

# I rifiuti nucleari ad alta attività verso un deposito geologico condiviso

La sistemazione dei rifiuti nucleari è uno degli argomenti meno conosciuti dall'opinione pubblica e uno dei più sfidanti che un'intera filiera produttiva di un comparto industriale possa registrare

DOI 10.12910/EAI2017-070

di **Oswaldo Aronica, Giorgio Giorgiantoni, Mauro Olivetti e Fabrizio Pisacane, ENEA**

L'industria nucleare, fin dagli inizi, si è preoccupata della sistemazione dei propri rifiuti come parte integrante del ciclo del combustibile, ai fini della sicura chiusura dello stesso, con l'ottica della salvaguardia degli addetti ai lavori, delle popolazioni e dell'ambiente interessati. Tali rifiuti sono oggetto di rigorosa attenzione da parte di organismi sovranazionali quali IAEA (*International Atomic Energy Agency*) ed EURATOM (Comunità europea dell'energia atomica), di organi regolatori nazionali, di istituti scientifici di ricerca, di agenzie di protezione dell'ambiente e di vere e proprie realtà industriali. La gestione dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita necessita innanzitutto di un sistema regolatorio solido e autorevole e di

una classificazione chiara e tecnicamente applicabile: il Decreto del Ministero dell'Ambiente e del Ministero dello Sviluppo Economico 7 agosto 2015, emanato ai sensi del Decreto Legislativo n. 45/2014, allinea la normativa italiana alle raccomandazioni IAEA [1], che si propongono di dare alle classificazioni nazionali un inquadramento più uniforme. Va sottolineato che l'ottica degli organismi di regolamentazione nazionali è quella di cercare di non penalizzare gli attori nazionali, siano essi pubblici (con ricadute sui contribuenti) o privati, limitando i possibili extracosti derivanti dalla adozione di nuove normative e di criteri di condizionamento e stoccaggio che devono essere coerenti con quelli di accettazione di un deposito.

La Direttiva EURATOM, cui la normativa italiana si ispira, prescrive sia l'adozione di politiche di gestione, nell'ottica di non lasciare oneri alle future generazioni, e sia la presenza di un'Autorità di regolamentazione nazionale indipendente e competente in materia di sicurezza della gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi [2].

## La classificazione dei rifiuti

Il citato decreto del 7 agosto 2015 classifica i rifiuti radioattivi in base alla loro destinazione finale (cfr. Tabella 1), puntando l'attenzione sulla gestione a breve o a lungo termine dei rifiuti.

Mentre per i rifiuti a bassa attività e la maggior parte di quelli a media è prevista la custodia in impianti su-



perficiale o subsuperficiale per qualche secolo (tipicamente 300-500 anni per renderli inoffensivi), nel caso dei rifiuti ad alta attività vengono presi in considerazione impianti in formazioni geologiche di sicura affidabilità. La caratteristica “geologica” prevede una stabilità al di là dell’intervento e della custodia umana, affidata alle caratteristiche morfologiche della regione e che consenta il decadimento dei radionuclidi fino ad essere ininfluenti sull’ambiente circostante.

La quantità di rifiuti nucleari classificati come alta attività (HLW, compresa la frazione di media attività, ILW, per la quale è prevista l’opzione di immagazzinamento temporaneo in attesa dello smaltimento in

formazione geologica) ammontava al 2013, nel mondo, a 2.774.000 m<sup>3</sup> (IAEA 2013 NEWDB database), escludendo il combustibile irraggiato SF (Spent Fuel) che ammonta a tutt’oggi a circa 340.000 MTHM (Metric Tons of Heavy Metal).

Per fissare gli ordini di grandezza, la quantità di rifiuti industriali e civili è migliaia di volte maggiore e se ne ha un controllo solamente parziale.

Gli HLW, per la quasi totalità esito del “bruciamento” del combustibile in un reattore nucleare, contengono prodotti di fissione ed elementi transuranici generati nel nocciolo, sono altamente radioattivi, hanno bisogno di schermatura e raffreddamento, e contengono il 95% della radioattività generata durante la produzione di

energia elettrica. Gli HLW, che hanno tempi di decadimento dell’ordine di decine e centinaia di migliaia di anni, sono di tre tipologie:

- combustibile irraggiato;
- rifiuti derivanti dal processo di ritrattamento del combustibile irraggiato;
- frazione dei materiali prodotti dal decommissioning delle centrali nucleari.

