione del personale</i>	35
7	CRITERI DI SICUREZZA DEL DEPOSITO PER LO STOCCAGGIO TEMPORANEO DEI RIFIUTI AD ALTA ATTIVITÀ	37
7.1	Generalità	37
7.2	Criteria di sicurezza	37
7.2.1	<i>Schermaggio</i>	38
7.2.2	<i>Contenimento</i>	38
7.2.3	<i>Manovrabilità dei manufatti</i>	38
7.2.4	<i>Recuperabilità dei rifiuti</i>	39
7.2.5	<i>Ventilazione</i>	39
7.2.6	<i>Controllo della condizioni ambientali</i>	40

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



7.2.7	<i>Mantenimento delle condizioni di sottocriticità</i>	40
7.2.8	<i>Monitoraggio</i>	40
7.2.9	<i>Ispezione delle strutture e dei rifiuti</i>	40
7.2.10	<i>Riserva e modularità di stoccaggio</i>	41
7.2.11	<i>Decommissioning delle strutture</i>	41
8	L'ANALISI DI SICUREZZA (SAFETY ASSESSMENT)	42
8.1	Analisi di sicurezza nel breve periodo	43
8.1.1	<i>Modalità di analisi, condizioni di impianto e categorie degli eventi</i>	44
8.2	Analisi di sicurezza di lungo periodo	46
9	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	49

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



1 INTRODUZIONE

In Italia sono presenti rifiuti radioattivi derivanti dalla passata produzione di energia elettrica da fonte nucleare, dal mantenimento in sicurezza degli impianti nucleari ancora presenti sul territorio nonché da applicazioni mediche, industriali e di ricerca.

Altri rifiuti radioattivi saranno prodotti in futuro dal decommissioning delle installazioni nucleari e dalla prosecuzione delle attività medicali, industriali e di ricerca.

In accordo con il D.Lgs. 31 del 15 febbraio 2010 [R2] e ss.mm.ii, Sogin è impegnata nelle attività di localizzazione del sito su cui realizzare il Deposito Nazionale (DN) ed in quelle di progettazione e realizzazione dello stesso.

Altri rifiuti radioattivi saranno prodotti in futuro dalle attività di decommissioning delle centrali nucleari, degli impianti del ciclo del combustibile, degli impianti di ricerca nonché dalle future attività medicali, industriali e di ricerca.

I *rifiuti radioattivi* sono tutti quei materiali che contengono radionuclidi a livelli superiori ai cosiddetti *livelli di allontanamento*¹ e per i quali non si prevede il riutilizzo.

Un materiale che contiene radionuclidi in quantità tali da essere identificato come “radioattivo”, necessita di essere opportunamente classificato sulla base del suo contenuto di radioattività e gestito opportunamente, sulla base della categoria radiologica di appartenenza.

A livello internazionale, la classificazione dei rifiuti radioattivi è indicata dalla IAEA [R11]. Essa si è evoluta nel corso degli anni e la sua ultima versione delinea delle classi sulla base della specifica tipologia di smaltimento cui i rifiuti possono essere avviati.

La IAEA individua 5 classi di rifiuti radioattivi:

- 1) Very Short Lived Waste (VSLW);

¹ Valori (anche denominati limiti di rilascio), espressi in termini di concentrazioni di attività o di attività totale di determinati radionuclidi, al di sotto dei quali un materiale radioattivo può essere gestito come rifiuto convenzionale.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



- 2) Very Low Level Waste (VLLW);
- 3) Low Level Waste (LLW);
- 4) Intermediate Level Waste (ILW);
- 5) High Level Waste (HLW).

I rifiuti VSLW possono essere stoccati per un periodo di tempo limitato (fino ad alcuni anni) in attesa che il decadimento naturale porti la radioattività al di sotto dei livelli di rilascio e i rifiuti possano quindi essere gestiti come rifiuti convenzionali.

I rifiuti VLLW e LLW, per il loro contenuto di radionuclidi principalmente a breve vita e limitato contenuto di radionuclidi a lunga vita, possono essere smaltiti in depositi di superficie dotati di barriere ingegneristiche.

I rifiuti ILW, a causa del maggior contenuto di radionuclidi a lunga vita, rispetto agli LLW, non possono essere smaltiti in superficie e devono quindi essere smaltiti in depositi a profondità crescente (da poche decine fino a centinaia di metri).

I rifiuti HLW sono molto radioattivi o contengono grosse quantità di radionuclidi sia a breve che a lunga vita che, a differenza dei rifiuti ILW, generano calore e richiedono quindi uno smaltimento in formazione profonde di tipo geologico.

Sulla base delle indicazioni fornite dalla classificazione internazionale, ogni Paese provvede ad una specifica classificazione dei propri rifiuti.

In Italia la classificazione dei rifiuti radioattivi, storicamente dettata dalla Guida Tecnica 26 dell'ENEA-DISP [R4], è stata modificata ed allineata alla classificazione internazionale, dal D.M. 7 agosto 2015 [R5] che identifica cinque categorie di rifiuti radioattivi e per ognuna di esse dà indicazioni delle sua destinazione finale. Nella tabella di seguito quanto riportato nel Decreto.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Categoria	Condizioni e/o Concentrazioni di attività	Destinazione finale
Esenti	<ul style="list-style-type: none"> • Art. 154 comma 2 del D.Lgs n. 230/1995 • Art. 30 o art. 154 comma 3-bis del D.Lgs n. 230/1995 	Rispetto delle disposizioni del D.Lgs. n. 152/2006
A vita media molto breve	<ul style="list-style-type: none"> • $T_{1/2} < 100$ giorni Raggiungimento in 5 anni delle condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • Art. 154 comma 2 del D.Lgs n. 230/1995 • Art. 30 o art. 154 comma 3-bis del D.Lgs n. 230/1995 	Stoccaggio temporaneo (art.33 D.Lgs n. 230/1995) e smaltimento nel rispetto delle disposizioni del D.Lgs. n. 152/2006
Attività molto bassa	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 100 Bq/g (di cui alfa ≤ 10 Bq/g) 	Raggiungimento in $T \leq 10$ anni della condizione: <ul style="list-style-type: none"> • Art. 30 o art. 154 comma 3-bis del D.Lgs n. 230/1995
		Non raggiungimento in $T \leq 10$ anni della condizione: <ul style="list-style-type: none"> • Art. 30 o art. 154 comma 3-bis del D.Lgs n. 230/1995
Bassa attività	<ul style="list-style-type: none"> • radionuclidi a vita breve ≤ 5 MBq/g • Ni59-Ni63 ≤ 40 kBq/g • radionuclidi a lunga vita ≤ 400 Bq/g 	Impianti di smaltimento superficiali, o a piccola profondità, con barriere ingegneristiche (Deposito Nazionale D.Lgs n. 31/2010)
Media attività	<ul style="list-style-type: none"> • radionuclidi a vita breve > 5 MBq/g • Ni59-Ni63 > 40 kBq/g • radionuclidi a lunga vita > 400 Bq/g • No produzione di calore 	Radionuclidi alfa emettitori ≤ 400 Bq/g e beta-gamma emettitori in concentrazioni tali da rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti per l'impianto di smaltimento superficiale.
		Radionuclidi in concentrazioni tali da non rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti per l'impianto di smaltimento superficiale.
Alta attività	Produzione di calore o di elevate concentrazioni di radionuclidi a lunga vita, o di entrambe tali caratteristiche.	Impianto di immagazzinamento temporaneo del Deposito Nazionale (D.Lgs n.31/2010) in attesa di smaltimento in formazione geologica

Tabella 1: Classificazione dei rifiuti secondo D.M. 7 agosto 2015

Per un approfondimento sulla classificazione dei rifiuti radioattivi si rimanda al documento [R8].

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



2 ACRONIMI

CNAPI	Carta Nazionale Aree Potenzialmente Idonee
CSA	Complesso Stoccaggio alta Attività
DN	Deposito Nazionale
DNPT	Deposito Nazionale e Parco tecnologico
HLW	High Level Waste
IAEA	International Atomic Energy Agency
ILW	Intermediate Level Waste
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
LLW	Low Level Waste
PCSA	Post Closure Safety Assessment
SA	Safety Assessment
SC	Safety Case
SSC	Sistemi Strutture e Componenti
USM	Unità Smaltimento Moduli
WAC	Waste Acceptance Criteria

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



3 SCOPO

Il presente rapporto ha lo scopo di *identificare i principali criteri di sicurezza posti alla base del progetto del Deposito Nazionale*, così come stabilito dal comma 2 c) dell'art.27 del D.Lgs 31/2010 e ss.mm.ii. [R2].

Sulla base dell'art. 2 comma 1 e) del suddetto Decreto, è prevista la realizzazione del Deposito Nazionale organizzato in due diverse strutture in un unico sito (da individuare a mezzo della procedura di localizzazione definita dallo stesso D.Lgs 31/2010²):

- una struttura per la sistemazione definitiva (smaltimento) dei rifiuti radioattivi di "Bassa e Media Attività" (nel prosieguo "Deposito di Smaltimento" o Unità di Smaltimento Moduli – "USM"). Sulla base della nuova classificazione dei rifiuti radioattivi dettata dal D.M. 7 Agosto 2015, i rifiuti destinati al "Deposito di Smaltimento" sono:

- Rifiuti ad Attività molto Bassa;
- Rifiuti a Bassa Attività;

La vita di tale struttura sarà caratterizzata dalle seguenti fasi: un '*periodo di esercizio*' della durata di circa 40 anni, in cui il deposito riceverà i rifiuti radioattivi, ed un periodo di '*Controllo Istituzionale*' in cui il deposito, chiuso e sigillato, sarà soggetto a controllo e sorveglianza (300 anni³).

² Si evidenzia che in questa prima fase di localizzazione, in conformità all'art. 2 del D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii., l'area che risulterà idonea ad accogliere il Deposito Nazionale, è ritenuta potenzialmente idonea anche per l'*immagazzinamento, a titolo provvisorio di lunga durata, dei rifiuti ad alta attività e del combustibile irraggiato provenienti dalla pregressa gestione di impianti nucleari*, come riportato nel suddetto articolo.

Infatti, alcune valutazioni preliminari, condotte in accordo con la normativa internazionale, hanno permesso di confermare quanto riportato nella Relazione Illustrativa della GT29 e in particolare:

'un sito ritenuto idoneo per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività sulla base dell'applicazione di criteri di selezione delle caratteristiche chimico fisiche, naturali ed antropiche del territorio quali quelli individuati nella Guida Tecnica può ritenersi idoneo, fatte salve verifiche, anche per la localizzazione di un deposito di stoccaggio di lungo termine'. Di tali '*verifiche*', riguardanti la '*rispondenza a fronte degli eventi naturali ed antropici ipotizzabili in relazione alle caratteristiche di sito, nonché le verifiche in merito all'impatto radiologico in condizioni normali ed incidentali sulla popolazione e sull'ambiente*' e quindi '*della piena compatibilità di tale tipologia di deposito con il sito prescelto*', potrà essere '*fornita evidenza, nell'ambito delle procedure autorizzative*' del processo di localizzazione a seguito dell'individuazione e qualifica del sito e sulla base del progetto definitivo.

