



Politecnico
di Torino

Esperienze europee di
progettazione di
depositi
centralizzati per lo
smaltimento dei rifiuti
radioattivi

Roberto Zanino,
DENERG

IL TEMA DECOMMISSIONING @POLITO

- Il Politecnico di Torino (PoliTo) offre da molti anni un corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare che include competenze in campo sia fusionistico sia fissionistico, su cui si basano anche attività di didattica e di ricerca legate al decommissioning
- Vista la natura multidisciplinare del problema, PoliTo ha recentemente costituito un primo gruppo di lavoro (GdL) sul tema del DN, coinvolgendo competenze interne su temi non solo nucleari, ma anche ambientali, chimici, civili, economico-gestionali e meccanici
- PoliTo fa parte dalla sua fondazione del Consorzio per la Ricerca Tecnologica Nucleare nelle Università Italiane (CIRTEN), dove sono presenti ulteriori competenze nel campo del decommissioning

CLASSIFICAZIONE RIFIUTI RADIOATTIVI

I rifiuti radioattivi vengono suddivisi in queste categorie sulla base di parametri fisici:

- Attività specifica
- Tempo di dimezzamento
- Tipo di radiazione emessa

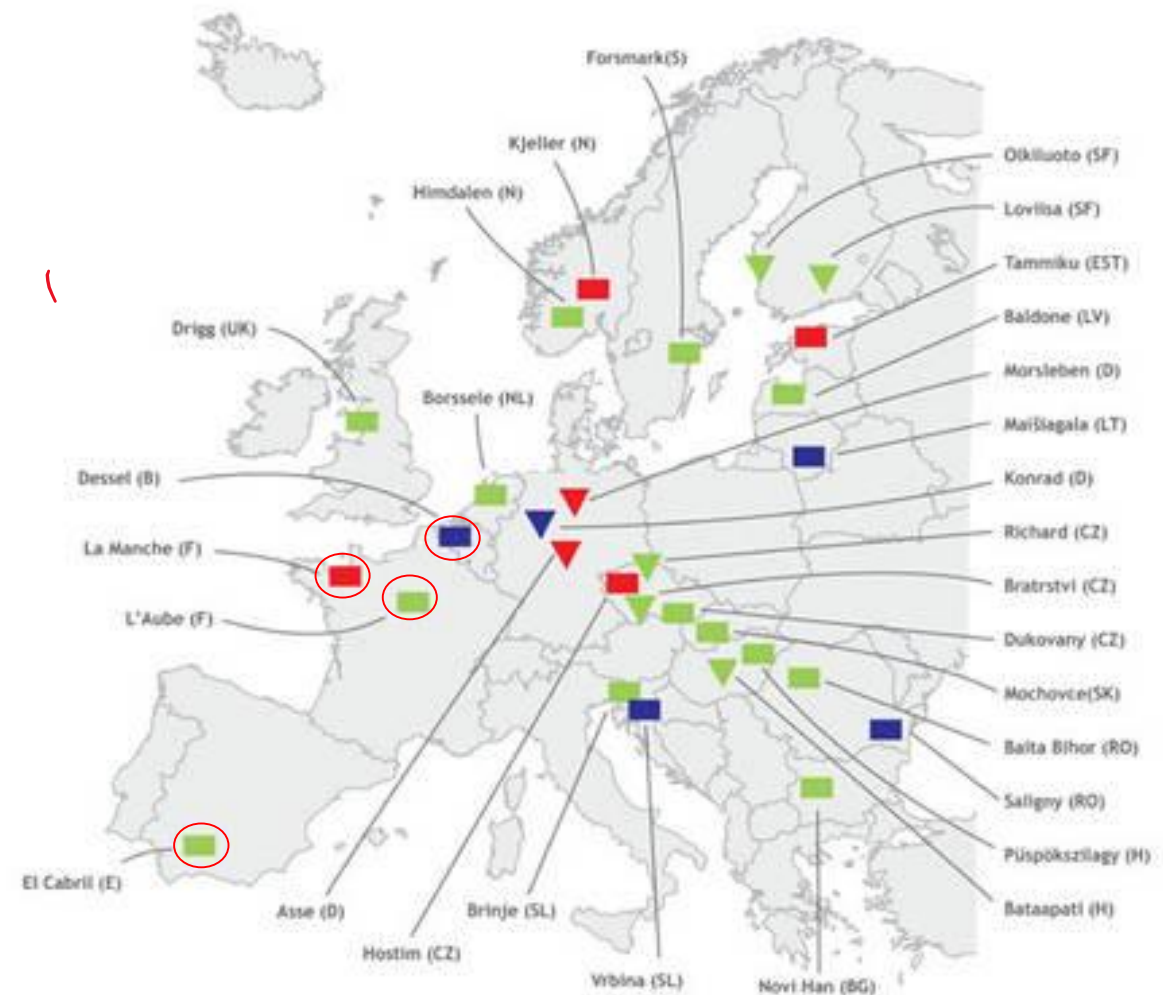
Categoria	Destinazione finale
Esenti	Rispetto delle disposizioni del D.Lgs. n. 152/2006
A vita media molto breve	Stoccaggio temporaneo (art.33 D.Lgs n. 230/1995) e smaltimento nel rispetto delle disposizioni del D.Lgs. n. 152/2006
Attività molto bassa VLLW	Impianti di smaltimento superficiali, o a piccola profondità, con barriere ingegneristiche (Deposito Nazionale D.Lgs n. 31/2010)
Bassa attività LLW	
Media attività ILW	Impianto di immagazzinamento temporaneo del Deposito Nazionale (D.Lgs n.31/2010) in attesa di smaltimento in formazione geologica
Alta attività HLW	