In alternativa allo smaltimento diretto si può procedere con il riprocessamento del combustibile esausto in modo da ridurre la quantità di rifiuti da smaltire in formazioni geologiche e recuperare parte per realizzare nuovo combustibile: considerazioni

Categoria	Condizioni e/o Concentrazioni di attività	Destinazione finale
<b>Esenti</b>	<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
<b>A vita media molto breve</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T1/2 &lt; 100 giorni</li> <li>Raggiungimento in 5 anni delle condizioni:</li> <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
<b>Attività molto bassa</b>	<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>
<b>Bassa attività</b>	<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)
<b>Media attività</b>	<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.  Radionuclidi in concentrazioni tali da non rispettare gli obiettivi di radioprotezione stabiliti per l'impianto di smaltimento superficiale.
<b>Alta attività</b>	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

Tab. 1 Classificazione dei rifiuti radioattivi ai sensi del Decreto del Ministero dell'Ambiente 7 agosto 2015

strategiche, politiche ed economiche locali hanno portato i vari Paesi "nucleari" a scelte diametralmente opposte.

Orientati al deposito diretto sono a tutt'oggi: Canada, Finlandia, Sud Corea, Spagna, Svezia e USA, mentre adottano strategie di riprocessamento Belgio, Cina, Francia, Germania (in corso di commutazione a stoccaggio diretto), Gran Bretagna, India, Giappone, Russia e Svizzera.

## Il deposito geologico

L'obiettivo fondamentale di un deposito geologico è il confinamento dei rifiuti e il loro isolamento dall'am-

biente per tempi estremamente lunghi, confidando sulla sicurezza passiva della formazione geologica e azzerando il controllo istituzionale del mantenimento delle condizioni di sicurezza.

Tutti i paesi hanno sviluppato concetti di deposito che incorporano i seguenti principi base:

- incapsulamento del combustibile irraggiato o dei rifiuti a vita lunga in contenitori a tenuta con una vita prevista molto lunga;
- assicurazione che le condizioni nel deposito permetteranno ai fusti di rimanere intatti e sigillati per il maggior tempo possibile (queste

condizioni includono ad esempio stabilità meccanica e geochimica);

- riempimento del deposito con materiali appropriati e localizzazione dello stesso in una matrice geologica che possa fortemente limitare il contatto con l'acqua che potrebbe portare il materiale radioattivo nell'ambiente [3].

Questi requisiti comportano studi approfonditi dei siti potenziali che, per essere qualificati, devono essere sottoposti a verifiche di durata anche pluridecennale.

Le barriere devono essere qualificate, quindi dimostrare di essere in grado di mantenere i rifiuti completamente isolati dalla biosfera per tutto il periodo considerato.

È proprio la qualificazione della barriera, oltre alle opere minerarie da adottare, che rende la realizzazione del deposito geologico notevolmente più costosa, più complessa e più lunga rispetto al deposito superficiale.

Per qualificare e, quindi, dimostrare l'efficienza e la durabilità della barriera "deposito geologico" si deve studiare il mezzo geologico "in situ" e costruire laboratori sotterranei (praticamente miniere sperimentali anche di qualche chilometro di estensione orizzontale) al fine di verificare il comportamento della barriera nei confronti dei rifiuti radioattivi, di valutare elementi di ingegneria mineraria connessi con la costruzione, di verificare il livello di impermeabilità e diffusività e le proprietà chimiche e fisiche della roccia in esame.

Tipicamente si considerano tre possibili formazioni geologiche: le formazioni argillose, i depositi salini e le rocce granitiche.

Al momento, per quanto riguarda la realtà europea, si prevede che entro

il 2050 la maggior parte dei Paesi “nucleari” dell’Unione si doteranno di un deposito geologico. Fanno eccezione i Paesi scandinavi in cui il processo d’individuazione e realizzazione del deposito geologico è molto avanzato e si prevede l’entrata in esercizio nel breve periodo.

I contenitori verranno posti in tunnel a una profondità di 400-700 m in una matrice di granito.

Il concetto svedese prevede dapprima un incapsulamento in contenitori cilindrici (altezza 4,8 m, diametro 1 m e massa di 25 t, cfr. Figura 1). La matrice finale è roccia cristallina, la località prescelta è Oskarshamn, l’operatività è attesa per il 2023, la capacità è stabilita in 12.000 tU (tonnellate di uranio) [4].

Per avere un’idea del deposito, si immagini un tunnel carrabile spiraliforme che si immerge per una profondità di 500 m nella roccia cristallina; a profondità stabilite si diramano rami in ciascuno dei quali sono provate a grandezza naturale le varie tecnologie di deposito che spaziano dalla geologia alla chimica alla robotica.

Si deve sottolineare che mentre in passato si pensava al definitivo abbandono in deposito dei rifiuti, oggi si sta facendo strada l’ipotesi del recupero: i rifiuti potrebbero in futuro essere recuperati e costituire una risorsa di grande valore, specialmente quando sarà operativa la nuova generazione di reattori nucleari.

L’unico deposito geologico attualmente in esercizio è l’americano WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), gestito dal DOE (Department of Energy) e situato nel deserto salino del Nuovo Messico, il cui processo di qualifica è iniziato nel 1950 e che ospita i rifiuti secondari derivanti dal programma militare nucleare americano (Figura 3).

