



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Fondazione CNI - Consiglio Nazionale Ingegneri

# Decommissioning e gestione dei rifiuti radioattivi

**Nadia Cherubini**

ENEA C.R. Casaccia

Divisione Tecnologie, Impianti e Materiali per la Fissione Nucleare

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare

*Roma, 8 luglio 2022*

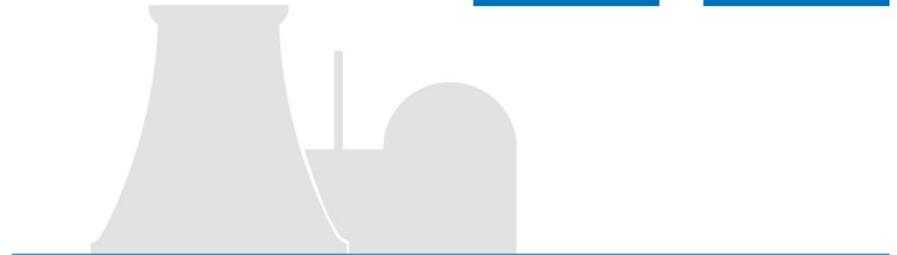
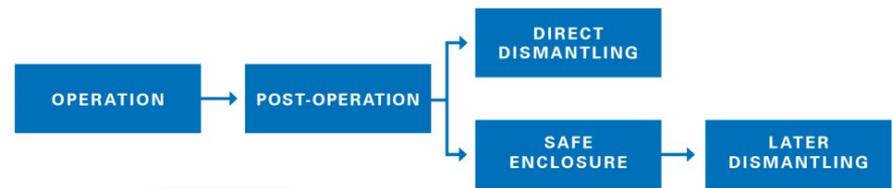
*Ingegneria e Sostenibilità: fissione e fusione nucleare, decommissioning e gestione dei rifiuti radioattivi. Analisi e prospettive.*

# Il Decommissioning

Il **decommissioning** di un impianto nucleare rappresenta l'ultima fase del suo ciclo di vita dopo la costruzione e l'esercizio.



## DECOMMISSIONING PROCESS OF NUCLEAR FACILITIES



# Il Decommissioning

Lo svolgimento del decommissioning passa attraverso le seguenti FASI:

- 1) allontanamento e sistemazione del combustibile nucleare esaurito (invio al ritrattamento/riprocessamento o stoccaggio temporaneo in sito);
- 2) trattamento, condizionamento e stoccaggio temporaneo in sito dei rifiuti radioattivi accumulati in fase di esercizio;
- 3) caratterizzazione, decontaminazione e smantellamento delle apparecchiature, degli impianti e degli edifici;
- 4) trattamento, condizionamento e avvio al deposito (se radioattivi) o allo smaltimento per via ordinaria (se non radioattivi) dei materiali derivanti dalle operazioni di smantellamento;
- 5) caratterizzazione, riqualificazione e rilascio del sito per altri usi con l'eliminazione di ogni vincolo derivante dalla presenza di radioattività.



**Mantenimento in sicurezza degli impianti**

# Il Decommissioning

Quando tutte le strutture dell'impianto sono demolite e tutti i rifiuti radioattivi sono condizionati e stoccati nei depositi temporanei, pronti per essere trasferiti al Deposito Nazionale, si raggiunge una fase intermedia definita "**brown field**".

Dopo il graduale conferimento dei rifiuti radioattivi al Deposito Nazionale, si procede anche con lo smantellamento dei depositi temporanei.

A questo punto l'area, una volta verificata l'assenza dei vincoli di natura radiologica, raggiunge lo stato di "**green field**" che consente di restituire il sito alla collettività per il suo riutilizzo.

# Il Decommissioning

Il decommissioning rappresenta una sfida ingegneristica perché gli impianti nucleari italiani, tutti diversi fra loro, erano stati progettati senza tener conto della necessità di smantellarli alla fine del loro ciclo di vita.

Ciò comporta una complessa pianificazione, in quanto i programmi di decommissioning devono avanzare parallelamente, e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche specifiche, molto spesso prototipali, che non sono replicabili su scala industriale.

# Il Decommissioning degli impianti italiani

SO.G.I.N., società di Stato responsabile del decommissioning degli impianti nucleari italiani e della gestione dei rifiuti radioattivi.

La SO.G.I.N provvede allo smantellamento di:

- 4 ex centrali nucleari (Trino, Caorso, Latina e Garigliano) di proprietà dell'ENEL.
- 4 impianti di ricerca sul ciclo del combustibile (Eurex, Itrec, OPEC e IPU) di proprietà dell'ENEA.
- 1 impianto di fabbricazione del combustibile (Bosco Marengo) di proprietà dell'ENI.
- 1 centro di ricerca europeo (ISPRA di Varese).

# Il Decommissioning degli impianti italiani



# Centrale Nucleare di Caorso

Centrale elettronucleare di potenza da 860 MWe appartenente alla filiera ad acqua bollente di seconda generazione, **BWR**. L'esercizio è avvenuto tra dicembre 1981 e ottobre 1986.

Le principali attività di smantellamento hanno riguardato, finora, la rimozione delle quattro turbine, del turboalternatore e di tutti i sistemi e componenti del ciclo del vapore dell'edificio turbina.

Nell'area liberata, è stata installata ed è entrata in esercizio una Stazione Gestione Materiali.

Sono stati demoliti il camino metallico dell'impianto Off-Gas e le torri di raffreddamento ausiliarie RHR (Residual Heat Removal). Più di recente sono stati decontaminati i sistemi e i componenti a più alta attività all'interno dell'edificio reattore e sono stati effettuati interventi per adeguare l'edificio turbina ad area *buffer* funzionale alla ristrutturazione dei due depositi temporanei di sito.



# Centrale Nucleare di Trino

Centrale elettronucleare di potenza da 260 MWe, appartenente alla filiera ad acqua pressurizzata, **PWR**, che ha operato tra ottobre 1964 e il 1987.

Le principali attività di decommissioning hanno riguardato finora la demolizione delle torri di raffreddamento ausiliarie, la decontaminazione dei generatori di vapore, lo smantellamento degli edifici che ospitavano i generatori diesel d'emergenza, la rimozione della traversa sul fiume Po, lo smontaggio dei componenti dell'edificio turbina, gli adeguamenti impiantistici negli edifici reattore e turbina per le operazioni di smantellamento degli impianti presenti al loro interno, la realizzazione della stazione di controllo dei materiali e la rimozione dei componenti e dei sistemi non contaminati della zona controllata.

È stato rimosso l'amianto dalla parte superiore del vessel e sono state portate a termine alcune delle attività propedeutiche al suo smantellamento. Più di recente è stato adeguato il locale "Test Tank" a deposito temporaneo e al suo interno sono stati trasferiti parte dei rifiuti presenti nei due depositi di sito per consentirne l'adeguamento. Inoltre è stata avviata la rimozione dei componenti "attivati" dalla piscina dei purificatori nell'edificio ausiliari.



# Centrale Nucleare di Latina

La centrale nucleare di Latina da 210 MWe è un impianto realizzato con tecnologia inglese a gas grafite, **GCR Magnox**. In esercizio tra maggio 1963 e il 1987.

Le principali attività di smantellamento hanno riguardato finora il decommissioning del sistema di movimentazione e caricamento del combustibile, la rimozione delle condotte inferiori e superiori del circuito primario dell'edificio reattore, la bonifica quasi completa delle piscine del combustibile esaurito, la demolizione delle sale soffianti, dei diesel d'emergenza, del pontile e dell'edificio turbine.

Più di recente sono stati realizzati il nuovo deposito temporaneo dei rifiuti radioattivi e l'impianto LECO (Latina Estrazione e COndizionamento) e si è concluso lo svuotamento della "fossa KCFC" in cui erano stoccati in manufatti cementizi i filtri usati per trattare l'acqua della piscina del combustibile.

Inoltre sono stati demoliti gli schermi in calcestruzzo esterni all'edificio reattore e avviati i lavori per la realizzazione della Facility di trattamento materiali e del nuovo Impianto Trattamento Effluenti Attivi (ITEA).



# Centrale Nucleare di Garigliano

La centrale nucleare “Garigliano” di Sessa Aurunca (CE) da 160 MWe ha prodotto energia elettrica tra il 1964 e il 1978. La centrale, di modello **BWR**, appartiene alla prima generazione di impianti nucleari. Le principali attività di smantellamento hanno riguardato la rimozione dell’amianto dagli edifici turbina e reattore, la bonifica di due delle tre aree, denominate trincee, la realizzazione del nuovo deposito temporaneo per i rifiuti radioattivi (D1) e l’adeguamento dell’edificio ex diesel a deposito. Inoltre è stato completato lo smantellamento del vecchio edificio e degli impianti di trattamento dei rifiuti semiliquidi radioattivi (GECO) e di parte del vecchio impianto di trattamento degli effluenti liquidi (radwaste).