³ La durata del periodo di Controllo Istituzionale è convenzionalmente fissata pari a 300 anni anche a livello internazionale

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



2. una struttura per lo stoccaggio di *lunga durata* dei rifiuti radioattivi di “Alta Attività” (d’ora in avanti “Deposito Temporaneo” o Complesso Stoccaggio Alta attività – “CSA”). Sulla base della nuova classificazione dei rifiuti radioattivi dettata dal D.M. 7 Agosto 2015, i rifiuti destinati al “Deposito di Smaltimento” sono:

- Rifiuti di Media Attività;
- Rifiuti ad Alta Attività.

La dicitura di legge [R2] “*lunga durata*” è correlata al tempo in cui si dovrà rendere disponibile un deposito geologico nel quale tali rifiuti saranno sistemati in modo definitivo. I tempi di realizzazione di un deposito geologico, anche in base agli attuali programmi ed esperienze internazionali, si collocano intorno a qualche decina di anni. Per tale motivo il CSA sarà progettato e licenziato per una vita utile di 50 anni.

Ai fini di una migliore comprensione delle terminologie riportate nei due riferimenti di legge (D.Lgs. 31/2010 e D.M. 7 Agosto 2015), si riporta di seguito una comparazione delle medesime:

Decreto Ministeriale 7 agosto 2015	Decreto legislativo 31/2010	Destinazione Finale
☆ Rifiuti a vita molto breve		☑ Smaltimento convenzionale
☆ Rifiuti di attività molto bassa ▶ DN		☑ Smaltimento di superficie (Deposito Nazionale) ▶ DN
★ Rifiuti di bassa attività ▶ DN	★ Rifiuti a bassa e media attività	
★ Rifiuti di media attività ▶ DN		☑ Stoccaggio temporaneo nel Deposito Nazionale in attesa dello smaltimento in un deposito geologico ▶ DN
★ Rifiuti ad alta attività ▶ DN	★ Rifiuti ad alta attività	

Tabella 2: Confronto tra le terminologie usate per classificare i rifiuti radioattivi

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Le caratteristiche ingegneristiche e funzionali delle due strutture da realizzare presso il Deposito Nazionale sono fundamentalmente diverse.

In particolare, il “deposito di smaltimento” deve permettere di:

- **limitare** la dose agli operatori ed alla popolazione (obiettivo di dose) per tutte le fasi di vita del deposito, inclusa quella successiva al periodo di Controllo Istituzionale, nonché per tutti gli scenari evolutivi ipotizzabili, inclusi quelli incidentali;
- **rilasciare il sito**, senza vincoli radiologici, dopo il periodo di “Controllo Istituzionale”. Dopo tale periodo infatti la radioattività contenuta nel deposito sarà decaduta ad un livello tale da non generare impatti per la salute e l’ambiente. Il sito quindi può essere rilasciato libero da vincoli radiologici per gli usi consentiti dalla legge.

Il “deposito temporaneo” deve invece permettere di:

- **limitare** la dose agli operatori ed alla popolazione (obiettivo di dose) per il periodo di permanenza dei rifiuti sul sito (come detto, per un tempo massimo di 50 anni);
- **monitorare e mantenere** i manufatti contenenti i rifiuti stoccati per tutto il periodo della loro permanenza sul sito;
- **allontanare** i rifiuti dopo il periodo prescritto di permanenza sul sito verso il deposito geologico che sarà individuato per la loro sistemazione definitiva.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



4 LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI

4.1 Principi generali

Lo smaltimento dei rifiuti radioattivi ha raggiunto un livello di evoluzione tale da consentire l'adozione di tecnologie ormai mature. Sono infatti operativi nel mondo decine di depositi per lo smaltimento di superficie di rifiuti radioattivi, mentre alcuni depositi per lo smaltimento geologico sono in fase d'indagine, di progettazione o di *licensing*.

Il ciclo di vita di un deposito si articola generalmente in distinte fasi temporali:

- la **localizzazione** durante la quale vengono svolte tutte le attività finalizzate all'individuazione di un sito idoneo alla realizzazione di una infrastruttura che possa ospitare, in modo definitivo, un carico radiologico che decadrà in tempi anche molto lunghi;
- la **progettazione e la costruzione** di tutte le strutture di deposito e di quelle ausiliarie;
- l'**esercizio** durante il quale il deposito riceve i rifiuti radioattivi per cui è stato realizzato;
- la **chiusura** che consiste nella chiusura e sigillatura delle strutture del deposito, una volta che è stato completamente riempito con i volumi e la quantità di radioattività autorizzati;
- la fase di **Controllo Istituzionale** che prevede sorveglianza e monitoraggio del deposito.

Lo smaltimento è praticato a mezzo di un "Sistema di Deposito" caratterizzato da due componenti principali:

1. l'**infrastruttura ingegneristica** che costituisce il sistema di '*barriere artificiali*';
2. la **geologia del sito** che costituisce la '*barriera naturale*'.

Queste hanno, nel loro insieme, lo scopo di [R14]:

A. **contenere** i rifiuti per tutto il periodo in cui essi possono comportare impatti per

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



la salute e l'ambiente;

- B. **isolare** i rifiuti dalla biosfera e ridurre la probabilità di intrusioni involontarie;
- C. **impedire, ridurre e ritardare** (a seconda della fase temporale) la migrazione dei radionuclidi verso la biosfera;
- D. **garantire** che la quantità di radionuclidi che possono raggiungere la biosfera, a seguito di un potenziale rilascio dal deposito, dovuto a qualunque evento, sia tale da non generare impatti sulla salute e l'ambiente.

Alle due componenti sopra citate se ne devono aggiungere altre due fondamentali:

1. **l'inventario** che è il massimo quantitativo di rifiuti smaltibili nel deposito (sia in termini di volume che di radioattività⁴);
2. la **biosfera** che rappresenta l'ambiente ricettore di eventuali rilasci.

L'inventario radiologico condiziona la tipologia di deposito in quanto quest'ultima è commisurata al livello di rischio associato ai materiali radioattivi da smaltire.

In particolare, i rifiuti classificati ad "Attività molto Bassa" e a "Bassa Attività", che rappresentano la maggioranza volumetrica dei rifiuti radioattivi tipicamente prodotti in pratiche nucleari, possono essere smaltiti in depositi realizzati in prossimità della superficie, così come indicato anche dalla Direttiva Europea 70/2011/Euratom [R7].

Ad oggi nel mondo sono presenti circa 150 depositi, costituiti per il 90% da strutture ingegneristiche in cemento armato realizzate in superficie o ad una profondità di qualche decina di metri. Tali strutture permettono di confinare i rifiuti per periodi di tempo di alcune centinaia di anni.

La stessa Direttiva EU 70/2011 identifica invece i depositi realizzati in profondità in particolari formazioni geologiche come riferimento per lo smaltimento dei rifiuti di "Media Attività" e ad "Alta Attività". Questa tipologia di deposito permette un confinamento dei rifiuti dalla biosfera per periodi di tempo dell'ordine delle centinaia di migliaia di anni.

⁴ Il deposito sarà autorizzato, sulla base delle risultanze dell'analisi di sicurezza di lungo periodo (Post Closure Safety Assessment – PCSA), per smaltire un volume ed un carico radiologico massimo di rifiuti.

Quello che segue è uno schema generale relativo alle tipologie di depositi associati alle diverse categorie di rifiuti radioattivi.

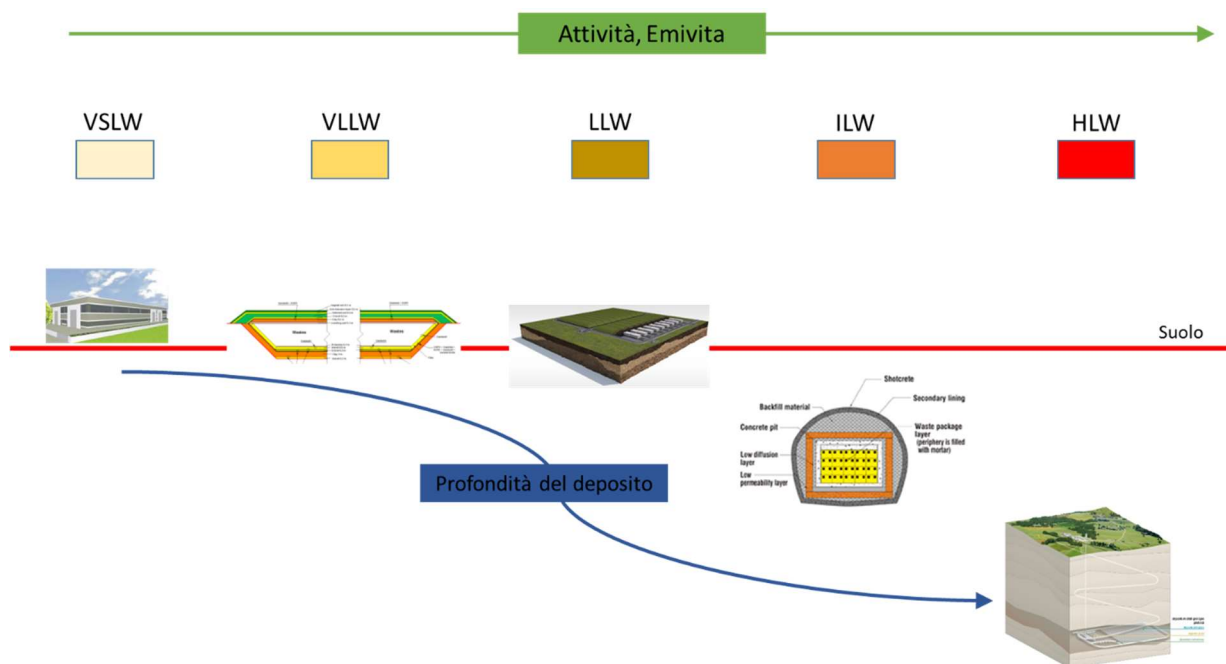


Figura 1: Schema delle possibili tipologie di depositi per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi

4.2 Lo smaltimento in depositi di superficie

Lo smaltimento di superficie è praticato abitualmente mediante un deposito [R13] realizzato a livello del suolo o a poche decine di metri di profondità.

Questi depositi sono caratterizzati da un sistema di barriere multiple che isolano i rifiuti dall'ambiente circostante per il tempo necessario a che i radionuclidi a vita breve contenuti nei rifiuti ad "Attività molto Bassa" e a "Bassa Attività" decadano a livelli di radioattività trascurabili.

In particolare, il sistema **multi-barriera** è costituito da più contenimenti fisici disposti in serie costituiti da strutture ingegneristiche (barriere artificiali), alle quali si aggiunge la geologia del sito su cui il deposito è realizzato (barriera naturale).

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Le strutture e i dispositivi ingegneristici costituenti la barriera sono progettati e qualificati per resistere alcune centinaia di anni e isolano i rifiuti radioattivi dall'ambiente circostante, impedendo eventuali intrusioni umane o di animali e la fuoriuscita di radionuclidi.

Le "barriere multiple disposte in serie" garantiscono l'efficacia del contenimento anche nel caso di indebolimento o scomparsa di una delle barriere (ridondanza delle barriere o 'Difesa in Profondità'). L'affidabilità del contenimento delle singole barriere è assicurata dalla qualità dei materiali impiegati e della loro messa in opera.