Dal D.M. 7 agosto 2015

DEPOSITI DI VLLW E LLW IN EUROPA

Quasi tutti i paesi europei hanno realizzato o stanno per realizzare un deposito nazionale dei rifiuti radioattivi, in ottemperanza alla Direttiva Euratom 2011/70.

- ▣ Deposito di superficie
- ▼ Deposito sotterraneo
- In fase di realizzazione
- In esercizio
- Fuori esercizio/chiuso



(https://www.ansa.it/web/notizie/canali/energiaeambiente/nucleare/2015/06/13/deposito-nucleare-conto-alla-rovescia-per-mappa-siti_03e063b5-c539-42a3-ab27-ff8a80a6f0ef.html?idPhoto=1)

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – La Manche



Francia

Deposito di
La Manche (Normandia).

Capacità: 500.000 m³

Progetto: dal 1967

Apertura: 1969

Chiusura: 1994

Sistema multi-barriera

I rifiuti sono stati smaltiti principalmente in due modi:

→ I pacchetti di rifiuti («waste packages») già caratterizzati da un adeguato livello di sicurezza sono stati impilati su piattaforme di cemento in strutture piramidali chiamate «**tumuli**»

→ I pacchetti di rifiuti che invece necessitavano di una protezione ulteriore sono stati smaltiti in strutture di cemento apposite, chiamate «**monoliti**». I monoliti sono stati riempiti alternando strati di rifiuti e di cemento per avvolgere e stabilizzare il materiale.

I due tipi di strutture così create sono state infine coperte da terra e da una copertura multistrato.

È in esercizio un sistema di monitoraggio radio-ecologico continuo

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – La Manche



Esempio di smaltimento tramite «**tumuli**» piramidali



Esempio di smaltimento tramite «**monoliti**»

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – L'Aube (v. presentazione P. Torres)



Francia

Deposito de L'Aube (Champagne-Ardenne)

Capacità: 1.000.000 m³

Progetto: dal 1984

Apertura: 1992

In esercizio

Sistema multi-barriera

Il sistema è basato su 3 barriere:

- Il manufatto che contiene la **matrice** del rifiuto condizionato
- La **cella** di cemento armato all'interno della quale vengono inseriti i manufatti
- La **copertura** multistrato

Il deposito presenta un sistema di raccolta dell'acqua piovana ed è in esercizio un sistema di monitoraggio radio-ecologico continuo

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – L'Aube



Riempimento di una delle celle con i rifiuti stabilizzati contenuti nei manufatti di cemento