Si sono conclusi i lavori di decontaminazione e demolizione del camino di circa 95 metri, sostituito da un nuovo camino, e nell’edificio turbina è terminato lo smantellamento dello statore e del rotore dell’alternatore del sistema turbina, il più grande componente del ciclo termico.

Più di recente sono state avviate la bonifica della terza trincea, le attività propedeutiche allo smantellamento degli impianti del ciclo termico dell’edificio turbina e quello per lo smantellamento dell’edificio reattore. Inoltre sono state avviate le attività per la realizzazione del nuovo sistema di trattamento degli effluenti liquidi radioattivi.



# Altre installazioni

**Casaccia**: Le principali attività di decommissioning hanno riguardato finora la realizzazione del nuovo deposito OPEC-2, la rimozione e decontaminazione di parte del sistema interrato, denominato “Waste A e B”, che, durante l’esercizio dell’OPEC-1 raccoglieva i rifiuti radioattivi liquidi e lo smantellamento delle 56 Scatole a Guanti (SaG), l’attività più complessa per il decommissioning dell’impianto, avviata nel 2010 e tutt’ora in corso.

**ISPRA**: ISPRA-1 è un reattore di ricerca di 5 MW di potenza, ultima versione della serie Chicago-Pile sviluppata da Enrico Fermi. Si tratta del primo reattore nucleare di ricerca italiano, in esercizio tra il 1959 e il 1973. Le operazioni di decommissioning sono programmate in tre fasi: attività preliminari, smantellamento del reattore e bonifica finale del sito. Nel 2020 e nel 2021 Sogin ha avviato le attività preliminari quali il progetto che porterà allo svuotamento della piscina e la caratterizzazione radiologica dell’impianto al fine di definire in dettaglio la distribuzione della radioattività residua nei sistemi, componenti e strutture dell’impianto.

# Il Piano di Sostenibilità Ambientale

## AMBITI

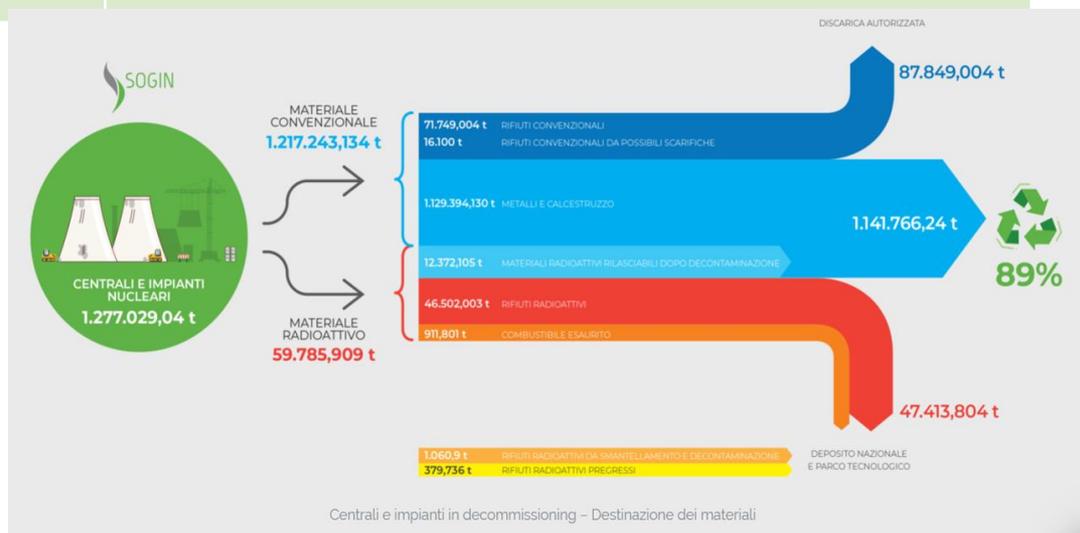
Garantire la sostenibilità dei siti in cui è in corso l'attività di decommissioning.

Il **decommissioning nucleare** non produce solo rifiuti radioattivi, ma gran parte del **materiale che ne deriva** (ferro, calcestruzzo, rame, plastica e così via) viene **recuperato e riciclato**.

Lo smantellamento delle centrali e degli impianti nucleari italiani permetterà di recuperare oltre un milione di tonnellate di materiale, **l'89% dei materiali complessivamente smantellati**.

## IMPEGNI

- Mitigare gli impatti ambientali diretti.
- Migliorare l'efficienza energetica dei siti e garantire una graduale transizione verso l'utilizzo di fonti di energia sostenibile.
- **Ridurre la quantità di rifiuti nucleari prodotti e massimizzare il recupero/riciclo dei rifiuti da decommissioning.**
- Operare in ottica di efficientamento della strategia di trasporto dei materiali e dei rifiuti.
- Alienazione delle materie nucleari nei siti in decommissioning.



# Gestione del Combustibile Nucleare Esaurito

L'attività propedeutica alle operazioni più complesse di **decommissioning** di un impianto nucleare è lo stoccaggio a secco o l'invio a riprocessamento (fase di back-end) del combustibile, una volta bruciato nel reattore e raffreddato nelle piscine.

Nel primo caso, il combustibile viene stoccato in depositi temporanei, all'interno di specifici contenitori, e successivamente smaltito presso un sito idoneo (**ciclo aperto del combustibile nucleare** o **Once-through Fuel Cycle** ).

Nel secondo caso, il combustibile viene riprocessato, ovvero vengono separate e recuperare le materie (uranio e plutonio) che possono essere riutilizzate per la produzione di nuovo combustibile. Quest'ultimo potrà essere, dunque, reimpiegato in una centrale nucleare (**ciclo chiuso del combustibile** o **Closed Fuel Cycle** ).

# Gestione del Combustibile Nucleare Esaurito

Il combustibile irraggiato derivante dall'esercizio delle centrali nucleari è pari a circa **1.864 tonnellate** (peso prima dell'irraggiamento):

- Caorso –190.4 tonnellate
- Garigliano –111 tonnellate
- Latina –1425.5 tonnellate
- Trino – 137 tonnellate

A oggi, il **99%** del combustibile irraggiato nelle centrali di Caorso, Latina, Trino e Garigliano è stato inviato per essere riprocessato nell'impianto **Eurochemic** in Belgio, nell'impianto di **La Hague** in Francia, e nell'impianto di nel **Sellafield** Regno Unito.

# Gestione del Combustibile Nucleare Esaurito

Delle **1.864 tonnellate** complessivamente prodotte dalle centrali nucleari:

- circa 913 tonnellate sono state riprocessate all'estero in base a contratti conclusi da Enel prima del subentro di Sogin, e le materie nucleari sono state già alienate.
- circa 951 tonnellate rientrano nei contratti di riprocessamento in essere con la francese ORANO (già AREVA) e la britannica [Nuclear Decommissioning Authority](#) (NDA, già BNFL).

Di queste ultime sono già state trasferite circa **938 tonnellate**:

- presso l'impianto inglese di Sellafield tra il 1969 e il 2005 è stato inviato parte del combustibile irraggiato (circa 716 tonnellate) presente nelle centrali di Garigliano, Trino e Latina;
- presso l'impianto francese di La Hague, tra il 2007 e il 2010, è stato inviato tutto il combustibile irraggiato presente nella piscina della centrale di Caorso (circa 190 tonnellate); tra il 2011 e il 2013, parte del combustibile irraggiato della piscina del Deposito Avogadro (circa 17 tonnellate) e nel 2015 tutto il combustibile irraggiato presente nella piscina della centrale di Trino (circa 15 tonnellate).

# Rifiuti da Riprocessamento

Il **riprocessamento** è un processo molto complesso che consente di trattare il combustibile irraggiato al fine del recupero delle materie fissili (U e Pu) ancora al suo interno.

Dalle attività di riprocessamento, oltre alle materie fissili, vengono prodotte altre tipologie di rifiuti: **prodotti di fissione; materiali metallici; rifiuti secondari del processo.**

Ognuna delle tre tipologie su indicate è sottoposta ad un adeguato processo di condizionamento al fine di renderla idonea al trasporto e allo stoccaggio a lungo termine.