Quando le barriere ingegneristiche perdono la loro efficacia e non sono più grado di garantire il contenimento della radioattività residua (evento ipotizzabile dopo alcune centinaia di anni e sicuramente dopo il periodo di Controllo Istituzionale), interviene la barriera naturale che rallenta il trasporto dei radionuclidi residui, via via rilasciati dalla struttura di deposito, verso l'ambiente.

In genere [R13], il programma globale che riguarda la scelta del sito, la realizzazione e l'esercizio del deposito si sviluppa in un arco temporale dell'ordine di alcuni decenni. Convenzionalmente è possibile quindi identificare tre macro-periodi temporali [R12] associati all'intera vita del deposito: periodo pre-operazionale, operativo e post-chiusura, mostrati nella figura seguente.

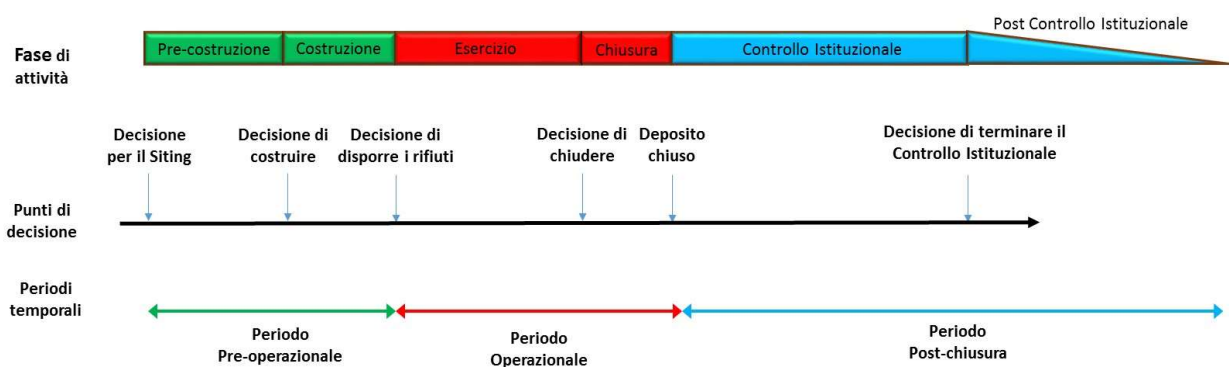


Figura 2 – Fasi evolutive e funzionali del sistema di deposito

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



In particolare il **periodo operativo** si articola in:

- **Fase di esercizio**, nella quale il deposito riceve i manufatti di rifiuti radioattivi; essa termina con la chiusura e sigillatura del deposito.
- **Fase di chiusura e sigillatura del deposito**, nella quale il deposito ormai saturo viene chiuso e sigillato mediante interventi (solaio di chiusura delle celle in calcestruzzo armato e copertura multistrato) che impediscono, insieme alle altre barriere, il contatto delle acque meteoriche con i rifiuti per tutta la durata del periodo di isolamento.

Il **periodo post-chiusura** si articola in:

- **Fase di sorveglianza (Controllo Istituzionale)**, nella quale il deposito, una volta chiuso e sigillato, è soggetto a sorveglianza, controllo e monitoraggio, al fine di garantire l'efficienza e la capacità di isolamento delle barriere ed evitare intrusioni nel deposito o comunque danneggiamenti volontari/involontari delle barriere. Ad oggi, la durata di questa fase, anche a livello internazionale, è stabilita convenzionalmente in circa 300 anni in quanto corrispondente a 10 periodi di dimezzamento del Cs137 ($T/2 = 30$ anni) che è uno dei radionuclidi di riferimento per i rifiuti radioattivi a "Attività molto Bassa" e "Bassa Attività". Tale periodo consente di ridurre il carico radiologico associato a tale radionuclide a circa un 1/1000 di quello originario⁵.
- **Rilascio incondizionato**, al termine della fase di Controllo Istituzionale, le attività di controllo, manutenzione e sorveglianza sul deposito potranno essere interrotte in quanto il suo contenuto radiologico sarà decaduto ad un livello tale da non generare impatti per la salute e l'ambiente. L'operatore potrà richiedere la cessazione della propria licenza di esercizio e il sito potrà quindi essere

⁵ In 300 anni si verificano 10 dimezzamenti del Cs137. Questo comporta che la radioattività scenda fino a ~1/1000 della radioattività iniziale al termine del periodo di Controllo Istituzionale. I radionuclidi con tempi di decadimento più brevi di quello del Cs137 decadono a frazioni ancora più piccole dell'attività iniziale.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



rilasciato senza vincoli radiologici, per gli usi convenzionali, ammessi dalla legge.

Il rilascio potrà essere attuato solo a seguito della dimostrazione del rispetto dell'obiettivo di dose stabilito dall'Autorità di Sicurezza (ISPRA); tale dimostrazione potrà essere attuata tramite l'analisi di sicurezza di lungo termine (Post Closure Safety Assessment – PCSA) da svolgere per qualunque scenario ipotizzabile del sistema di deposito (eventi naturali ed eventi di intrusione umana involontaria⁶).

L'International Commission on Radiological Protection (ICRP) fissa l'obiettivo di dose per il PCSA di cui sopra a 0,3 mSv/anno. Tale valore è una frazione del limite annuale di dose stabilito per la popolazione per una o più pratiche nucleari (1 mSv/anno), a sua volta pari ad una frazione del fondo naturale⁷.

In virtù delle indicazioni dettate dalla ICRP, l'obiettivo di dose adottato da vari depositi internazionali si colloca fra 0,1 a 0,3 mSv/anno.

In Italia, il valore di riferimento che sarà ragionevolmente adottato è quello anticipato nella GT 29 [R6] redatta dall'Autorità di Sicurezza. Tale valore corrisponde al limite per la “non rilevanza radiologica” delle pratiche nucleari [R1], pari a 10 µSv/anno (0,01 mSv/anno), ovvero oltre un ordine di grandezza più basso dell'obiettivo di dose adottato a livello internazionale.

⁶ Una intrusione all'interno del deposito che può verificarsi solo dopo il periodo di Controllo Istituzionale (ossia dopo che sono cessate le attività di sorveglianza del deposito), come conseguenza di una qualsiasi attività umana e della eventuale perdita di memoria della presenza del deposito stesso.

⁷ Il fondo naturale in Italia, cioè la dose media di radioattività, proveniente da fonti naturali (principalmente da radon e da raggi cosmici), riferita ad una qualsiasi persona del pubblico è pari a 2,4 mSv/anno.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



5 IL DEPOSITO NAZIONALE

Come già accennato, il Deposito Nazionale sarà caratterizzato da due strutture principali:

- un deposito definitivo per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi ad “Attività molto Bassa” e dei rifiuti radioattivi a “Bassa Attività”;
- un deposito temporaneo per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi di “Media Attività” e dei rifiuti radioattivi ad “Alta Attività”.

5.1 Descrizione generale del deposito di smaltimento

Sulla base della prassi internazionale, Sogin ha adottato per la struttura di smaltimento una soluzione progettuale di riferimento analoga a quella realizzata in Francia nel deposito di L’Aube, in Spagna nel deposito di El Cabril e a quella in corso di realizzazione a Dessel in Belgio.

In particolare, la soluzione prevede [R9] un sistema **multi-barriera** costituito dalle seguenti barriere:

- a. Manufatto
- b. Modulo
- c. Cella
- d. Copertura di deposito.

Sarà, inoltre, realizzato un sistema di drenaggio per la raccolta ed il controllo delle eventuali infiltrazioni d’acqua all’interno del deposito.

Un’ulteriore **barriera naturale** è costituita dalla geologia del sito su cui il deposito sarà realizzato.

Di seguito un’immagine delle barriere ingegneristiche sopra citate.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Le barriere ingegneristiche

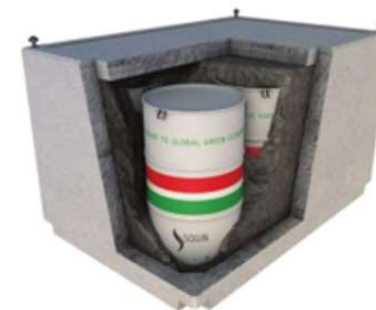
PRIMA BARRIERA – I rifiuti sono condizionati con matrice cementizia in contenitori metallici (**Manufatti**)



SECONDA BARRIERA – I manufatti vengono inseriti e cementati in **moduli** di calcestruzzo speciale delle dimensioni di 3m x 2m x 1,7m



TERZA BARRIERA – I moduli vengono a loro volta inseriti in **celle** di cemento armato 27m x 15,5m x 10m



COPERTURA – Una volta riempite, le celle vengono sigillate e ricoperte con più strati di materiale opportuno, per prevenire infiltrazioni d'acqua

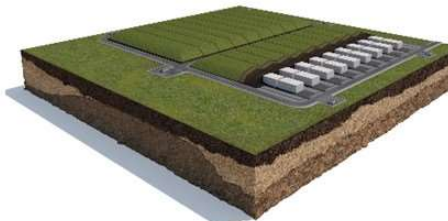


Figura 3: Barriere ingegneristiche

PROPRIETA'	STATO	LIVELLO DI CLASSIFCAZIONE	PAGINE
DNPT F. Chiaravalli	Documento Definitivo	Pubblico	18
Legenda	Stato: Bozza, In Approvazione, Documento Definitivo Livello di Classificazione: Pubblico, Aziendale, Riservato Aziendale – riproduzione vietata, Uso Ristretto – riproduzione vietata		

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Di seguito viene riportata una descrizione di dettaglio delle fasi di vita del deposito di smaltimento, già introdotte al § 4.2.

Fase di esercizio

Rappresenta il periodo di circa 40 anni durante il quale il Deposito riceverà i manufatti di rifiuti radioattivi dai vari produttori nazionali. Nei primi 15/20 anni saranno conferiti i rifiuti già prodotti nelle passate attività (rifiuti pregressi) ed attualmente stoccati presso i vari impianti e depositi di Sogin, nonché quelli che deriveranno dalle attività di decommissioning delle installazioni nucleari del ciclo del combustibile, che nel complesso rappresentano la maggioranza dell'inventario nazionale. Successivamente il deposito riceverà per lo più i rifiuti prodotti dalle future attività medicali, industriali e di ricerca. Il conferimento dei rifiuti sarà comunque eseguito sulla base di un predefinito piano di conferimento concordato con i produttori.

Fase di chiusura e sigillatura del deposito

In questa fase, della durata di circa 5-10 anni, il deposito viene ulteriormente protetto mediante l'ultima barriera ingegneristica prevista: una copertura impermeabile a più strati di materiale inerte verrà posta a ricoprimento delle celle del deposito con lo scopo di proteggere ulteriormente le celle stesse ed i manufatti di rifiuti posti al loro interno, dagli agenti atmosferici.

Il progetto definitivo della copertura multistrato terrà conto delle caratteristiche ambientali ed in particolare quelle climatiche del sito in cui sarà realizzato il deposito. Ad oggi, la soluzione preliminare prevede, in linea di massima, uno strato superficiale che favorisce l'evaporazione naturale, uno strato di materiale grossolano che ostacola l'intrusione di animali e uno strato impermeabile sottostante.