Celle di cemento armato e coperture mobili per il progressivo riempimento

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – El Cabril



Spagna

Deposito de El Cabril (Provincia di Córdoba) Apertura: 1992

Capacità: 42.000 m³

Progetto: dal 1988

In esercizio

Sistema multi-barriera (4)

I rifiuti sono smaltiti tramite un sistema multi-barriera:

- Il **manufatto** del rifiuto stabilizzato (ad esempio, cementato)
- Il **modulo** di cemento contenente i manufatti e riempito di malta (NOVITÀ!)
- La **cella** di cemento armato riempita progressivamente con i moduli
- La **copertura** multistrato finale

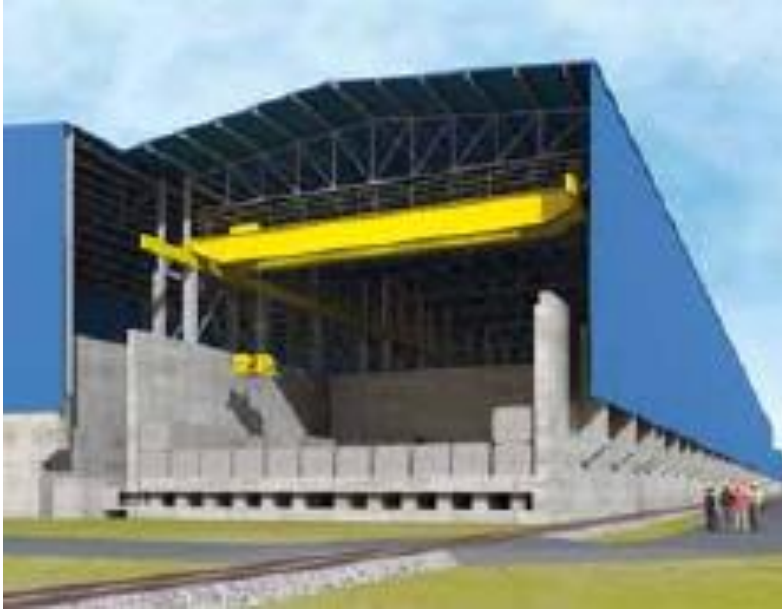
Il deposito presenta un sistema di raccolta dell'acqua piovana ed è in esercizio un sistema di monitoraggio radio-ecologico continuo

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – El Cabril



Esempio di smaltimento dei rifiuti stabilizzati
(manufatti → moduli → celle di cemento armato)

Depositi per lo smaltimento definitivo in Europa – Dessel



Belgio

Deposito di Dessel

Capacità: 70.000 m³ – **In corso di realizzazione**

Il deposito di Dessel sarà un deposito di superficie per rifiuti a bassa e media attività che è attualmente in attesa di autorizzazione alla costruzione, sebbene alcune strutture ausiliarie siano già in fase di realizzazione.

Si baserà su tecnologie analoghe a quelle già presentate, specialmente per quanto riguarda il **sistema di quattro barriere** che verrà impiegato, basato su rifiuti stabilizzati, moduli di cemento, celle di cemento armato e copertura multistrato

Depositi per lo stoccaggio temporaneo di HLW in Europa – Zwilag (CH)



Lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti ad alta attività avviene all'interno di contenitori ad alta integrità (cask)

I contenitori sono stoccati in un edificio dedicato

L'edificio presenta aperture laterali e sul tetto per consentire un passaggio d'aria sufficiente garantire lo smaltimento del calore residuo per convezione naturale

Progetto: primi anni '90

Apertura: 2001

In esercizio

I cask

Rifiuti ad alta
attività vetrificati



CASTOR® HAW28M (HLW)

I cask sono grossi contenitori ad alta integrità realizzati appositamente per essere in grado di stoccare i rifiuti ad alta attività.

Spesse pareti in acciaio e/o cemento garantiscono uno schermo sufficiente dalle radiazioni

Dato che i rifiuti generano calore, i contenitori sono in grado di **dissipare l'energia termica** tramite convezione naturale con l'aria circostante.