# Rifiuti da Riprocessamento

Dal riprocessamento del combustibile delle centrali italiane, dovranno tornare in Italia due diverse tipologie di rifiuti condizionati:

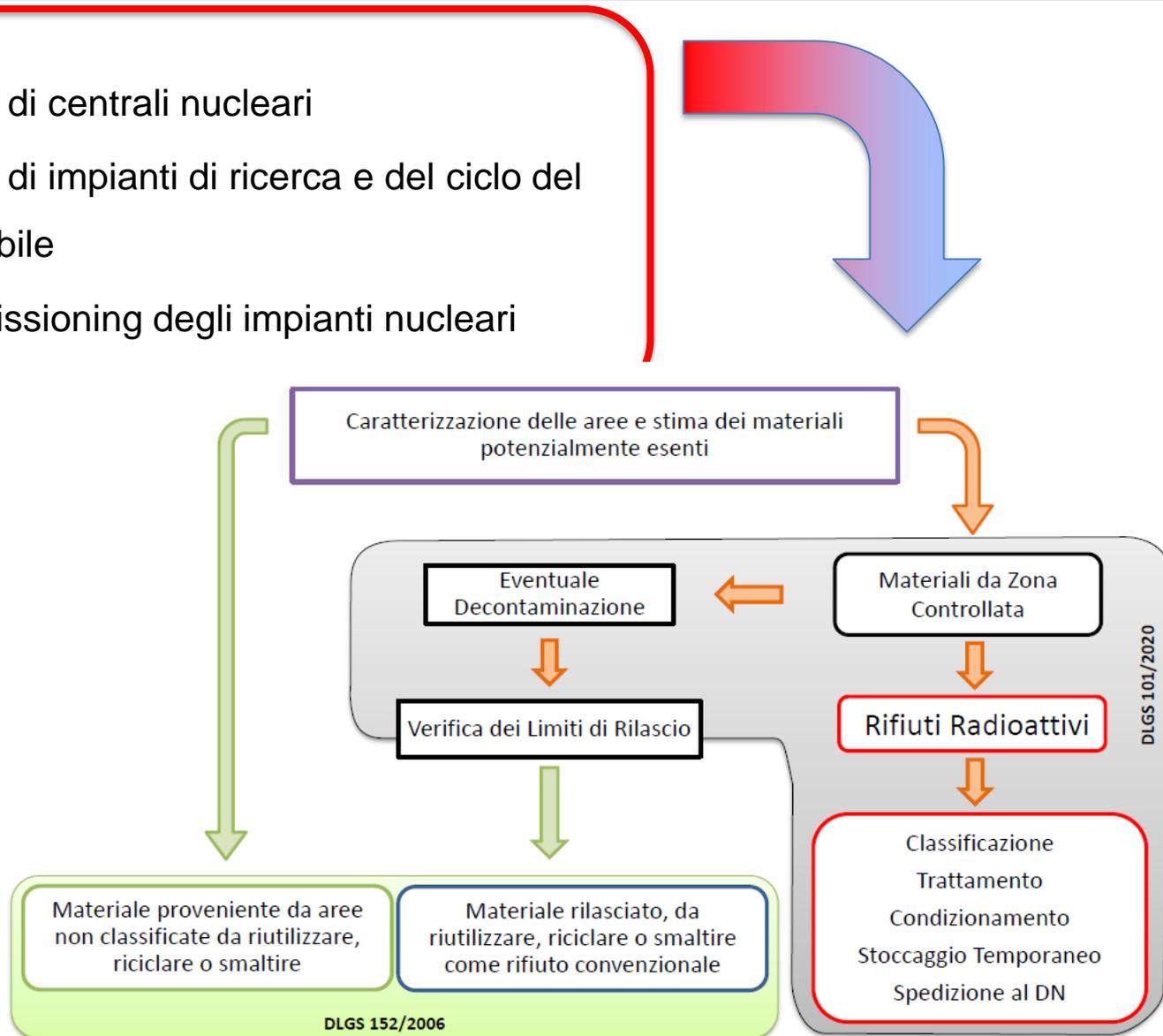
- **residui vetrificati** (ovvero inglobati in una speciale malta di vetro e principalmente prodotti di fissione) o
- **residui compattati** (ovvero solidi ad alta attività a seguito di una forte riduzione di volume mediante schiacciamento).

In base ai contratti vigenti con l'operatore francese **ORANO** e l'inglese **NDA**, i residui del combustibile riprocessato all'estero, una volta trattati e condizionati, al momento della disponibilità del Deposito Nazionale saranno inseriti in adeguati cask di trasporto e stoccaggio e trasferiti in Italia, **nelle strutture interim di alta attività del Deposito Nazionale.**

# Origine dei rifiuti radioattivi

IMPIANTI NUCLEARI

- Esercizio di centrali nucleari
- Esercizio di impianti di ricerca e del ciclo del combustibile
- Decommissioning degli impianti nucleari



# Origine dei rifiuti radioattivi

## **Rifiuti da esercizio**

- Rifiuti prodotti durante l'esercizio dell'impianto o per il mantenimento dell'impianto dopo la chiusura.
- Liquidi
- Resine e Fanghi
- Tecnologici e filtri

## **Rifiuti da decommissioning**

- Rifiuti generati dallo smantellamento di strutture, sistemi e componenti d'impianto.
- Metalli
- Cementi
- Terreno

## **Rifiuti secondari da trattamento**

- Rifiuti generati durante il trattamento di rifiuti
- Tecnologici
- Solidi e liquidi da Decontaminazione

# Origine dei rifiuti radioattivi e Dimensione del Problema

Nel Deposito Nazionale saranno sistemati definitivamente e in sicurezza **circa 78.000 metri cubi** di rifiuti radioattivi a molto bassa e bassa attività, la cui radioattività decade a valori trascurabili nell'arco di **300 anni**.

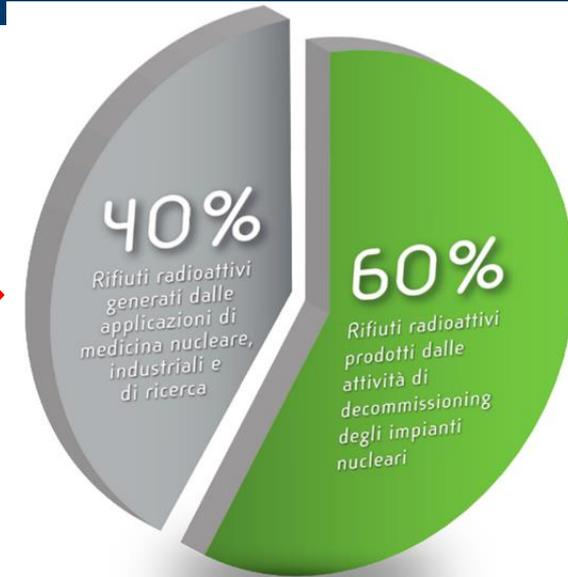
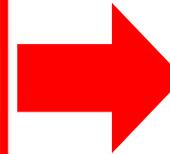
Di questi rifiuti, **circa 50.000 metri cubi** derivano **dall'esercizio e dallo smantellamento** degli impianti nucleari per la produzione di energia elettrica, **circa 28.000 metri cubi** dagli **impianti nucleari di ricerca e dai settori della medicina nucleare e dell'industria**.

Nel Deposito Nazionale sarà compreso anche il **Complesso Stoccaggio Alta attività (CSA)**, per lo stoccaggio di lungo periodo di **circa 17.000 metri cubi di rifiuti a media e alta attività**. Una minima parte di questi ultimi, **circa 400 m<sup>3</sup>**, è costituita dai residui del riprocessamento del combustibile effettuato all'estero e dal combustibile non riprocessabile.

# Origine dei rifiuti radioattivi

## IMPIANTI NUCLEARI

Esercizio di centrali nucleari  
Esercizio di impianti di ricerca e del ciclo del combustibile  
Decommissioning degli impianti nucleari (parti di impianto e rifiuti di esercizio)



## SERVIZIO INTEGRATO

Attività in ambito sanitario  
Ricerca Scientifica  
Attività industriali non energetiche



Dei circa 95 mila metri cubi di rifiuti radioattivi che saranno conferiti al Deposito, il 60% deriverà dall'esercizio e lo smantellamento degli impianti nucleari, mentre il restante **40% dalle attività di medicina nucleare, industriali e di ricerca.**

# Applicazioni Nucleari Non Energetiche



## Medico Sanitario

Radioanalisi in vitro

Radiofarmaci in vivo

Radioterapia con sorgenti sigillate per brachiterapia o teleterapia

## Attività di ricerca e Università

Tarature

Processi clinici e applicazioni

Ricerca di base (fisica, chimica, ingegneria)

## Industria, Agricoltura

Prospezioni Geologiche

Sterilizzazione

Irraggiamento alimenti

## Altro

Rivelatori di Fumo

Dispositivi Radioluminescenti

Parafulmini

# Origine dei Rifiuti Radioattivi Non Elettrodomestici

## Ricerca e Medicina

- Ospedali
- Laboratori analisi
- Industria farmaceutica
- Reattori di ricerca



## Industria

- Petrolifera
- Fosfati
- Metallurgica



## Altri

- Rivelatori di fumo
- Parafulmini
- Radio-luminescenti
- Ceneri
- Saldature
- Derivati del Torio (lenti, refrattari)

# Origine dei Rifiuti Radioattivi Non Eletttronucleari



Lenti ottiche ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ): l'ossido di torio aggiunto al vetro permette di creare vetri con alto indice di rifrazione e dispersione molto bassa.