Fase di sorveglianza (Controllo Istituzionale)

Durante questa fase, così come in quella di esercizio e chiusura, l'efficienza delle barriere e le attività di sorveglianza e controllo impediranno qualunque tipo di rilascio radioattivo dalle strutture di deposito.

In linea con la prassi internazionale, la durata di questa fase è stabilita in circa 300 anni.

PROPRIETA'	STATO	LIVELLO DI CLASSIFICAZIONE	PAGINE
DNPT	Documento Definitivo	Pubblico	19
F. Chiaravalli			
Legenda	Stato: Bozza, In Approvazione, Documento Definitivo		
	Livello di Classificazione: Pubblico, Aziendale, Riservato Aziendale - riproduzione vietata, Uso Ristretto - riproduzione vietata		

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Rilascio incondizionato

Il rilascio del sito da vincoli radiologici (cioè la possibilità di rimuovere la licenza di esercizio e riutilizzare il sito per usi convenzionali) sarà deciso sulla base delle risultanze del Post Closure Safety Assessment (PCSA) (vedi capitolo 8) al termine del periodo di Controllo Istituzionale. Gli esiti dell'analisi, opportunamente validati dall'Autorità di Sicurezza, dovranno mettere in evidenza il rispetto degli obiettivi di dose per il rilascio del sito a fronte degli scenari presi a riferimento⁸.

5.2 Descrizione generale del deposito di stoccaggio

In attesa che venga individuata una soluzione per il loro smaltimento in un deposito geologico⁹, analogamente a quanto praticato in altre nazioni europee, i rifiuti radioattivi di "Media Attività" ed "Alta Attività", saranno stoccati temporaneamente (per un tempo massimo di 50 anni), nel Complesso di Stoccaggio Alta attività (CSA).

Il CSA garantirà:

- la custodia in sicurezza dei rifiuti per 50 anni limitando la dose agli operatori e alla popolazione ai livelli stabiliti dall'Autorità di Sicurezza;
- l'ispezionabilità e l'eventuale manutenzione dei manufatti¹⁰ stoccati;
- il recupero e il trasporto dei rifiuti verso il futuro deposito geologico (allontanamento dei rifiuti).

Questi obiettivi sono conseguiti mediante strutture ingegneristiche, quali contenitori¹¹ qualificati per i rifiuti e adeguati edifici di stoccaggio dei contenitori stessi. Gli edifici sono progettati secondo i più alti standard di sicurezza per resistere anche ad eventi estremi.

⁸ Gli scenari di riferimento dovranno essere definiti e concordati con l'Autorità di Sicurezza

⁹ A tal proposito, la Direttiva EU 70/2011 lascia aperta la possibilità che più paesi Europei possano concordare lo sviluppo di un deposito comunitario per la gestione dei materiali radioattivi.

¹⁰ Per manufatto si intende l'insieme del contenitore e del suo contenuto (rifiuto ed eventuale matrice di condizionamento/immobilizzazione).

¹¹ Per contenitore si intende la struttura cilindrica o prismatica in cui vengono confezionati/condizionati i rifiuti per la realizzazione di manufatti.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



I rifiuti radioattivi di “Media Attività” che dovranno essere stoccati nell’impianto, sono costituiti essenzialmente dai rifiuti derivanti dall’esercizio e dallo smantellamento delle installazioni nucleari quali, ad esempio:

- parti metalliche attivate;
- rifiuti liquidi condizionati derivanti dalle attività condotte presso i siti ENEA di Saluggia e Trisaia;
- grafite irraggiata di Latina.

I rifiuti solidi non ancora condizionati saranno conferiti al CSA in contenitori speciali prismatici e cilindrici detti “ad alta integrità”, cioè contenitori che garantiscono, senza la necessità di matrici di condizionamento, il confinamento della radioattività in tutte le condizioni normali ed incidentali previste per il trasporto e lo stoccaggio (caduta, incendio, corrosione, ecc.) durante i 50 anni della vita di progetto. I rifiuti liquidi saranno invece condizionati in forma omogenea in matrice cementizia all’interno di contenitori qualificati.

I rifiuti radioattivi ad “Alta Attività” che dovranno essere stoccati nell’impianto, sono costituiti essenzialmente dai rifiuti derivanti dal riprocessamento all’estero del combustibile irraggiato e dal combustibile irraggiato non riprocessabile; in particolare:

- residui derivanti dal riprocessamento del combustibile irraggiato inviato in Francia ed Inghilterra;
- 64 elementi di combustibile irraggiato tipo Elk River oggi in Trisaia;
- piccoli quantitativi di combustibile irraggiato non ritrattabile presente presso i siti ex-ENEA (barrette, pellet, ecc.) e presso il JRC Ispra.

I residui del riprocessamento del combustibile ed il combustibile irraggiato non riprocessabile saranno trasportati al sito e stoccati in *cask*, cioè contenitori metallici realizzati con materiali e caratteristiche strutturali tali da assicurare lo schermaggio e il confinamento in tutti i possibili scenari normali ed incidentali e quindi garantire elevati standard di sicurezza sia durante il trasporto che lo stoccaggio. La resistenza dei *cask* viene verificata anche in condizioni molto gravose, quali la caduta da elevate altezze, l’impatto aereo, l’incendio.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Il CSA si sviluppa su quattro edifici simili, fisicamente separati, ognuno organizzato in navate di stoccaggio, collegate tra loro da un corridoio di accesso per l'ingresso dei manufatti. La movimentazione dei manufatti dal corridoio a ogni navata di stoccaggio avviene tramite una cella di transito, dotata delle attrezzature necessarie per controlli ed eventuali manutenzioni dei manufatti stessi.

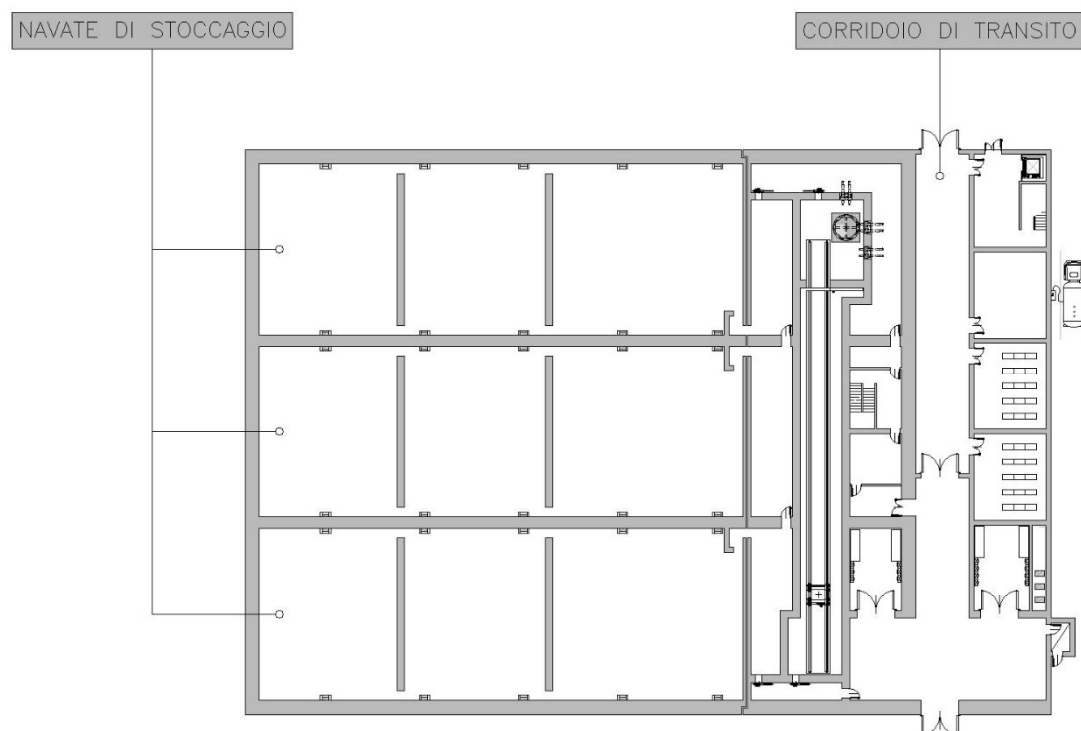


Figura 4 Pianta edificio 'tipo' del CSA

Le navate si differenziano in relazione alla tipologia di manufatti che vengono stoccati all'interno e che richiedono differenti modalità di gestione. Il Progetto preliminare prevede una navata dedicata allo stoccaggio dei cask e altre navate per lo stoccaggio delle altre tipologie di manufatti secondo un piano di caricamento appositamente studiato.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



6 CRITERI DI SICUREZZA DEL DEPOSITO PER LO SMALTIMENTO

L'obiettivo fondamentale che guida lo smaltimento dei rifiuti radioattivi è quello di proteggere la popolazione e l'ambiente dai possibili effetti nocivi delle radiazioni ionizzanti sia nel presente che nel futuro.

Per raggiungere questo obiettivo, i depositi di rifiuti radioattivi devono essere progettati, realizzati e gestiti sulla base di adeguati criteri di sicurezza [R14].

Le misure che possono essere messe in opera sono di entità e natura diversa: tecniche, metodologiche, procedurali, amministrative.

Tutte, nel loro insieme, devono contribuire, a fronte dei fattori tecnici, economici e sociali in gioco, a garantire l'efficienza delle barriere e quindi le funzioni di cui al § 4.1. Devono inoltre:

- ✓ ridurre la possibilità di accadimento di un qualsiasi evento che infici l'efficienza del deposito come struttura di contenimento dei rifiuti;
- ✓ ridurre i potenziali effetti prodotti da qualunque evento, nel momento in cui questo dovesse verificarsi, garantendo comunque il rispetto dei limiti di dose imposti dall'Autorità di Sicurezza.

Il sistema di sicurezza deve altresì essere efficace e verificabile, ossia deve essere possibile effettuare un'analisi di sicurezza che permetta di confermare, anche tenendo conto delle incertezze legate alle scale temporali in gioco, che l'obiettivo di dose sia ampiamente rispettato.

Occorre poi, una volta realizzato il deposito, mettere in piedi un sistema di controllo e monitoraggio che verifichi periodicamente il comportamento della struttura ed il rispetto degli obiettivi prefissati.

La sicurezza di un sistema di smaltimento di superficie dipende fondamentalmente dalle caratteristiche dei rifiuti, dai criteri di progetto delle strutture ingegneristiche che contengono ed isolano i rifiuti e dalle caratteristiche del sito selezionato.

È quindi necessario sviluppare una "strategia per la sicurezza" che, sulla base di opportuni criteri indicati dall'Autorità di Sicurezza (così come prescritto dallo stesso

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



D.Lgs 31/2010), tenga in considerazione tutte le componenti, le fasi di vita e gli scenari evolutivi ipotizzabili del sistema di deposito.

La strategia dovrà essere in linea con la politica nazionale sullo smaltimento e dovrà prendere in considerazione il contesto regolatorio nazionale, gli standard internazionali ed i vincoli imposti da fattori sociali ed economici.