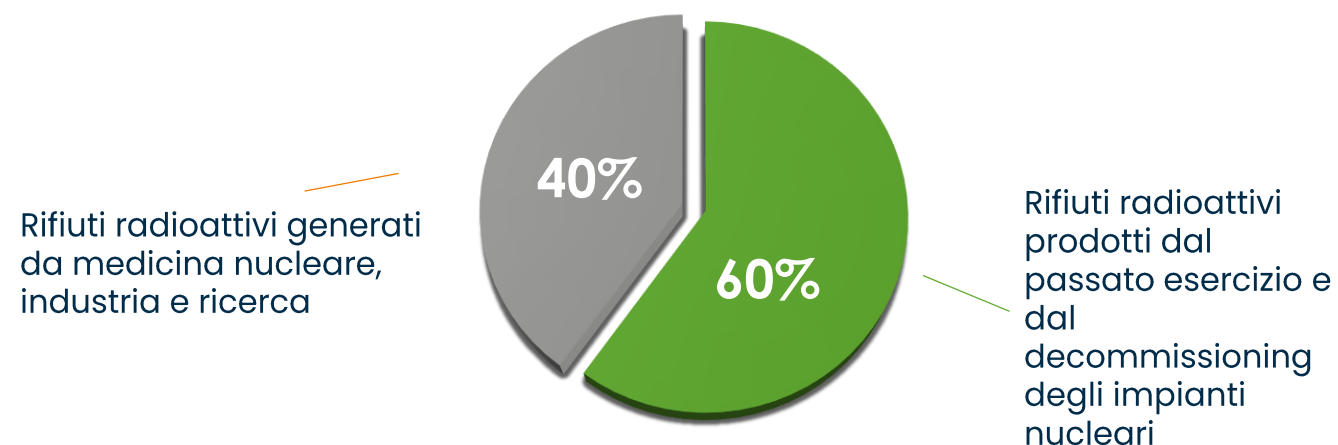
Dr. Hannes Wimmer, Dr. Jürgen Skrzypppek and Michael Köbl – «CASTOR® and CONSTOR® A well established system for the dry storage of spent fuel and high level waste» - VGB Powertech Vol 95 - 2015

QUANTI E QUALI RIFIUTI RADIOATTIVI AL DN? (Rif. D.Lgs.31/2010)

Circa 95.000 m3 di rifiuti radioattivi italiani (già condizionati), di cui:

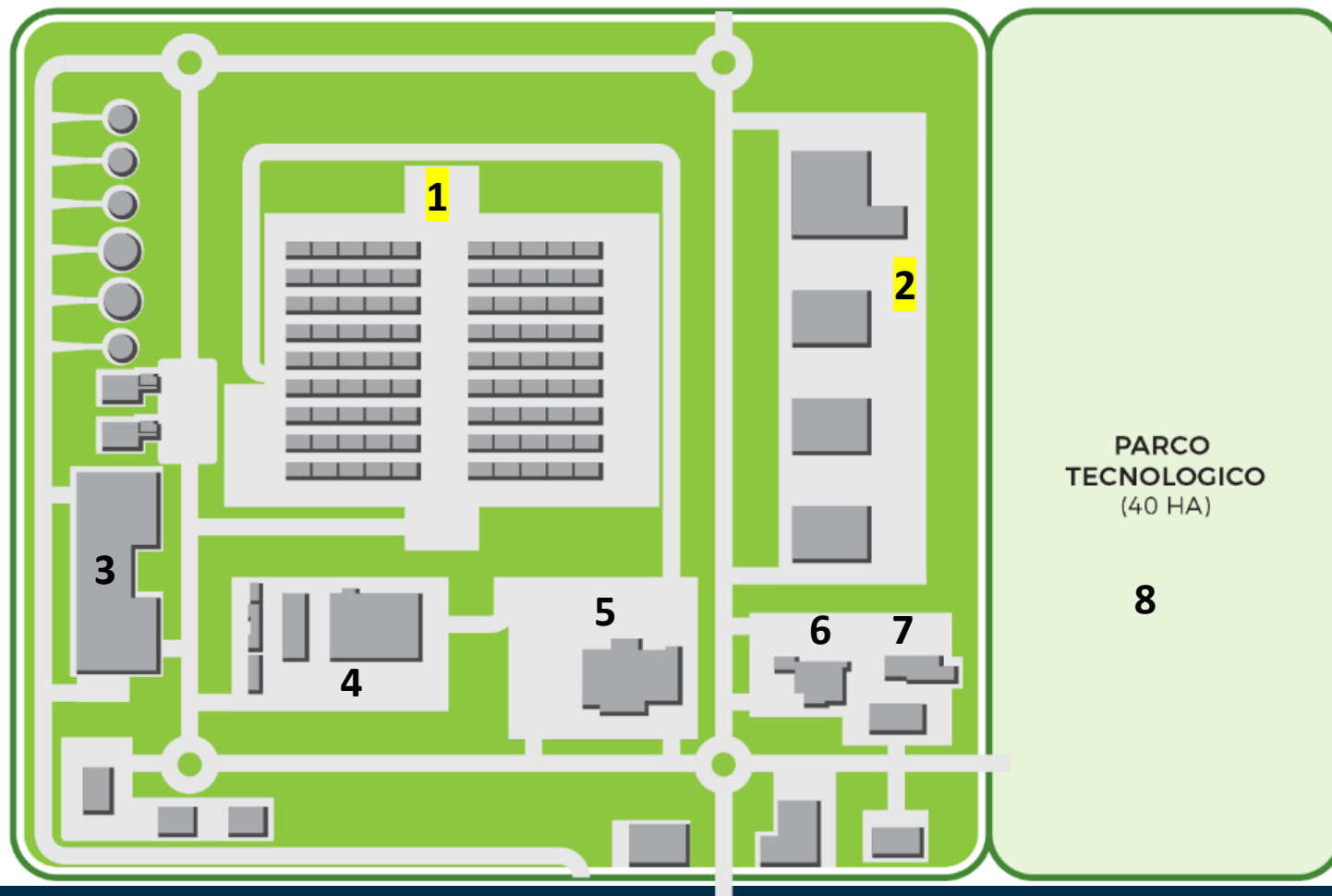
- 78.000 m3 → SMALTIMENTO
- 17.000 m3 → STOCCAGGIO