Produzione di pigmenti a base di biossido di titanio Tele Filtranti Moore



Dispositivi che eliminano l'elettricità statica -  $^{210}\text{Po}$

# Origine dei Rifiuti Radioattivi Non Eletttronucleari



Sorgenti per brachiterapia e terapia da contatto

Sorgenti Alta Attività Radioterapia metabolica  
(sorgenti non sigillate  $^{131}\text{I}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{90}\text{Y}$  ..)

Laboratori RIA (Radio Immuno Assay) (sorgenti non sigillate,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^3\text{H}$ )

Liquidi di lavaggio



Oggetti da terapia e diagnosi (guanti, cotone, telini, assorbenti, bende, garze ecc.).  
Contenitori usati nella preparazione dei radioisotopi (guanti, siringhe, vials, carta bibula ecc.)

Acetato di Uranile  
(utilizzato come contrasto nell'ambito delle tecniche istologiche nella microscopia elettronica)



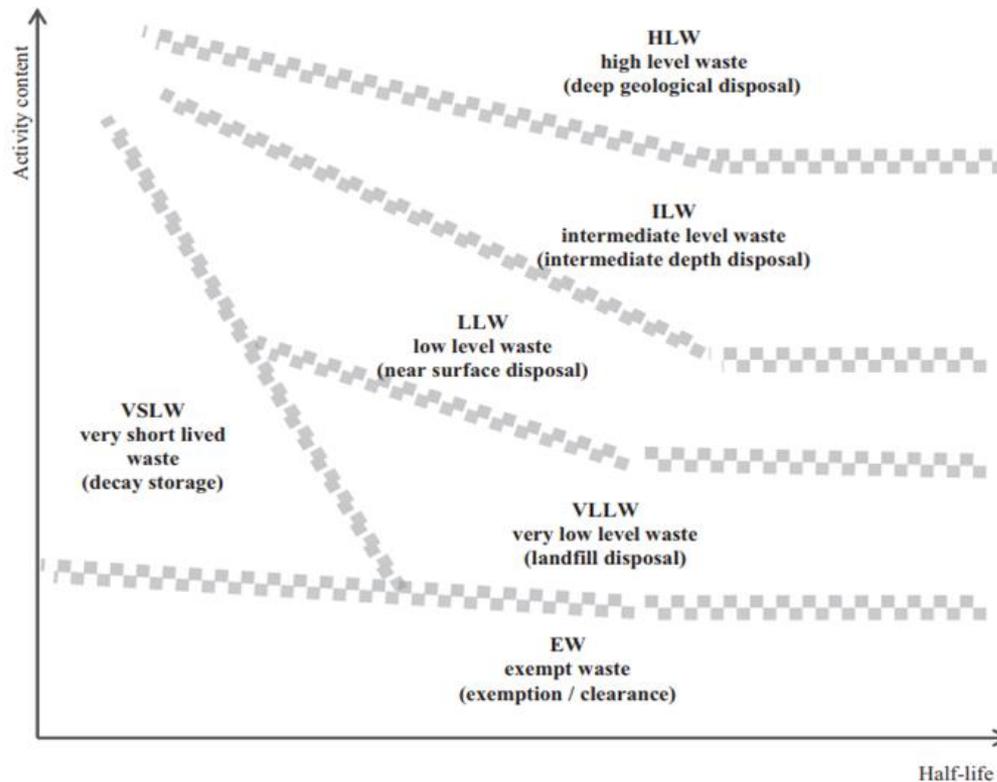
# Origine dei Rifiuti Radioattivi Non Elettrodomestici



# Classificazione dei rifiuti radioattivi

## Riferimento Internazionale

Il sistema di classificazione cui le singole realtà nazionali fanno riferimento è proposto dall'IAEA (International Atomic Energy Agency) e descritto nella General Safety Guide No. GSG-1 Classification of Radioactive Waste.



Il principio di base è la suddivisione dei rifiuti contaminati sulla base del tipo di confinamento necessario per custodire in sicurezza i rifiuti stessi che si basa sul contenuto radiologico che caratterizza ogni classe di rifiuto, sia in termini di attività che di tempo di dimezzamento.

# Classificazione dei rifiuti radioattivi

## Decreto Classificazione 7 Agosto 2015

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

# Gestione dei Rifiuti Radioattivi

I **principi** fondamentali nella gestione dei rifiuti radioattivi sono la protezione sanitaria dei lavoratori e delle popolazioni, la conservazione dell'ambiente e la salvaguardia delle future generazioni

Lo smaltimento dei rifiuti radioattivi richiede il loro **condizionamento** in forme solide di provate caratteristiche, adatte a consentirne la manipolazione, il deposito temporaneo intermedio, il trasporto e lo smaltimento definitivo.

Tra i **criteri di accettabilità** dei rifiuti radioattivi vi è la “chiara identificazione del tipo di rifiuto, della categoria o classe di appartenenza, della matrice di immobilizzazione, del tipo e del livello di radioattività ad esso associati”.

Le caratteristiche dei manufatti contenenti il rifiuto sono accertate mediante indagini chimiche e fisiche (**caratterizzazione**) e sono condotte sia sui rifiuti da condizionare sia sul processo di condizionamento che sul manufatto finale.

# Gestione: dalla raccolta allo smaltimento



**Caratterizzazione  
Radiologica**



Acquisizione del codice  
dal fusto  
e controllo della dose a  
contatto



Compattazione fusto



Infustamento in  
overpack  
per la  
cementazione



**Trattamento e  
Condizionamento  
Rifiuti Solidi**

# Pre trattamento

I rifiuti radioattivi vengono pre-trattati in apposite celle per procedere poi alle successive attività di caratterizzazione, trattamento e condizionamento.



I grandi componenti sono ridotti di volume all'interno di celle dotate di manipolatori e dispositivi di taglio per consentire il confezionamento in contenitori da 200 l e il successivo invio agli impianti di trattamento.

# Trattamento Rifiuti Solidi

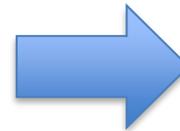


Acquisizione del codice dal fusto e controllo della dose a contatto

L'impianto di trattamento solidi riduce il volume dei fusti tramite una pressa idraulica da 1500 t con operazioni automatizzate; i fusti compattati vengono inseriti in overpack da 380 l e inglobati in una matrice di malta cementizia.



Compattazione del fusto e infustamento delle «pizze» in overpack



Cementazione dell'overpack

# Trattamento Rifiuti Liquidi

Trattamento chimico-fisico,  
sezione di  
chiariflocculazione



Cementazione dei fanghi



Fusto cementato



L'impianto di trattamento liquidi applica processi di trattamento fisico, chimico e biologico. Il liquido trattato viene scaricato nell'ambiente secondo formule di scarico autorizzate; i fanghi sono cementati.

# Condizionamento

## Bozza Guida Tecnica 33 ISIN anno 2022

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

## Glossario IAEA anno 2018

“Those operations that produce a waste package suitable for handling, transport, storage and/or disposal Conditioning may include the conversion of the waste to a solid waste form, enclosure of the waste in containers and, if necessary, provision of an overpack

# Condizionamento

**Obiettivo**: immobilizzare, con la maggiore riduzione di volume possibile, il residuo radioattivo proveniente da processi di trattamento in un prodotto solido confezionato in apposite forme e contenitori aventi i requisiti seguenti:

- compatibilità fisico – chimica tra residuo radioattivo e matrice immobilizzante
- omogeneità
- ridotta solubilità e permeabilità ai liquidi acquosi
- resistenza meccanica
- resistenza agli agenti esterni (fisici, chimici, biologici)
- resistenza al calore, ai cicli termici, alle fiamme
- resistenza alle radiazioni
- stabilità nel tempo nel deposito di stoccaggio

# Esempi di Condizionamento



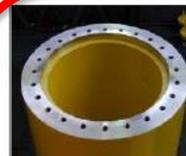
Solidificazione



Inglobamento



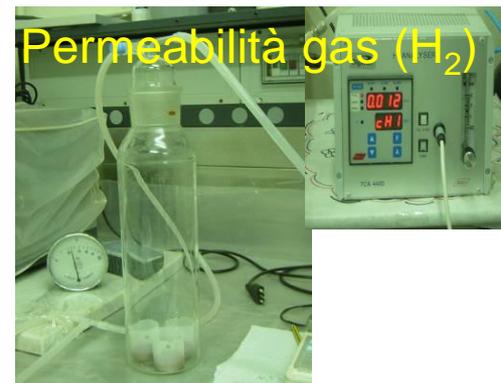
Incapsulamento



Confezionamento in contenitori speciali



# Qualificazione delle matrici



# Qualifica dei processi



# Caratterizzazione dei Rifiuti Radioattivi

**Obiettivo**: determinare le caratteristiche intrinseche dei materiali che costituiscono il prodotto condizionato alla data di fabbricazione.