La sicurezza può essere conseguita con sistemi attivi o passivi. I **sistemi attivi** sono quelli che per il loro funzionamento richiedono l'intervento dell'uomo e/o di fonti esterne di energia (esempi di sistemi attivi sono il sistema di controllo e sorveglianza che prevede ispezioni visive da parte di addetti oppure il sistema antincendio realizzato mediante rivelatori e distributori di acqua). I **sistemi passivi**, invece, per il loro funzionamento si basano su semplici principi fisici come quello della forza di gravità e quindi, per loro natura, sono intrinsecamente sicuri (esempio di sistema passivo è la circolazione naturale dell'aria per convezione).

La normativa e la prassi internazionale, ormai consolidata, richiedono che la sicurezza dei depositi per lo smaltimento di rifiuti radioattivi sia conseguita utilizzando ove possibile sistemi passivi che svolgono le loro funzioni in tutti i possibili scenari, normali e incidentali.

6.1 Criteri di sicurezza concettuali

Di seguito sono riportati i principali criteri di sicurezza indicati negli standard internazionali [R12] [R13] che sono alla base del progetto preliminare del "Deposito di Smaltimento" del DN¹² e saranno altresì applicati nello sviluppo del suo progetto definitivo.

¹² Questi potranno essere integrati o modificati da eventuali ulteriori criteri dettati dall'Autorità di Sicurezza.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



6.1.1 Protezione dalle radiazioni

Le attività connesse all'esercizio, alla chiusura e al Controllo Istituzionale del Deposito Nazionale verranno condotte garantendo il rispetto dei principi fondamentali della protezione radiologica sanciti dall'ICRP [R10]:

- *Giustificazione*
- *Ottimizzazione*
- *Limite di dose e di rischio*

6.1.2 Contenimento passivo dei rifiuti radioattivi

Il termine "contenimento" sottintende le "strutture fisiche" che permettono di prevenire e controllare il potenziale rilascio di sostanze radioattive dal deposito e la loro dispersione nell'ambiente [R16].

I rifiuti saranno pertanto sottoposti ad adeguati "contenimenti" posti in serie (barriere ingegneristiche), opportunamente qualificati al fine di essere realizzati con materiali, procedure (ad esempio costruttive) e processi (ad esempio di condizionamento dei rifiuti nei manufatti) che garantiscano la capacità di contenimento per tutto il periodo di rilevanza radiologica¹³.

La capacità di contenimento sarà verificata mediante l'analisi di sicurezza di lungo periodo (PCSA).

6.1.3 Isolamento dei rifiuti radioattivi

I rifiuti contenuti nel deposito devono essere non accessibili dall'esterno in qualsiasi fase di vita del deposito e in tutti gli scenari ipotizzabili (normali o incidentali) in cui la *performance* del deposito stesso può essere più o meno disturbata dalla sua normale evoluzione.

¹³ Per i rifiuti da inviare allo smaltimento al DN tale periodo è dell'ordine di qualche centinaio di anni

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



L'isolamento dei rifiuti nel "Deposito di Smaltimento" è realizzato mediante i seguenti sistemi passivi:

1. le barriere ingegneristiche che oltre a contenere i rifiuti, li isolano dall'ambiente circostante per il tempo richiesto;
2. la geologia del sito che agisce come ulteriore barriera naturale impedendo o rallentando il ritorno della radioattività residua all'ambiente;
3. Il sistema di raccolta dei drenaggi che permette di raccogliere ed allontanare eventuali infiltrazioni dalle celle;

L'isolamento è inoltre garantito mediante l'adozione di controlli periodici e monitoraggi ambientali (misure attive) durante la fase di esercizio e la fase di controllo istituzionale.

6.1.4 Condizionamento dei rifiuti

Il "condizionamento" dei rifiuti radioattivi consiste nell'immobilizzazione dei rifiuti stessi e quindi dei radionuclidi in essi presenti all'interno di speciali matrici cementizie. Queste matrici consentono di solidificare i rifiuti liquidi e di inglobare i rifiuti solidi, realizzando in tal modo un monolite che costituisce la prima barriera passiva di contenimento (manufatto).

6.1.5 Sistema Multi-barriera (Difesa in profondità)

Il deposito di superficie per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi al DN permetterà di contenere i radionuclidi presenti nei rifiuti radioattivi e di isolarli dalla biosfera.

Come già anticipato nei paragrafi precedenti questo è garantito da un sistema di più barriere ingegneristiche passive disposte in serie che nel loro insieme costituiscono il cosiddetto 'Sistema Multi-barriera'.

La presenza di barriere multiple [R12] fornisce la cosiddetta "Difesa in Profondità", ossia una sicurezza che non dipende dal corretto funzionamento di una singola barriera ma da quello di tutte le barriere nel loro complesso.

Nel caso in cui una barriera venisse meno, avesse cioè un comportamento diverso da quello di progetto a causa dell'occorrere di qualche processo inatteso o poco probabile,

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



interverrebbero le barriere successive che ripristinerebbero il grado di sicurezza globale (*ridondanza*).

In genere, la scelta della tipologia ed il numero di barriere necessarie a soddisfare i requisiti di contenimento ed isolamento, dipende dai radionuclidi contenuti nei rifiuti e dal loro tempo di decadimento. Le barriere saranno caratterizzate da materiali con prestazioni tali da far fronte agli eventi che possono interessare sia gli scenari di normale evoluzione che gli scenari in cui si manifestano fenomeni di disturbo (es. scenari incidentali, intrusione).

Nello specifico le tipologie ed il numero delle barriere su cui è basato il progetto preliminare del deposito di smaltimento del DN, sono quelle indicate al § 5.1.

Anche le caratteristiche del sito su cui il deposito è realizzato hanno un forte ruolo nella capacità del sistema di fornire adeguato contenimento ed isolamento. Infatti, vi sono alcune proprietà chimiche e fisiche dei suoli che contribuiscono a rallentare il trasporto in geosfera dei radionuclidi nell'ipotesi in cui questi, dopo il periodo di Controllo Istituzionale, vengano rilasciati in ambiente. Questo permette di "contenere" i radionuclidi all'interno della barriera naturale, impedendone un arrivo veloce in biosfera. Allo stesso obiettivo contribuiscono la bassa permeabilità dei terreni, la bassa solubilità nell'acqua di molti radionuclidi e l'alta capacità di assorbimento degli stessi sulle matrici solide porose attraversate.

Pertanto, il sistema multi-barriera è progettato in modo da riprodurre una combinazione di caratteristiche ingegneristiche e naturali capaci di minimizzare l'ingresso delle acque meteoriche nel deposito che favorirebbero il rilascio di radionuclidi e di limitare la loro dispersione e trasporto nell'ambiente esterno.

6.1.6 Robustezza

Il concetto di robustezza si riferisce alle componenti del sistema deposito ed al Deposito nella sua totalità [R12].

La *robustezza delle singole componenti* del sistema deposito (barriere) consiste nella loro capacità di fornire ancora una sufficiente funzione di sicurezza residua anche in

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



caso di superamento delle condizioni di progetto (ad esempio, nel caso improbabile di sisma con intensità superiore a quella di progetto, una struttura 'robusta' non collassa ma al più può danneggiarsi localmente).

La progettazione delle barriere sarà commisurata ai rischi di eventi esterni tipici del sito selezionato per la realizzazione del DN.

La robustezza delle singole barriere, che dipende anche dall'applicazione di adeguate tecniche ingegneristiche di costruzione, e le modalità di interazione e collaborazione tra di loro (multi-barriera), determinano la robustezza dell'intero Deposito.

6.1.7 Scelta del sito su cui realizzare il deposito

Il sito nel quale verrà ubicato il DNPT contribuisce al contenimento ed all'isolamento dei rifiuti, in quanto le caratteristiche del sito:

- contribuiscono a ridurre drasticamente gli effetti derivanti dall'evoluzione naturale del deposito e quindi dal potenziale rilascio di contaminanti da deposito;
- saranno tali da rendere poco probabili eventi che potrebbero minacciare l'integrità delle barriere alle quali è affidata la sicurezza del deposito (ad es. sismici, eruzioni vulcaniche, alluvioni o fenomeni di erosione).

Il trasporto attraverso le acque sotterranee è il più probabile meccanismo naturale attraverso cui i radionuclidi, ancora non decaduti a livelli accettabili al termine della fase di Controllo Istituzionale, possono entrare in contatto con la biosfera in un lontano futuro. I meccanismi di trasporto dei radionuclidi in falda sono espressi dai flussi di advezione, diffusione e dispersione, influenzati essenzialmente da fenomeni di assorbimento, precipitazione e scambio ionico. Tutti questi processi dipendono fortemente dalla chimica e dalla fisica dell'ambiente e dalle interazioni tra le barriere ed il sistema delle acque sotterranee. Pertanto, la geologia del sito contribuirà al contenimento dei rifiuti riducendo al minimo l'impatto radiologico provocato dal potenziale rilascio, dal deposito di smaltimento del DN, dei radionuclidi residui dopo il periodo di Controllo Istituzionale.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Le caratteristiche fisiche e chimiche del suolo ostacolano il rilascio di radionuclidi nella falda grazie anche alla bassa permeabilità dei terreni ed ai fenomeni di ritenzione chimica.

I criteri di localizzazione del DN, indicati dall’Autorità di Sicurezza [R6], permettono di individuare luoghi distanti da aree con le seguenti caratteristiche:

- ricche di risorse sotterranee, idriche, minerarie e geotermiche;
- in cui vi sono intense attività antropiche;
- che sorgono nei pressi di importanti strutture, aeroporti e vie di trasporto,

Contribuisce quindi indirettamente anche a ridurre il rischio di involontaria intrusione umana [R13].

Il sito che ospiterà il deposito dovrà inoltre avere caratteristiche ambientali tali che eventuali impatti potenzialmente negativi sulle strutture di deposito, siano ridotti ad un livello accettabile.

I Criteri di localizzazione indicati dall’Autorità di Sicurezza con la GT 29 [R6] sono stati implementati da Sogin per la definizione della CNAPI.

6.1.8 Sicurezza passiva e attiva

Durante le fasi di scelta del sito, progettazione, costruzione, messa in esercizio e chiusura del deposito è compito dell’Operatore fare in modo che la sicurezza sia garantita il più possibile da mezzi passivi, in maniera tale che non sia necessario **pianificare** interventi nella fase post-chiusura. Il deposito, infatti, è realizzato utilizzando principalmente elementi progettuali e procedure in grado di garantire la sicurezza senza la necessità di interventi da parte dell’uomo o l’impiego di apparecchiature (sicurezza passiva) [R13].

Durante la fase di esercizio, il deposito è soggetto ad una “gestione attiva” in cui sono adottate misure di controllo che riguardano la movimentazione dei rifiuti ed il rilevamento dei livelli di contaminazione e di radiazione all’interno e all’esterno della struttura. In tale fase vengono adottate anche delle misure di sicurezza passiva che

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



sono essenzialmente legate alla schermatura ed al contenimento fornito dai manufatti dei rifiuti.

A completamento dell'attività di sistemazione dei rifiuti l'impianto verrà chiuso ed avviato ad una gestione in cui la sicurezza del deposito sarà garantita, come già detto, essenzialmente da sistemi passivi, quali le barriere.