prodotti in passato e previsti **nei prossimi 50 anni** dalle attività di smantellamento degli impianti nucleari e da industrie, ospedali e centri di ricerca



PROGETTO PRELIMINARE DEL DN PLANIMETRIA FUNZIONALE

DEPOSITO NAZIONALE
(110 HA)



1. Settore di smaltimento molto bassa e bassa attività
2. Edifici di stoccaggio media e alta attività (CASK e contenitori ad alta integrità)
3. Produzione Celle
4. Produzione Moduli
5. Confezionamento Moduli
6. Trattamento dei rifiuti solidi
7. Controllo Qualità, Analisi radiochimiche
8. Parco Tecnologico

SMALTIMENTO VLLW E LLW

SISTEMA MULTIBARRIERA

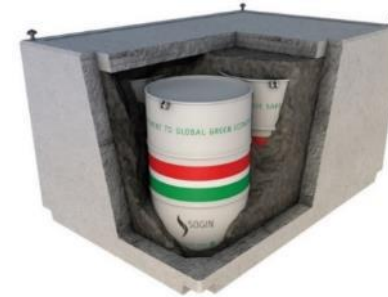
PRIMA BARRIERA: MANUFATTO

I rifiuti radioattivi, condizionati con matrice cementizia in contenitori metallici (**manufatti**), vengono trasferiti al Deposito Nazionale



SECONDA BARRIERA: MODULO

I manufatti vengono inseriti e cementati in moduli di calcestruzzo speciale (3m x 2m x 1,7m), progettati per resistere 350 anni



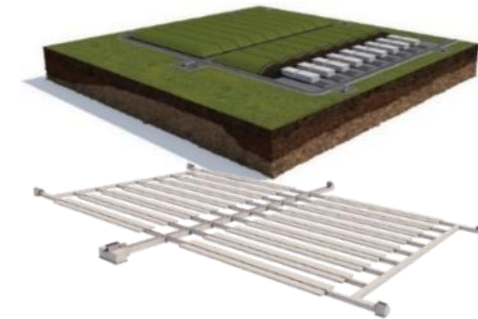
TERZA BARRIERA: CELLA

In ogni cella di cemento armato (27 m x 15,5 m x 10 m), progettata per resistere almeno 350 anni, vengono inseriti 240 moduli