**Tecniche di analisi distruttive**: consistono in analisi di campioni effettuate in laboratorio con metodi chimici. Esse sono più accurate e precise delle tecniche non distruttive, ma necessitano di una maggiore quantità di tempo, compromettono l'integrità del campione e richiedono che i campioni analizzati siano uniformi e sufficientemente rappresentativi di tutto il materiale.

**Tecniche di analisi non distruttive**: consistono nell'osservazione di radiazioni nucleari spontanee o indotte finalizzata ad analisi qualitative e quantitative di materiale fissile e fertile presente nel campione. Esse non alterano l'aspetto fisico e la composizione chimica del materiale; è possibile eseguire le misure "in loco"; i metodi non distruttivi richiedono generalmente tempi di misura brevi in confronto alle tecniche distruttive; le accuratezze sono più modeste rispetto ai metodi distruttivi.

**tecniche passive**: basate sull'osservazione di radiazioni nucleari naturali o spontanee

**tecniche attive**: basate sull'osservazione di radiazioni nucleari indotte tramite irraggiamento da una sorgente esterna

# Caratterizzazione dei Rifiuti Radioattivi

## 1. *Proprietà legate alla radioattività*

- Attività totale
- Composizione isotopica e radiochimica
- Massa del fissile
- Potenza termica
- Stabilità alle radiazioni
- Omogeneità
- Dose e contaminazione superficiale

## 2. *Proprietà chimiche*

- Composizione della matrice
- Stabilità chimica
- Lisciviabilità
- Piroforicità
- Ignizione
- Reattività
- Corrosività
- Esplosività
- Compatibilità chimica
- Produzione di gas
- Tossicità
- Decomponibilità (composti organici)

## 3. *Proprietà fisiche*

- Permeabilità
- Porosità
- Omogeneità
- Densità
- Presenza di vuoti
- Altri parametri (presenza di liquidi liberi, agenti chelanti, gas)

## 4. *Proprietà termiche*

- Resistenza al fuoco
- Conduttività termica
- Stabilità al congelamento
- Limite di rammollimento
- Cambiamenti strutturali (devetrificazione)

## 5. *Proprietà meccaniche*

- Resistenza alla compressione
- Stabilità dimensionale
- Resistenza all'impatto

## 6. *Proprietà biologiche*

- Degradabilità biologica
- Presenza di coloni e batteriche (rifiuti ospedalieri)

# Caratterizzazione dei Rifiuti Radioattivi



SRWGA – Sea Radioactive  
Waste Gamma Analyzer



Passive Neutron Counting System



ISOCS

In Situ Object Counting System



RADSCAN System



# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

Sogin è la società pubblica incaricata del **decommissioning** degli impianti nucleari e della **gestione dei rifiuti radioattivi**.

Ha inoltre il compito di realizzare il **Deposito Nazionale e Parco Tecnologico**.

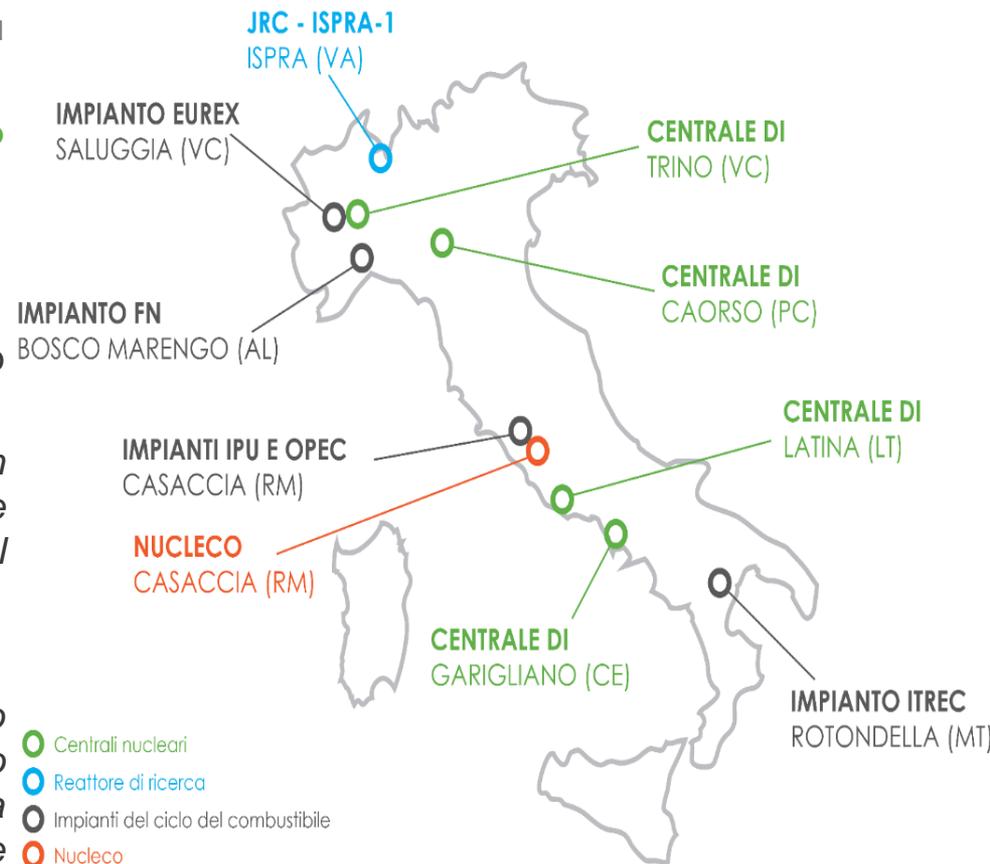
## Decreto Legislativo n. 31 del 15 febbraio 2010

Titolo III - Art. 25 (Deposito Nazionale e Parco Tecnologico) - Comma 3

*“La Sogin S.p.A. realizza il Parco Tecnologico, ed in particolare il **Deposito Nazionale** e le strutture tecnologiche di supporto, con i fondi provenienti dal finanziamento delle attività di competenza”*

Titolo III – Art. 26 (Sogin S.p.A.) – Comma 1

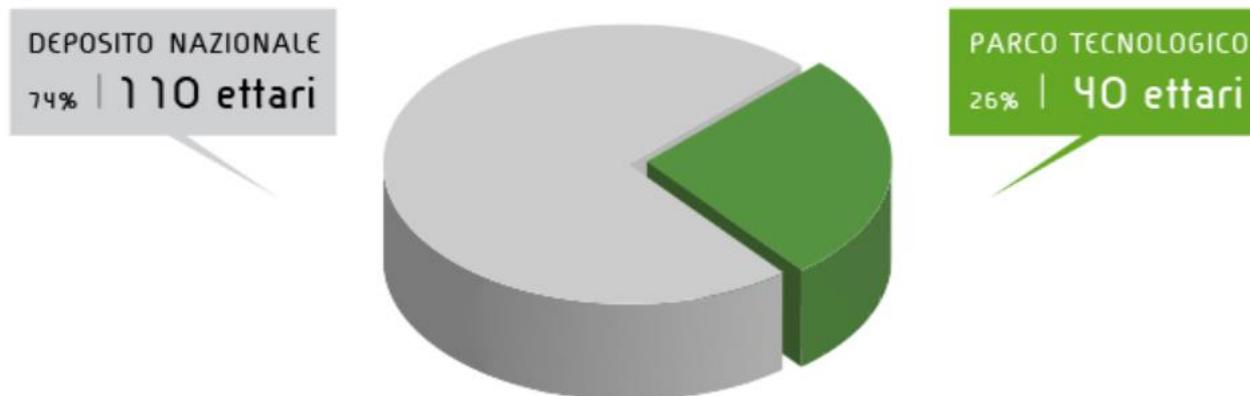
*“La **Sogin S.p.A.**, in coerenza con l'atto di indirizzo previsto dall'articolo 27, comma 8 della legge 23 luglio 2009, n. 99, è il **soggetto responsabile**... della realizzazione e dell'esercizio del Deposito nazionale e del Parco Tecnologico di cui all'articolo 25...”*



# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

Sarà un'infrastruttura ambientale di superficie che permetterà di sistemare definitivamente in sicurezza i rifiuti radioattivi, oggi stoccati all'interno di decine di depositi temporanei presenti nel Paese, prodotti dall'esercizio e dallo smantellamento degli impianti nucleari e dalle quotidiane attività di medicina nucleare, industria e ricerca.