Gli unici sistemi attivi saranno la sorveglianza, il controllo e l'eventuale manutenzione, qualora si dovessero riscontrare eventi non previsti (ad esempio il danneggiamento della copertura multistrato).

6.1.9 Recuperabilità dei rifiuti

Sebbene il termine "smaltimento" implichi *la sistemazione in modo definitivo dei rifiuti radioattivi in un deposito senza l'intenzione di recuperarli* [R16], il progetto del deposito tiene in conto anche l'eventualità remota che in un prossimo futuro si renda necessario o opportuno il loro recupero.

La potenziale recuperabilità dei rifiuti è un concetto che viene tradotto in un requisito progettuale del deposito e non comprometta minimamente il rispetto dei requisiti di sicurezza e radioprotezione. Un eventuale recupero dei rifiuti deve garantire ai lavoratori, all'attuale generazione e a quelle future le medesime condizioni di radioprotezione imposte per la fase di messa a dimora. Il deposito deve quindi essere predisposto in modo da rendere il più agevole possibile, dal punto di vista tecnico/economico e radiologico, il recupero dei rifiuti, qualora si dovesse attuare tale scelta.

La recuperabilità dei rifiuti, anche in altri programmi di smaltimento a livello internazionale, ha lo scopo di garantire una maggiore sicurezza ed una più elevata flessibilità dell'intero sistema.

Il progetto del "Deposito di Smaltimento" adotta tale principio grazie all'utilizzo del Modulo (seconda barriera) e rende tecnicamente possibile quindi la recuperabilità dei rifiuti, con interventi di portata limitata, sia in fase di esercizio sia durante il Controllo Istituzionale.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



6.1.10 Limitazione del contenuto radiologico del ‘Source Term’

L’inventario dei rifiuti radioattivi, da avviare a smaltimento, rappresenta il “termine sorgente” (*Source Term*) del sistema di deposito definitivo (cioè il quantitativo complessivo di materiale radioattivo che viene autorizzato per lo smaltimento in rispetto degli obiettivi di dose). Esso è caratterizzato essenzialmente da radionuclidi a vita breve (tempo di dimezzamento uguale o inferiore a 31 anni) e da quantità limitate di radionuclidi a lunga vita ($< 400 \text{ Bq/g}$)¹⁴ tali da consentire di raggiungere, nell’arco di alcune centinaia di anni, concentrazioni di radioattività che non comportino impatti per la salute e l’ambiente, ossia tali da assicurare il rispetto degli obiettivi di dose¹⁵ indicati dall’Autorità di Sicurezza per i diversi scenari evolutivi ipotizzabili per il sistema di deposito.

Infatti, se il Safety Assessment dovesse rivelare che le caratteristiche progettuali del deposito e le caratteristiche geologiche del sito non sono tali da garantire il rispetto degli obiettivi di dose per l’intero inventario destinato allo smaltimento, si dovrà operare una riduzione dello stesso (ossia del carico radiologico).

Il criterio di sicurezza è quindi quello di limitare l’inventario dei rifiuti da smaltire, ad esempio destinando allo stoccaggio temporaneo e successivamente allo smaltimento geologico, alcune correnti di rifiuti contenenti principalmente radionuclidi a lunga vita. Inoltre, la modularità con cui è realizzato il deposito di smaltimento del DN permette una razionale gestione di tutti i rifiuti radioattivi nazionali non solo dal punto di vista volumetrico ma anche radiologico.

6.1.11 Durabilità e qualifica delle barriere ingegneristiche

La durabilità delle barriere è uno dei criteri principali di sicurezza posti alla base del progetto del deposito di smaltimento. Il confinamento dei radionuclidi per il tempo sufficiente al loro decadimento a livelli trascurabili (circa 300 anni) è infatti garantito dal

¹⁴ Vale per tutti i radionuclidi con $T_{1/2} > 31$ anni eccetto Ni59+Ni63 per i quali la concentrazione sarà $\leq 40 \text{ kBq/g}$.

¹⁵ Ad esempio, $10 \mu \text{ Sv/anno}$ per lo scenario evolutivo normale.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



fatto che le barriere mantengano le loro caratteristiche almeno per tale periodo di tempo.

In altre parole, la sicurezza del deposito fino alla fine del periodo di Controllo Istituzionale è affidata principalmente al sistema multi-barriera che pertanto sarà oggetto di un dedicato processo di qualifica dei materiali e delle procedure di messa in opera con cui esse saranno realizzate.

Nella fattispecie, la qualifica delle barriere del DN ha l'obiettivo di definire le caratteristiche chimiche, fisiche, meccaniche nonché le procedure di realizzazione e qualificazione del Modulo, della malta di riempimento del Modulo (Grout) e della Cella di Deposito, al fine di implementare la soluzione ingegneristica più idonea ad assicurare, nel lungo termine (centinaia di anni¹⁶), la sicurezza strutturale e la funzionalità di isolamento e confinamento dei radionuclidi.

Le attività di Qualifica saranno svolte attraverso specifici programmi di modellazione matematica, prove in laboratorio su campioni e provini, prove sui prototipi e simulazione di costruzione anche in scala reale.

Si ricorda che anche la matrice di condizionamento dei rifiuti nei manufatti (barriera primaria) è oggetto di qualifica specifica sulla base caratteristiche chimico-fisico-radiologiche del rifiuto stesso.

Le attività di qualifica delle barriere hanno lo scopo di assicurare i seguenti requisiti funzionali principali:

modulo+grout:

- vita utile 350 anni
- specifiche caratteristiche dimensionali
- resistenza ad un campo di irraggiamento di riferimento (per un periodo di 350 anni)
- funzione di barriera idraulica

¹⁶ 40 anni di esercizio + 300 anni per il Controllo Istituzionale

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



- funzione di barriera chimica (barriera alla migrazione dei radionuclidi)
- impilabilità a 5 livelli
- movimentabilità dall'alto
- resistenza ai carichi di progetto dovuti ad eventi incidentali interni ed esterni

Cella di Deposito:

- durabilità per 350 anni
- specifiche caratteristiche dimensionali (tali da accogliere 240 moduli)
- spessori delle pareti e delle solette tali da garantire la funzione di schermaggio richiesta, la stabilità strutturale e la lavorabilità dei getti
- efficacia nell'azione di isolamento dei moduli da potenziali infiltrazioni di acqua
- limitazione e ritardo alla migrazione dei radionuclidi verso l'ambiente esterno
- resistenza ai carichi di progetto dovuti ad eventi incidentali interni ed esterni
- facilità di realizzazione
- assenza di giunti in elevazione e in fondazione
- assenza di difettosità durante la realizzazione

Le qualifiche riguarderanno anche i materiali impiegati per i componenti strutturali del deposito, quali:

- fondazioni
- gallerie tecniche di drenaggio
- *backfilling*¹⁷
- chiusura/sigillatura delle celle

¹⁷ Il *backfilling* è il materiale inerte (ad es. sabbia o argilla granulare) utilizzato per riempire gli spazi fra i moduli nella cella per assicurare la loro stabilità senza peraltro impedirne l'eventuale recuperabilità.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



6.1.12 Criteri di Accettazione dei rifiuti al DN (WAC)

Uno dei principali criteri per garantire la sicurezza del Deposito Nazionale è l'utilizzo dei Criteri di Accettazione dei Rifiuti (Waste Acceptance Criteria – WAC).

I rifiuti radioattivi saranno accettati infatti esclusivamente se le loro caratteristiche rispetteranno indicazioni e prescrizioni tecnico-gestionali (WAC) derivate da opportune analisi di sicurezza ed approvate dall'Autorità di Sicurezza.

I WAC rappresentano quindi una **misura della performance** richiesta ai manufatti dei rifiuti radioattivi al fine di garantire la sicurezza degli operatori, delle persone del pubblico e dell'ambiente durante tutte le fasi di vita del deposito (conferimento, esercizio, chiusura, controllo istituzionale e post istituzionale) e durante tutti gli scenari (scenario evolutivo normale, scenari incidentali e scenari d'intrusione) che saranno concordati con l'Autorità di Sicurezza [R13].

Di fatto, il rispetto dei WAC permette di annullare e/o limitare le conseguenze, verso operatori, pubblico ed ambiente, di potenziali rilasci che possono occorrere nelle fasi sopra citate.

Tutti gli interventi necessari a realizzare manufatti che rispettino i WAC sono a carico del produttore dei rifiuti; nessun trattamento o intervento deve essere effettuato al DN per rendere i manufatti conformi ai WAC per lo smaltimento.

6.1.13 Monitoraggio e Sorveglianza nelle aree limitrofe al Deposito e Manutenzione delle strutture di deposito

Come esposto nei paragrafi precedenti, la sicurezza nel lungo periodo del deposito di superficie per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi è affidata a tutte le componenti di sicurezza passiva che garantiscono il contenimento e l'isolamento dei rifiuti stessi [R13]. Dopo la chiusura del deposito e per tutta la durata del Controllo Istituzionale, la sicurezza passiva è integrata da misure di sorveglianza e monitoraggio che servono a verificare la continua efficacia delle barriere.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Il monitoraggio consiste nelle osservazioni e misure continue o periodiche di parametri ambientali, ingegneristici o radiologici per la valutazione del comportamento del deposito e dell'impatto che esso ha sulla popolazione e sull'ambiente.

Durante il Controllo Istituzionale, le attività di monitoraggio e sorveglianza assicureranno la protezione del sito evitando le intrusioni o in generale accessi non autorizzati.

Il permanere nel tempo delle condizioni di sicurezza del deposito è garantito, oltre che dalla progettazione sviluppata sul concetto di sicurezza passiva, dalle attività di sorveglianza e monitoraggio dei parametri ambientali sul sito e nelle sue vicinanze.

In particolare, tali attività riguarderanno più in generale le caratteristiche che contribuiscono alla capacità di isolamento e contenimento del sistema, quali ad esempio la conservazione dello stato delle barriere fisiche che separano i rifiuti dalla biosfera evidenziando eventuali prematuri degradi, ancorché non attesi, e quindi permettere di effettuare i necessari interventi di manutenzione e ripristino. Inoltre, riguarderanno la valutazione della presenza di eventi o processi di carattere geomorfologico o meteorologico di disturbo, nonché misure di controllo attivo finalizzate a limitare e regolare l'accesso al sito.

Le attività di monitoraggio saranno dettagliate all'interno di un programma sistematico, trasparente e flessibile, sviluppato per la fase di esercizio e per quella post-chiusura, che dovrà seguire nel tempo l'evoluzione delle componenti cui è affidata la sicurezza passiva del sistema.

6.1.14 Formazione del personale

Tutto il personale che sarà coinvolto allo svolgimento delle attività di gestione dei rifiuti, dall'accettazione al successivo controllo in esercizio, sarà soggetto a specifici corsi formativi al fine di adeguare la professionalità alle specifiche mansioni attribuite.

Particolarmente intenso sarà il percorso formativo del personale del DN. Tale percorso provvederà alla formazione di personale con mansioni diverse da quelle tradizionali

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



degli impianti nucleari presenti sul territorio nazionale, come centrali di potenza ed impianti del ciclo del combustibile.

La formazione riguarderà tutti i cicli lavorativi del DN, da quelli di progettazione e “start up” a quelli più operativi di gestione dei rifiuti, a quelli di controllo e sorveglianza.