QUARTA BARRIERA: COPERTURA MULTISTRATO

Una volta riempite, le celle (circa 90) vengono sigillate e ricoperte con più strati di materiale per prevenire le infiltrazioni d'acqua



Rete di captazione

STOCCAGGIO HLW

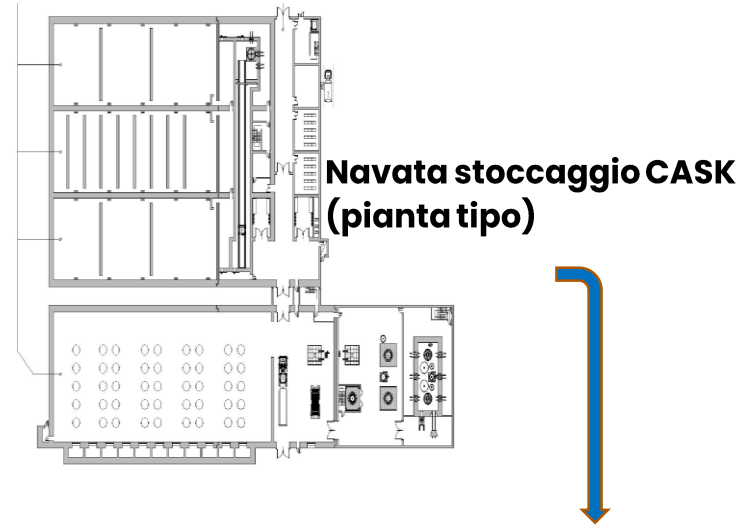
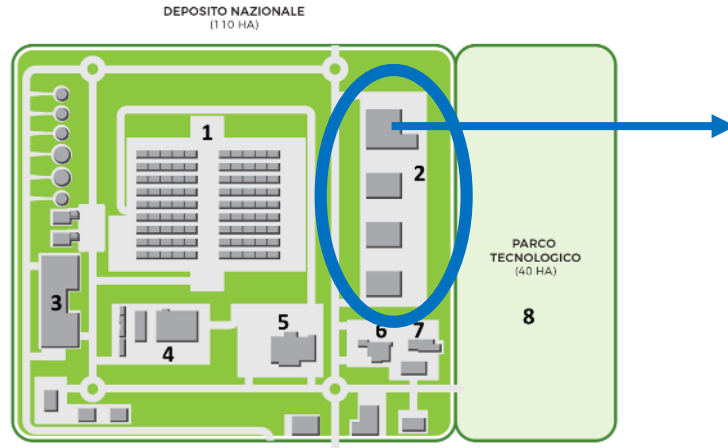
La normativa europea prevede che ciascuno Stato gestisca i propri rifiuti, pertanto il materiale mandato all'estero dall'Italia (La Hague (FR), Sellafield (UK)) dovrà ritornare in patria

In attesa della disponibilità di un deposito geologico europeo, gli HLW saranno stoccati in sicurezza all'interno del **Complesso Stoccaggio Alta attività (CSA)**, collocato sullo stesso sito del DN.

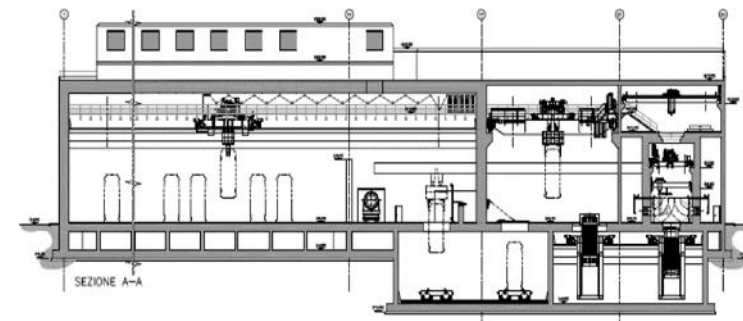
Saranno utilizzati appositi contenitori altamente schermanti, tipo CASK, qualificati per il trasporto e lo stoccaggio, capaci di resistere a sollecitazioni estreme sia meccaniche che termiche (urto e incendio).