Il Deposito Nazionale sarà costituito dalle strutture per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi a molto bassa e bassa attività e da quelle per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi a media e alta attività, che dovranno essere successivamente trasferiti in un deposito geologico idoneo alla loro sistemazione definitiva.



# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

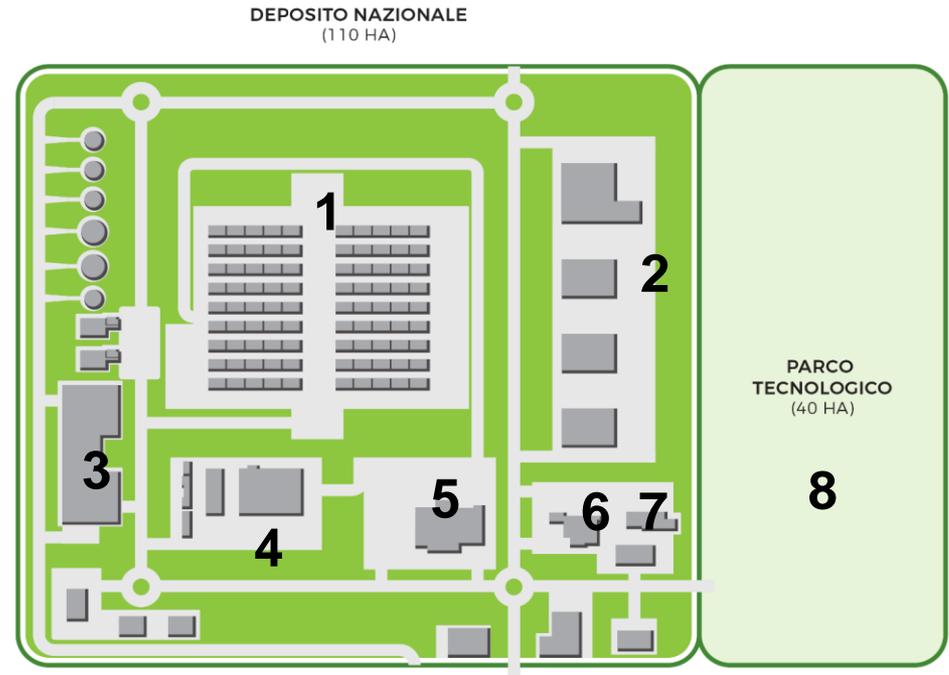
Il Deposito Nazionale è un'**infrastruttura ambientale di superficie** dove saranno messi in sicurezza i rifiuti radioattivi italiani prodotti dall'esercizio e dallo smantellamento degli impianti nucleari e dalle quotidiane attività di medicina nucleare, industria e ricerca.

La realizzazione del Deposito Nazionale consentirà di **completare il decommissioning** degli impianti nucleari italiani.

Insieme al Deposito sarà realizzato un **Parco Tecnologico**, un centro di ricerca aperto a collaborazioni internazionali, dove svolgere attività nel campo energetico, della gestione dei rifiuti e dello sviluppo sostenibile.

# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

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



# Unità di smaltimento rifiuti radioattivi a molto bassa e bassa attività

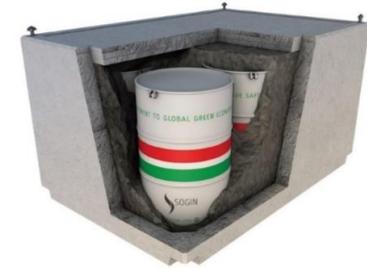
## PRIMA BARRIERA: MANUFATTO

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



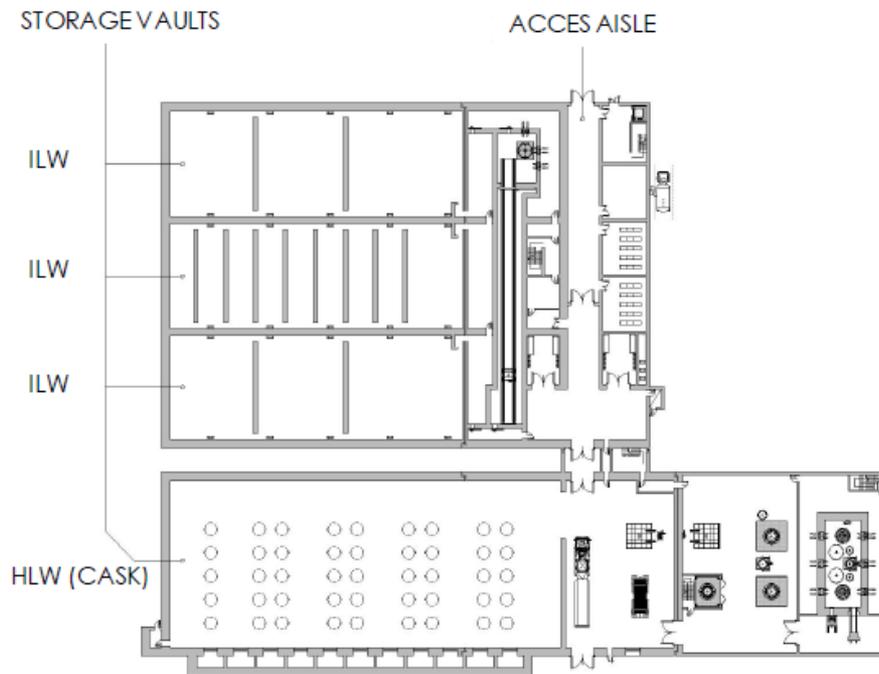
## QUARTA BARRIERA: COPERTURA MULTISTRATO

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



# Complesso Stoccaggio Media ed Alta Attività

In attesa della disponibilità di un deposito geologico, i rifiuti a media e alta attività saranno stoccati in sicurezza all'interno di una diversa struttura di deposito temporaneo, denominata CSA, **Complesso Stoccaggio Alta attività**, collocata sullo stesso sito del Deposito Nazionale.



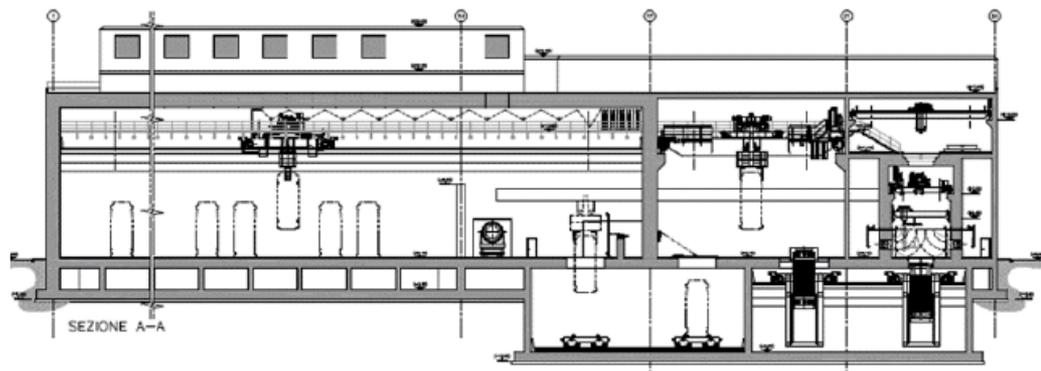
Il Complesso Stoccaggio Alta Attività prevede 4 edifici simili, ciascuno con specifiche hall per lo stoccaggio di diversi tipi di ILW.

Le sale sono collegate tramite un corridoio di accesso per il trasferimento dei rifiuti ILW.

Uno degli edifici ospiterà la hall dedicata ai rifiuti ad alta attività.

# Complesso Stoccaggio Media ed Alta Attività

I residui radioattivi e i materiali nucleari a media e alta attività saranno stoccati in appositi contenitori altamente schermanti, quali ad esempio i cask, specifici contenitori qualificati al trasporto e allo stoccaggio, capaci di resistere a sollecitazioni estreme sia meccaniche che termiche (urto e incendio).