Inoltre, la formazione sarà continuativa e potrà prevedere periodi di permanenza in equivalenti strutture estere al fine di favorire un adeguato scambio di ‘know how’ con le più recenti e validate pratiche internazionali.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



7 CRITERI DI SICUREZZA DEL DEPOSITO PER LO STOCCAGGIO TEMPORANEO DEI RIFIUTI AD ALTA ATTIVITÀ

7.1 Generalità

I “rifiuti radioattivi ad alta attività” sono disposti nelle navate degli edifici del CSA per lo stoccaggio temporaneo, in base ad uno specifico piano di caricamento e sistemazione. Le attività di esercizio sono previste per una durata di 50 anni al termine della quale, quando si renderà disponibile un deposito geologico, i rifiuti vi saranno conferiti per la loro sistemazione definitiva.

I criteri di sicurezza che devono essere applicati per il CSA sono pertanto finalizzati a garantire il contenimento ed il confinamento della radioattività in tutti gli scenari normali ed incidentali prevedibili su una scala temporale di qualche decennio.

7.2 Criteri di sicurezza

Il CSA è progettato in modo da disporre di aree dedicate alle diverse attività che si dovranno svolgere all'interno del Complesso. In particolare, sono definite aree specifiche per la ricezione, lo stoccaggio e la manutenzione dei manufatti. Tutte le attività previste sono svolte in modo da non attribuire dosi indebite agli operatori e alle persone del pubblico.

I manufatti¹⁸ che saranno gestiti al CSA saranno solo ed esclusivamente manufatti di rifiuti solidi o rifiuti solidificati (ottenuti dal condizionamento di rifiuti liquidi).

L'approccio seguito nella progettazione delle Sistemi, Strutture e Componenti (SSC) del CSA è in linea con quanto raccomandato dagli standard internazionalmente utilizzati in campo nucleare per impianti con i più elevati livelli di sicurezza.

¹⁸ Per i dettagli dell'inventario si rimanda al documento DN SM 00007 Rev 2 – Inventario dei rifiuti radioattivi destinati al Deposito Nazionale

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Di seguito sono riportati i principali criteri di sicurezza indicati dagli standard internazionali [R15] applicati nello sviluppo del Progetto Preliminare del “Deposito di Stoccaggio” da realizzare sul sito del Deposito Nazionale.

7.2.1 Schermaggio

Il CSA sarà progettato in modo da garantire un’adeguata protezione dei lavoratori e delle persone del pubblico dalle radiazioni emesse dai manufatti stoccati. Il dimensionamento delle pareti e della copertura dei depositi sarà tale da garantire il rispetto degli obiettivi di radioprotezione, forniti dall’Autorità di Sicurezza, per quanto riguarda l’irraggiamento diretto e indiretto. Gli schermaggi delle aree saranno progettati sulla base delle diverse caratteristiche radiologiche dei manufatti che le stesse ospiteranno (ad esempio prevedendo setti schermanti aggiuntivi in zone specifiche).

7.2.2 Contenimento

Il CSA integrerà la capacità di contenimento del manufatto utilizzato per i rifiuti.

In particolare, gli edifici del CSA saranno realizzati in modo da:

- facilitare l’asportazione di potenziale contaminazione, utilizzando materiali facilmente decontaminabili (verniciatura decontaminabile delle superfici interne del deposito);
- controllare gli accessi alle aree di deposito e i flussi di materiale/personale tra diverse aree;
- mantenere le aree caratterizzate da rischio di contaminazione in depressione rispetto ad aree con rischio minore
- estrazione d’aria con filtrazione assoluta dalle zone potenzialmente contaminabili.

7.2.3 Manovrabilità dei manufatti

I manufatti saranno movimentati tramite attrezzature e componenti che permettono di:

- evitare danni ai manufatti, adottando sistemi di movimentazione *Single Failure*

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Proof (cioè sistemi nei quali, a fronte di ogni singolo guasto, il carico viene ritenuto e la manovra in corso viene portata al termine in sicurezza,);

- movimentare in sicurezza eventuali manufatti danneggiati;
- movimentare in modalità remotizzata i manufatti che comportano ratei di dose elevati.

7.2.4 Recuperabilità dei rifiuti

Le strutture del CSA adempiranno anche allo scopo di rendere agevole il recupero dei manufatti ai fini dei controlli, di eventuali operazioni di manutenzione e di allontanamento quando sarà disponibile il deposito geologico per la loro sistemazione definitiva.

A tale scopo gli edifici saranno caratterizzati da configurazioni di stoccaggio ed aree di manovra tali da facilitare lo spostamento dei manufatti.

7.2.5 Ventilazione

Il sistema di ventilazione all'interno degli edifici del CSA sarà dimensionato per le specifiche caratteristiche dei locali, dei manufatti stoccati e delle attività previste.

Il sistema garantirà le seguenti funzioni di sicurezza:

- assicurare un adeguato ricambio d'aria tale da garantire, in presenza di personale, l'areazione delle aree di stoccaggio e di servizio;
- confinare la contaminazione che potrebbe essere prodotta nelle aree operative e che si potrebbe diffondere in altri locali;
- controllare i rilasci all'esterno, sia in condizioni normali che di incidente. Come indicato nel §7.2.2 l'impianto di ventilazione sarà dotato di specifici sistemi di filtrazione che eviteranno rilasci verso l'esterno di eventuali contaminazioni e sarà favorito, mantenendo un'adeguata depressione tra i locali, il flusso di aria verso zone a più elevato rischio e non viceversa.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



7.2.6 Controllo della condizioni ambientali

Adeguati sistemi di trattamento dell'aria saranno progettati al fine di controllare la temperatura e l'umidità entro un intervallo di valori prestabilito a seconda dei casi per mantenere un microclima accettabile per l'attività lavorativa e per evitare la permanenza di condizioni termo-igrometriche favorevoli all'insorgere di fenomeni corrosivi.

Fa eccezione la 'navata cask' per la quale, date le caratteristiche costruttive dei cask stessi, non è richiesto tale tipo di controllo ed è pertanto prevista una ventilazione passiva in convezione naturale, con possibilità di intercettazione del flusso in ingresso/uscita.

7.2.7 Mantenimento delle condizioni di sottocriticità

Come detto, gli elementi di combustibile irraggiato non riprocessabile saranno disposti in cask idonei stoccati in un'apposita navata. La disposizione degli elementi all'interno dei cask e di quest'ultimi all'interno delle aree di stoccaggio saranno tali da evitare qualsiasi rischio di criticità, durante lo stoccaggio, la manutenzione ed il recupero dei cask.

7.2.8 Monitoraggio

Le aree di stoccaggio dei manufatti, nonché le aree di servizio e di transito saranno munite di specifici sistemi di monitoraggio, atti a controllare le condizioni radiologiche negli ambienti. Le misure saranno associate a livelli di allarme e di intervento.

7.2.9 Ispezione delle strutture e dei rifiuti

Gli edifici saranno progettati in modo da garantire una facile ispezionabilità delle varie strutture/componenti presenti, nonché dei manufatti stoccati, al fine di controllare la loro integrità. In particolare, l'ispezionabilità dei manufatti sarà eseguita tramite idonee attrezzature che permettono il controllo visivo, sia diretto che remotizzato ove richiesto.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



7.2.10 Riserva e modularità di stoccaggio

Gli edifici del CSA destinati ad ospitare tipologie diverse di manufatti, saranno caratterizzati da opportune aree di riserva al fine di far fronte alle eventuali attività di movimentazione/recupero dei manufatti; saranno inoltre progettati con un approccio modulare al fine di ottenere un opportuno grado di flessibilità e far fronte ad eventuali incertezze sulle stime d’inventario ad oggi definite.

7.2.11 Decommissioning delle strutture

Gli edifici del CSA saranno progettati tenendo in considerazione gli aspetti operativi e radioprotezionistici legati alle future attività di decommissioning degli stessi, dopo che i manufatti stoccati saranno inviati al deposito geologico per la loro sistemazione definitiva. Le attività di decommissioning saranno preventivamente pianificate e in caso di necessità revisionate durante il periodo di esercizio del complesso.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



8 L'ANALISI DI SICUREZZA (SAFETY ASSESSMENT)

L'implementazione di determinati criteri di sicurezza per un deposito di rifiuti radioattivi riflette il livello di affidabilità che il deposito può fornire in termini di salvaguardia della salute e dell'ambiente nel tempo.

Il livello di affidabilità deve essere verificato al fine di confermare che i criteri adottati siano effettivamente adeguati e che non debbano essere ulteriormente integrati.

Lo strumento che permette di effettuare tale verifica e di confermare l'efficienza del sistema deposito è "**l'analisi di sicurezza**" (Safety Assessment – SA).

Il SA, parte integrante del Safety Case¹⁹, comporta una serie di valutazioni, calcoli e verifiche atte a dimostrare che le componenti del sistema, così come progettate ed implementate, garantiscano, in tutte le fasi di vita del deposito ed in tutti gli scenari credibili (naturali o antropici, accidentali o incidentali), l'assenza di impatti per la salute e l'ambiente, in conseguenza delle varie attività che vengono svolte nell'ambito del deposito.

Nel caso del DN, l'analisi di sicurezza deve essere eseguita sia per la struttura di smaltimento che per la struttura di stoccaggio.

Data la diversa funzione ed impegno temporale delle due strutture, le analisi di sicurezza per le stesse saranno relative a scale temporali diverse e saranno svolte con modalità diverse.

In particolare, per la struttura di "Deposito di Smaltimento", oltre all'analisi di sicurezza relativa al breve periodo, ossia quello di esercizio, deve essere effettuata anche l'analisi di sicurezza per il lungo periodo (PCSA), ossia quello relativo alla fase di rilascio incondizionato del sito dopo il periodo di Controllo Istituzionale. Lo scopo è quello di valutare i potenziali impatti sulla salute e l'ambiente in conseguenza di rilasci che possono verificarsi nel corso di centinaia e migliaia di anni, come conseguenza di eventi ed evoluzioni temporali della struttura di smaltimento.

¹⁹ Il Safety Case è costituito da una raccolta di argomenti scientifici, tecnici, amministrativi e gestionali in supporto della sicurezza di un impianto di smaltimento [R16].

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Per la struttura di “Deposito di Stoccaggio” invece è necessario effettuare delle valutazioni in merito ai rischi connessi con la “temporaneità” della struttura. L’analisi di sicurezza riguarderà gli eventi accidentali ed incidentali (naturali o antropici) che possono verificarsi nel periodo in cui i rifiuti saranno gestiti sul sito in attesa di conferimento al deposito geologico (50 anni). Al contrario del deposito di superficie per lo smaltimento, nessuna evoluzione temporale di lungo periodo è attribuita al deposito di stoccaggio temporaneo in quanto si ipotizza uno stato “statico” del deposito stesso per tutto il periodo di 50 anni in cui il deposito sarà licenziato ad ospitare i rifiuti.

Le analisi di sicurezza per le due strutture di deposito del DN, così come appena descritte, saranno effettuate sulla base del progetto definitivo del DN.