Il CSA risponderà ai requisiti di sicurezza richiesti dall'autorità di controllo e sarà in linea con analoghe strutture già presenti all'estero (ad es. Zwiilag).

CSA



Il complesso sarà formato da quattro edifici suddivisi in navate di stoccaggio per i contenitori



Navata stoccaggio CASK (sezione tipo)



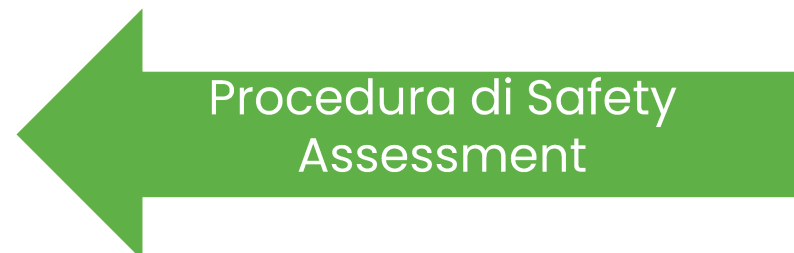
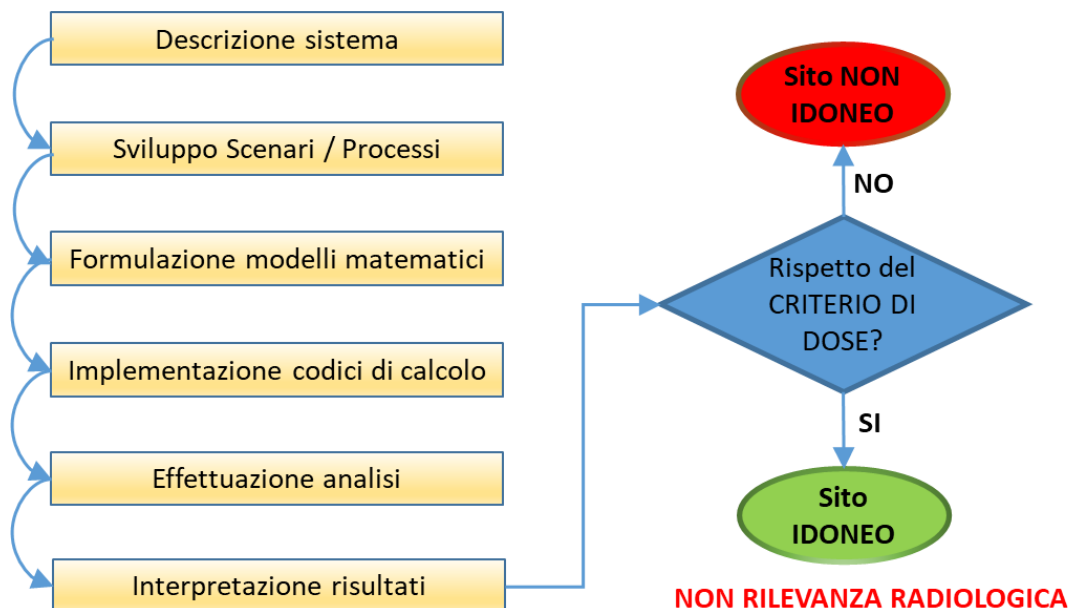
QUALIFICA DEI MATERIALI

- Il progetto preliminare si basa su proprietà dei materiali che saranno verificate in opportune **attività di qualifica**
- I materiali utilizzati per la costruzione saranno sottoposti a rigide prove per **dimostrare l'affidabilità e la resistenza alla degradazione** nel corso del tempo
- Le attività di **qualifica** saranno svolte attraverso specifici programmi di modellazione matematica, prove in laboratorio su campioni e provini, prove sui prototipi e simulazioni di costruzione anche in scala reale
- La **qualifica** interesserà numerosi aspetti del DN: dal **manufatto** stesso, alla malta cementizia utilizzata per il riempimento dei **moduli**, al cemento utilizzato per la realizzazione della **cella**, alla **copertura** multistrato