Dual purpose cask

# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico



Come previsto dal D.lgs. 31/2010, insieme al Deposito Nazionale sarà realizzato il Parco Tecnologico, un centro di eccellenza votato alla ricerca sul decommissioning degli impianti nucleari e sulla gestione dei rifiuti radioattivi, sulla radioprotezione e sulla salvaguardia ambientale.



**Centro Tecnológico Asociado (CTA)  
ENRESA**

# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

In accordo con le comunità locali del territorio che ospiterà il Deposito Nazionale saranno identificati anche altri progetti di ricerca che favoriscano lo sviluppo economico e industriale dell'area.

Assieme alle strutture dedicate alle attività connesse all'esercizio del Deposito Nazionale, tali laboratori, gestiti in collaborazione con soggetti pubblici o privati, permetteranno di massimizzare le ricadute occupazionali ed economiche per il territorio ospitante.

Tutte le strutture saranno progettate e realizzate con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale dell'infrastruttura, ricorrendo a soluzioni compatibili con l'ecosistema del territorio ospitante.



# Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

Il Parco Tecnologico Nazionale si profila come:

- ➔ attività di trasferimento tecnologico per le imprese, le Pmi e le start up a profilo altamente innovativo: contribuisce all'accelerazione dei processi di trasferimento tecnologico sul mercato, ottimizzando tempi e risorse, presidiando la trasformazione del risultato della ricerca nel prodotto finale o processo industriale e favorendo la crescita economica, il benessere dei territori e l'attrattività anche per imprese straniere.
- ➔ struttura di interfaccia tra i bisogni di crescita innovativa del sistema delle imprese e il patrimonio di conoscenza espresso dalle università e dai centri di ricerca
- ➔ aggregatore di imprese innovative che puntano a sviluppare la crescita economica del territorio favorendo il dialogo tra aziende, università e centri di ricerca.

# Deposito Nazionale: Siting e Processo di Realizzazione

## LEGENDA

CNAPI: Carta Nazionale delle Aree Potenzialmente Idonee  
 CNAI: Carta Nazionale delle Aree Idonee  
 ISIN: Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione  
 MISE: Ministero dello Sviluppo Economico  
 MATTM: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare  
 MITE: Ministero della Transizione Ecologica  
 DNPT: Deposito Nazionale e Parco Tecnologico

■ Attività in capo a Sogin  
 ■ Attività non in capo a Sogin



\* Osservazioni formalmente trasmesse a Sogin e al Ministero della Transizione Ecologica

\*\* La CNAI viene pubblicata sui siti internet di Sogin, dei Ministeri competenti e dell'ISIN

# CRITERI PER LA LOCALIZZAZIONE DEL DN



## 15 Criteri di Esclusione (CE)

per **escludere** le aree del territorio nazionale le cui caratteristiche non permettono di garantire piena rispondenza ai requisiti di sicurezza.

L'applicazione dei criteri d'esclusione porta all'individuazione delle “**aree potenzialmente idonee**”.

## 13 Criteri di Approfondimento (CA)

per **valutare** le aree individuate a seguito dell'applicazione dei criteri di esclusione.

La loro applicazione può condurre all'esclusione di ulteriori porzioni di territorio all'interno delle aree potenzialmente idonee e ad individuare **siti di interesse**.

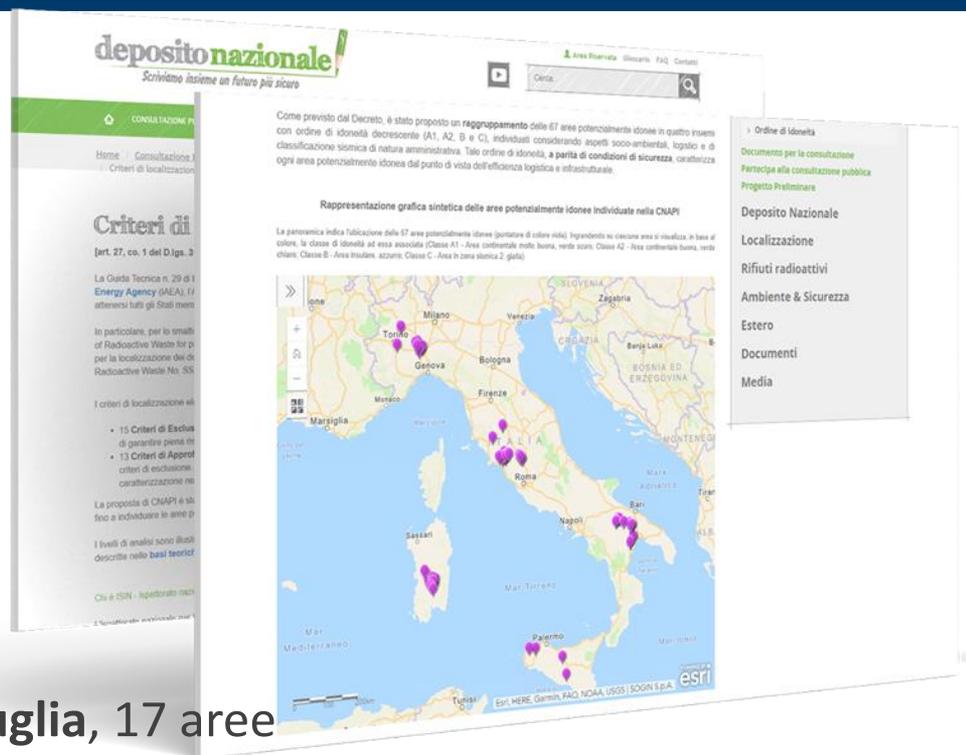
# CRITERI DI ESCLUSIONE

- CE1** **vulcaniche** attive o quiescenti
- CE2** contrassegnate da **sismicità** elevata
- CE3** interessate da fenomeni di **fagliazione**
- CE4** caratterizzate da rischio e/o pericolosità geomorfologica e/o **idraulica** di qualsiasi grado e le fasce fluviali
- CE5** contraddistinte dalla presenza di **depositi alluvionali** di età olocenica
- CE6** ubicate ad **altitudine** maggiore di 700 m s.l.m.
- CE7** caratterizzate da versanti con **pendenza** media maggiore del 10%
- CE8** sino alla distanza di 5 km dalla linea di **costa** attuale o ubicate ad altitudine minore di 20 m s.l.m.
- CE9** interessate dal processo morfogenetico **carsico** o con presenza di sprofondamenti catastrofici improvvisi (sinkholes)
- CE10** caratterizzate da livelli **piezometrici affioranti** e che, comunque, possano interferire con le strutture di fondazione del deposito
- CE11** **naturali protette** identificate ai sensi della normativa vigente
- CE12** che non siano ad adeguata distanza dai **centri abitati**
- CE13** che siano a distanza inferiore a 1 km da **autostrade** e strade extraurbane principali e da linee ferroviarie fondamentali e complementari
- CE14** caratterizzate dalla presenza nota di importanti **risorse del sottosuolo**
- CE15** caratterizzate dalla presenza di **attività industriali a rischio di incidente rilevante**, dighe e sbarramenti idraulici artificiali, aeroporti o poligoni di tiro militari operativi

# CRITERI DI APPROFONDIMENTO

- CA1 presenza di **manifestazioni vulcaniche secondarie**
- CA2 presenza di movimenti verticali significativi del suolo in conseguenza di fenomeni di **subsidenza** e di **sollevamento** (tettonico e/o isostatico)
- CA3 **assetto geologico-morfostrutturale** e presenza di litotipi con **eteropia** verticale e laterale
- CA4 presenza di bacini imbriferi di tipo **endoreico**
- CA5 presenza di fenomeni di **erosione accelerata**
- CA6 condizioni **meteo-climatiche**
- CA7 parametri **fisico-meccanici** dei terreni
- CA8 parametri **idrogeologici**
- CA9 parametri **chimici** del terreno e delle acque di falda
- CA10 presenza di **habitat** e specie animali e vegetali di **rilievo conservazionistico**, nonché di **geositi**
- CA11 **produzioni agricole** di particolare qualità e tipicità e **luoghi di interesse** archeologico e storico
- CA12 disponibilità di vie di comunicazione primarie e **infrastrutture di trasporto**
- CA13 presenza di **infrastrutture critiche** rilevanti o strategiche

CNAPI redatta in applicazione dei Criteri di localizzazione indicati nella Guida Tecnica n. 29



- **Basilicata e Puglia, 17 aree**
- **Lazio, 22 aree**
- **Piemonte, 8 aree**
- **Sardegna, 14 aree**
- **Sicilia, 4 aree**
- **Toscana, 2 aree**

# Processo di localizzazione

Territorio nazionale

100%  
30 milioni di ettari



## Gestione dei rifiuti radioattivi di origine non elettro-nucleare

L'ENEA, fin dalla metà degli anni '80, svolge un ruolo di primaria importanza nella gestione dei rifiuti radioattivi a media e bassa attività e delle sorgenti non più utilizzate, provenienti dai comparti medico-sanitario, industriale e dalla ricerca scientifica.