8.1 Analisi di sicurezza nel breve periodo

L’analisi di breve periodo (periodo di esercizio) è prevista sia per il deposito di smaltimento che per il deposito di stoccaggio temporaneo. Essa ha lo scopo di garantire la protezione degli operatori potenzialmente esposti e della popolazione durante le operazioni di movimentazione e stoccaggio dei rifiuti.

Oltre ai rischi radiologici connessi al normale esercizio, saranno analizzati i rischi associati ad eventi incidentali che possono contribuire a conseguenze radiologicamente significative.

Gli incidenti ipotizzabili possono riguardare un qualsiasi evento non programmato di tipo endogeno (es. caduta di manufatti, incendio) o esogeno (es. evento sismico, impatto aereo) che può coinvolgere i manufatti ed indurre un potenziale danneggiamento sia dei manufatti stessi che delle strutture dei depositi.

Sarà possibile, sulla base dell’analisi dell’evoluzione degli scenari incidentali, individuare tutti i Sistemi, Strutture e Componenti (SSC) rilevanti per la struttura ai fini della sicurezza. I SSC possono essere classificati, sulla base delle potenziali conseguenze dell’evento incidentale e delle funzionalità ad essi attribuite, in:

- **Essenziali per la sicurezza**, quando sono necessari per mantenere le dosi al di sotto degli obiettivi posti per il progetto (svolgono le funzioni

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



primarie/essenziali);

- **Importanti per la sicurezza**, quando contribuiscono a limitare le dosi, che comunque non supererebbero gli obiettivi (svolgono le funzioni secondarie);
- **Non di sicurezza** quando non contribuiscono in alcun modo alla limitazione delle dosi.

I SSC *essenziali* devono essere progettati con riferimento ai requisiti previsti dalle norme e dagli standard di sicurezza nucleare.

I SSC *importanti* possono essere progettati con requisiti meno stringenti di quelli che svolgono funzioni primarie.

8.1.1 Modalità di analisi, condizioni di impianto e categorie degli eventi

L'analisi di sicurezza permette di individuare i SSC e di accertare il rispetto dei requisiti di sicurezza e degli obiettivi di radioprotezione, per la popolazione e per il personale, nonché di analizzare l'efficienza e la disponibilità delle funzioni di sicurezza in tutte le condizioni di funzionamento degli impianti e delle strutture.

Attraverso tale processo, applicato in maniera iterativa nei progressivi sviluppi del progetto, si giunge a dimostrare l'adeguatezza dei criteri di progettazione utilizzati e delle scelte impiantistiche adottate, in tutte le condizioni operative ipotizzabili.

Per procedere all'analisi e valutare gli eventi incidentali, si considerano le diverse condizioni di funzionamento dell'impianto.

Per ogni condizione di impianto, vengono fissati specifici obiettivi di radioprotezione e associato un gruppo di eventi incidentali oggetto dell'analisi che generalmente si classificano in categorie a seconda dei potenziali impatti più o meno gravosi oltre che dagli intervalli della frequenza attesa di accadimento.

Gli eventi incidentali sono poi tipicamente divisi in eventi 'interni' ed eventi 'esterni'.

Di seguito, a titolo esemplificativo e non esclusivo, si riportano alcuni esempi di eventi che normalmente sono considerati nell'analisi di sicurezza a breve termine delle strutture e componenti gli impianti.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



Eventi interni

Alcune esempi di eventi endogeni sono i seguenti:

- malfunzionamenti o rotture di parti meccaniche, elettriche o di strumentazione di controllo;
- caduta di carichi sospesi;
- perdita di energia elettrica;
- perdita di fluidi di processo;
- eventi dovuti a fattori umani;
- incendio;
- esplosioni;
- allagamenti;

Eventi esterni

Gli eventi esogeni che solitamente sono presi in considerazione nell'analisi delle strutture sono suddivisi a seconda della causa che sia di origine naturale o antropica:

- eventi di origine *naturale*: condizioni meteorologiche severe (pioggia, neve, ghiaccio, grandine, vento, fulmini, alte e basse temperature e variazioni repentine delle stesse, umidità estrema);
- tromba d'aria;
- inondazioni;
- sisma;
- effetti sulla struttura e sui sistemi della flora e della fauna presenti sul sito;
- incendi di origine naturale;
- eventi esterni di origine *antropica*: incendi, esplosioni o rilasci di sostanze di sostanze pericolose o corrosive;
- impatto di un aereo;
- inondazioni dovuti al cedimento di una diga a monte della sezione idraulica del sito o all'ostruzione di un corso d'acqua a valle della stessa;
- perdita generalizzata di alimentazione elettrica esterna, per un tempo

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



prolungato (generalmente di almeno 24 ore).

8.2 Analisi di sicurezza di lungo periodo

Fatta salva l'analisi di sicurezza per il periodo di esercizio, il deposito di smaltimento dei rifiuti radioattivi deve essere soggetto anche ad un'analisi di sicurezza per il periodo successivo al suo esercizio, alla sua chiusura e al suo rilascio.

Tale analisi ha lo scopo di effettuare delle verifiche sulle performance attese del sistema di deposito (inventario smaltito, struttura di deposito e sito) e di valutare gli effetti sulla salute e l'ambiente causati dalla potenziale esposizione a radiazioni, nei vari scenari evolutivi a cui il sistema di deposito può essere soggetto [R10].

Le valutazioni possono interessare scale temporali anche molto lunghe (fino a migliaia di anni e comunque in linea con quanto prescritto dall'Autorità di Sicurezza).

Mentre per scale temporali dell'ordine di qualche centinaia di anni (Controllo Istituzionale), la Performance del sistema di deposito è sostanzialmente legata alla funzione di isolamento dei rifiuti assicurata dalle barriere ingegneristiche (a sua volta garantita per mezzo della qualifica delle barriere²⁰), per periodi temporali più lunghi invece²¹ la *buona Performance* del sistema, ossia la sua capacità di limitare e ritardare il trasporto della radioattività residua nel deposito in ambiente, è soprattutto dipendente dalle caratteristiche della geologia locale del sito (barriera naturale).

L'analisi di sicurezza di lungo periodo sviluppata in ambito IAEA è denominata, come già indicato, "Post Closure Safety Assessment" (PCSA).

Il PCSA permette di integrare tutti gli aspetti che possono condizionare le evoluzioni temporali del sistema deposito e valutare le potenziali conseguenze della radioattività residua sulla salute e l'ambiente, nelle diverse fasi temporali del deposito e per i diversi scenari ipotizzati. Gli aspetti principali implementati nel PCSA sono:

²⁰ Vedi paragrafo 6.1.11.

²¹ Nel lungo periodo si ipotizza che le barriere ingegneristiche si degradino naturalmente e che progressivamente non siano quindi più in grado di assicurare il contenimento dei radionuclidi residui.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



- caratteristiche dei rifiuti;
- caratteristiche della struttura ingegneristica;
- caratteristiche della geologia e dell'ambiente ricettore;
- processi di degrado delle barriere ingegneristiche;
- processi di rilascio e trasporto in ambiente.

Il PCSA è basato sullo sviluppo di modelli matematici che permettono di simulare tutti i processi fisico/chimici ipotizzati, concernenti la migrazione, nel tempo, dei radionuclidi attraverso le barriere, sia ingegneristiche che naturali, le caratteristiche del deposito e di stimare la dose che il "gruppo di riferimento"²² può ricevere dai diversi scenari evolutivi del deposito.

Lo scopo ultimo è quello di verificare che l'impatto radiologico, in qualsiasi momento, rispetti (sia inferiore) il "criterio di dose" (limite di dose) prescritto dall'Autorità di Sicurezza.

Il SA, per l'analisi nel lungo periodo, si sviluppa secondo i seguenti passi successivi:

- 1) definizione del "**modello concettuale**" relativo al sistema di deposito:
 - a. individuazione degli scenari possibili (da concordare con l'Autorità di Sicurezza);
 - b. definizione dei processi di rilascio e trasporto dei radionuclidi;
 - c. definizione delle caratteristiche dell'inventario (chimico, fisiche, radiologiche);
 - d. definizione delle caratteristiche proprie delle barriere ingegneristiche (deposito) e naturali (sito);
 - e. definizione dei '**pathway**' di rilascio e trasporto (vie di rilascio e trasferimento) in ambiente dei radionuclidi nel tempo.
- 2) sviluppo di **modelli fisico/matematici** che simulino gli eventi/processi (es.

²² Il gruppo di riferimento è rappresentato dal gruppo della popolazione che è maggiormente soggetto agli impatti radiologici e convenzionali derivanti dai potenziali rilasci di contaminanti dal deposito nell'ambito del particolare scenario ipotizzato.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



degrado barriere, processi di rilascio e di trasporto, ecc.) specifici degli scenari considerati e le caratteristiche del sistema deposito;

- 3) implementazione dei modelli in opportuni **codici di calcolo** per analisi veloci e di dettaglio;
- 4) stima del **rateo di dose** per il “gruppo di riferimento” e per gli scenari ipotizzati;
- 5) comparazione con il **limite di dose** (obiettivo di dose).

Il rispetto del limite di dose permette di validare la buona *performance* del sistema di deposito.

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



9 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [R1] D.Lgs N°230 del 17 Marzo 1995 – Attuazione delle direttive EURATOM 80 / 836, 84 / 467, 84 / 466, 89 / 618, 90 / 641 e 92 / 3 in materia di radiazioni ionizzanti;
- [R2] D.Lgs N 31 del 15 Febbraio 2010 (ss.mm.ii.) – Disciplina dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché benefici economici, a norma dell'articolo 25 della legge 23 luglio 2009, n. 99;
- [R3] D.Lgs N 101 del 31 Luglio 2020 – 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.
- [R4] ENEA-DISP – Guida Tecnica N. 26 del Settembre 1987 – ‘Gestione dei rifiuti radioattivi’;
- [R5] D.M. 7 Agosto 2015 – Classificazione dei rifiuti radioattivi, ai sensi dell'articolo 5 del Decreto Legislativo 4 Marzo 2014, n. 45;
- [R6] ISPRA – Guida Tecnica N. 29 del 4 Giugno 2014 – Criteri per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a Bassa e Media Attività;
- [R7] EU – DIRETTIVA 2011/70/EURATOM DEL CONSIGLIO che istituisce un quadro comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi;
- [R8] Sogin – DN SM 00007 – Rev 02 – Stima dei rifiuti radioattivi da conferire al Deposito Nazionale;
- [R9] Sogin – DN DN 00068 – Rev 00 – Unità Smaltimento Moduli – Relazione Descrittiva Generale;

Rapporto Tecnico Criteria di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale	ELABORATO DN SM 00028 REVISIONE 00
---	---



- [R10] ICRP – ICRP 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
- [R11] IAEA – GSG-1 – Classification of Radioactive Waste – 2009;
- [R12] IAEA – SSG-23 – The Safety Case and Safety Assessment for Disposal of Radioactive Waste – 2012;
- [R13] IAEA – SSG-29 – Near Surface Facilities for Radioactive Waste – 2014;
- [R14] IAEA – SSR-5 – Disposal of Radioactive Waste – 2011;
- [R15] IAEA – WS-G-6.1 – Storage of radioactive waste – 2006;
- [R16] IAEA – IAEA Safety Glossary – Terminology used in nuclear safety and radiation protection – Version 2007.