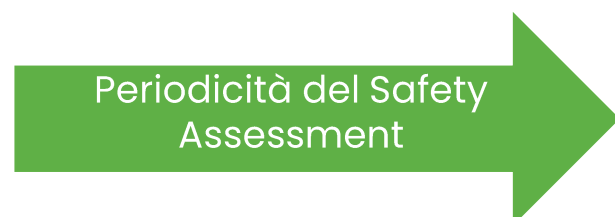
«Criteri di Sicurezza posti alla base del Progetto Preliminare del Deposito Nazionale» – Sogin

FUTURO SAFETY ASSESSMENT DEL DN

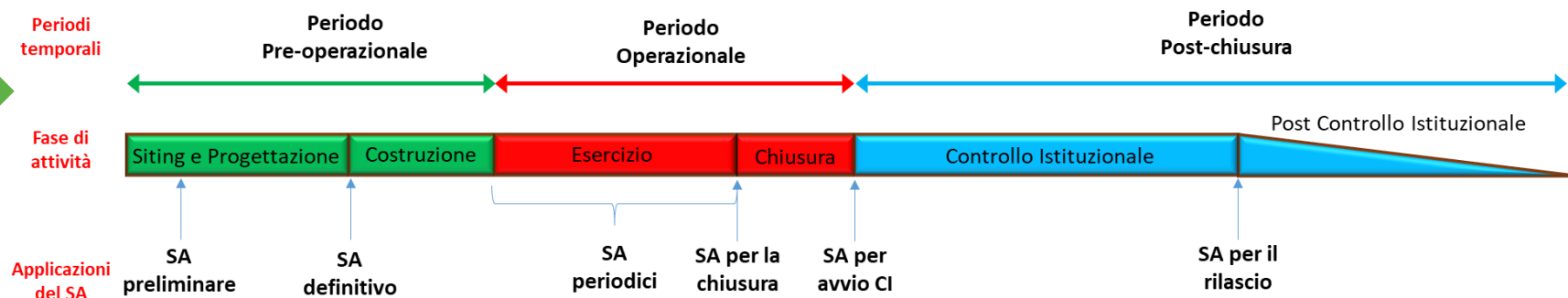
Richiede PRIMA l'individuazione del sito



Le analisi di idoneità saranno effettuate sul **progetto definitivo**, e il DN sarà validato **SOLO** se il Safety Assessment ne dimostrerà la **NON RILEVANZA RADIOLOGICA** (Rispetto dell'obiettivo di dose indicato da ISIN)



Il rispetto della sicurezza è **verificato** con periodicità



PARCO TECNOLOGICO



Assieme al DN sarà realizzato un Parco Tecnologico, che comprenderà un centro di ricerca applicata e di formazione, sui temi dello smantellamento delle installazioni nucleari, della gestione dei rifiuti radioattivi, della radioprotezione e della salvaguardia ambientale.

Tali studi avranno il duplice obiettivo di stimolare l'innovazione scientifica e tecnologica dell'industria nazionale e costituire un polo di attrazione per occupazione qualificata.

Le attività di ricerca da svolgere al suo interno saranno concordate con l'obiettivo di **valorizzare le caratteristiche e le vocazioni del territorio, favorendone lo sviluppo economico e industriale**

BIBLIOGRAFIA

- 1) Sito del Deposito Nazionale e Parco Tecnologico: <https://www.depositonazionale.it/>
- 2) Tavolo di Trasparenza sul Deposito Nazionale coordinato dalla Regione Piemonte - 20 gennaio 2021
https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-02/Presentazione_TDT_DNPT_20012021_DEF.pdf
- 3) Il Deposito di La Manche:
https://www.youtube.com/watch?v=dqufIEz2YXE&t=213s&ab_channel=Andrainternational
- 4) Il Deposito dell'Aube:
https://www.youtube.com/watch?v=UFuPU7sxV9s&t=3s&ab_channel=Andrainternational
- 5) Il Deposito di El Cabril: <https://www.enresa.es/eng/index/activities-and-projects/el-cabril>
- 6) Il Deposito di Dessel: <https://www.ondraf.be/le-stockage-en-surface-en-bref>
- 7) Riprocessamento del combustibile e gestione HLW:
<https://www.orano.group/country/china/en/our-stories/orano-la-hague>
- 8) Sito di ANDRA, l'ente francese che gestisce i rifiuti radioattivi:
<https://international.andra.fr/>