## Decreto Legislativo 31 luglio 2021 n. 101 Articolo 74

Il Servizio Integrato garantisce tutte le fasi del ciclo di gestione dei rifiuti radioattivi e delle sorgenti non più utilizzate del settore medico-sanitario, dell'industria e della ricerca scientifica.

Al Servizio integrato possono aderire tutti gli impianti di gestione dei rifiuti radioattivi che svolgono attività di raccolta ed eventuale deposito provvisorio.

Sono esclusi i rifiuti generati da impianti nucleari di cui al Titolo X del Decreto Legislativo.

Il Gestore del Servizio integrato è l'ENEA.

# ENEA – Gestore del Servizio Integrato



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

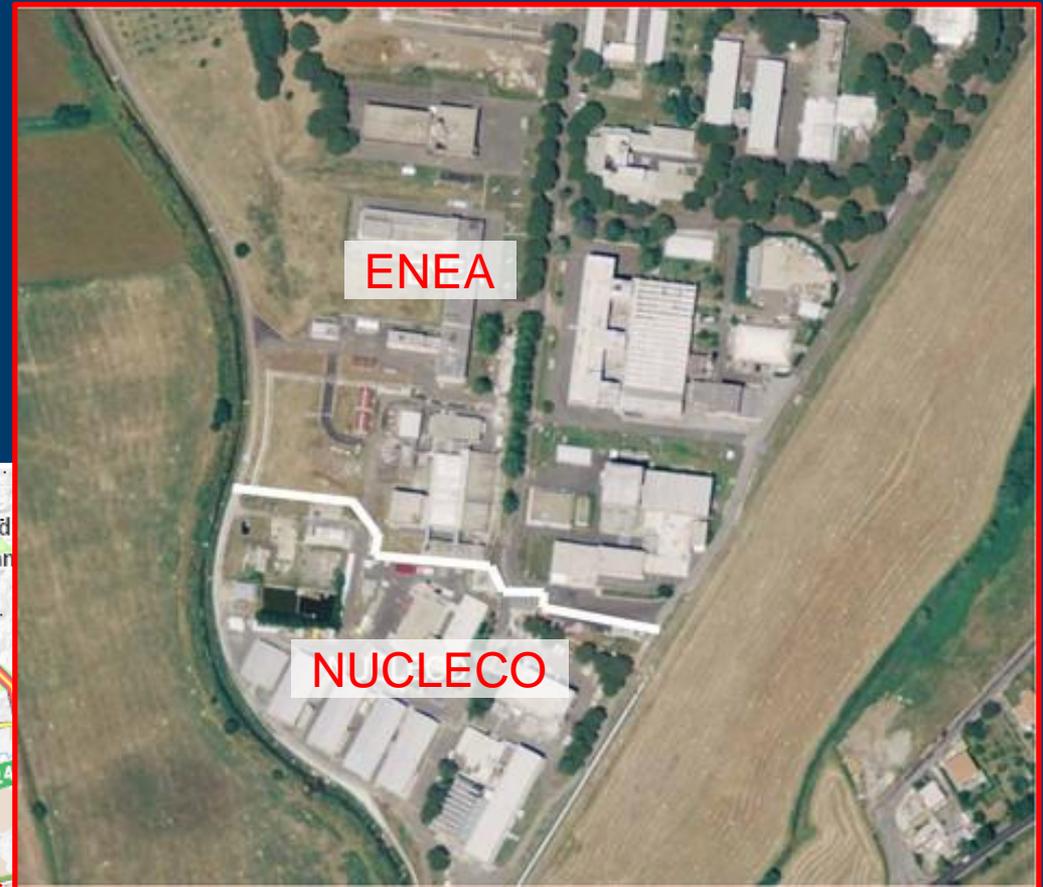
- Svolge una funzione di indirizzo, supervisione e controllo dell'intero ciclo di gestione
- Assume la proprietà dei rifiuti e delle sorgenti raccolte
- Si prende carico del loro smaltimento definitivo, liberando da ogni responsabilità giuridica il produttore dei rifiuti stessi.

# NUCLECO – Aspetti operativi del Servizio Integrato



Società partecipata Sogin S.p.A. (60%) ed ENEA (40%) alla quale ENEA demanda, attraverso una Convenzione per l'attuazione del Servizio Integrato:

- la raccolta presso i produttori e il trasporto dei rifiuti
- la caratterizzazione dei rifiuti radioattivi
- il trattamento
- il condizionamento
- la custodia temporanea



## Centro Ricerche ENEA Casaccia

# Funzionamento del Servizio Integrato

## PRODUTTORI DI RIFIUTI RADIOATTIVI

### Settore medico-sanitario

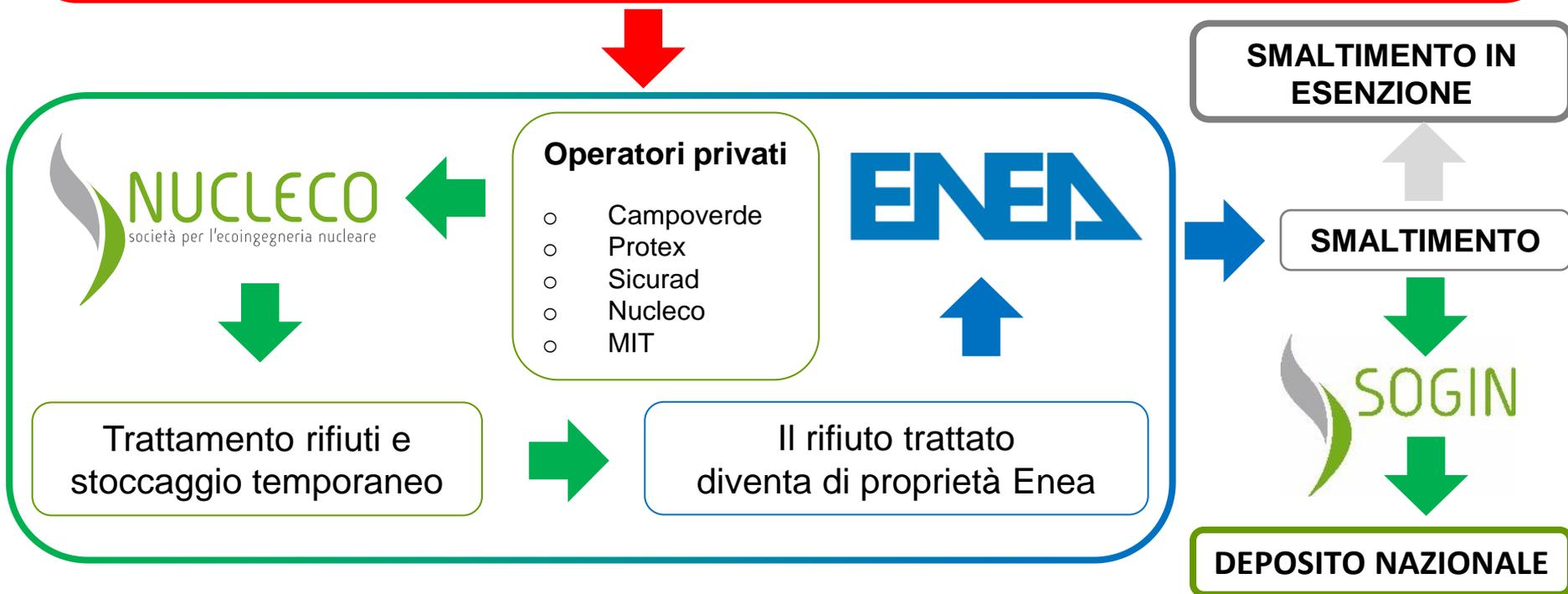
- Istituti di ricerca
- Strutture medico-ospedaliere
- Aziende farmaceutiche

### Settore industriale

- Fonderie
- Industrie petrolifere
- Impianti e laboratori nucleari di ricerca

### Settore convenzionale

- Parafulmini
- Rilevatori di fumo



# I depositi



Le aree di deposito autorizzate sono costituite da capannoni per circa 4000 mq e 1000 mq di aree all'aperto.

I rifiuti trattati e/o condizionati stoccati nelle aree deposito sono circa 7500 mc.

[nadia.cherubini@enea.it](mailto:nadia.cherubini@enea.it)

328 3904 493