Dopo studi particolareggiati si conclude che i depositi salini costituivano una promettente matrice per la costituzione di un deposito definitivo.

Questi depositi di roccia salina giacciono in aree geologiche stabili con minima attività sismica e mostrano l’assenza di flussi di acqua che potrebbero diffondere il materiale radioattivo in superficie o dilavare le matrici stesse. Tali matrici sono facili da scavare e dotate di una tale plasticità che sono in grado di rimodellarsi lentamente ricostituendo la continuità degli strati salini, riparando eventuali fratture e quindi separando definitivamente i rifiuti depositati dall’ambiente esterno. I depositi sono costituiti essenzialmente da rocce di cloruro di sodio, originate dall’evaporazione del Mare Permiano 250 milioni di anni fa, e costituiscono uno strato avente spessore di 700 m depositato a un’altezza dalla superficie di circa 300 m. Si prevede una stabilità delle formazioni per altrettanti 250 milioni di anni: dopo questo intervallo di tempo i rifiuti non avranno più bisogno di alcuna attenzione, poiché avranno perso totalmente la loro radioattività originaria.

### La situazione italiana

È in corso nel Paese l’iter per la definizione delle aree potenzialmente idonee a ospitare un deposito superficiale temporaneo (che tragarnerà un orizzonte storico di 300 anni) per rifiuti a bassa e media attività, che dovrebbe ospitare ad interim anche i rifiuti ad alta attività, in attesa della soluzione definitiva.

I rifiuti italiani a bassa e media attività ammontano a 75.000 m<sup>3</sup>, quelli ad alta attività a 15.000 m<sup>3</sup>. Questi rifiuti sono attualmente dislocati nei

siti dove sono stati prodotti (centrali, centri di ricerca e industrie) con tutto ciò che ne deriva in termini di sicurezza, custodia, sorveglianza, possibili cambi di destinazione d’uso di aree e impianti.

Infrastrutture di deposito temporaneo sono ormai presenti e esercite da tempo in tutti i Paesi dell’UE anche con capacità ben più grandi di quanto necessario per l’Italia. In questo contesto la realizzazione di un deposito geologico nel nostro Paese è poco appetibile. La già citata Direttiva 2011/70/EURATOM del 19 luglio 2011, all’art. 4 comma 4, prevede la possibilità di costituire un deposito geologico di tipo consortile anche al di fuori dell’Unione, che possa accogliere i rifiuti di quegli Stati che abbiano, come l’Italia, piccoli inventari di rifiuti ad alta attività.

È chiaro che un deposito geologico nazionale per piccoli quantitativi abbia costi unitari improponibili per un singolo Paese.

Un deposito superficiale come quello proposto per l’Italia (90.000 metri cubi di rifiuti radioattivi) prevede un investimento di circa 1,3 miliardi di euro e 5/10 anni di costruzione, mentre un deposito geologico (da circa 100.000 metri cubi di rifiuti ad alta attività) può arrivare ad un investimento di molte decine di miliardi di euro ed un tempo di realizzazione di circa trenta anni.

Per questo motivo l’ENEA aderisce, dalla sua creazione nel 2002, all’associazione privata ARIUS (Association for Regional and International Underground Storage), con sede in Svizzera, e partecipa ai lavori di ERDO-WG (European Repository Development Organisation – Working Group). Tale organizzazione si propone di effettuare gli studi di fattibilità nonché la proposizione della società pubblica o privata che

condurrà questo deposito geologico consortile regionale. Si potrà migliorare l'accettabilità sociale evidenziando che una soluzione economica a lungo termine per i rifiuti ad alta attività è disponibile già da oggi.

In ambito comunitario, si sta concludendo il progetto Joprad il cui scopo è stato quello di creare una «programmazione congiunta sullo smaltimento dei rifiuti radioattivi» che permetterebbe di coordinare a livello europeo i programmi di ricerca nazionali e le relative attività associate di ricerca e sviluppo sullo smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi di lunga vita e alta attività.

Tra pochi mesi inizierà il suo follow-up, il progetto EJP 1, e la partecipazione italiana attraverso l'ENEA insieme a Sogin ed altri istituti nazionali costituirà un elemento effettivamente strategico in quanto la Direttiva 2011/70/EURATOM consente di includere nei «programmi nazionali», oltre alla ricerca sui depositi geologici nazionali, anche eventuali accordi tra Stati membri per lo studio e la realizzazione di un deposito geologico condiviso a



Fig. 2 Stazioni sperimentali nell'Hard Rock Laboratory di Äspö, presso Oskarshamn (Svezia)

livello europeo.

Si sottolinea che la costituzione di una società per lo sviluppo di un deposito geologico profondo regionale condiviso è una opzione importante sia dal punto di vista politico che dal punto di vista dell'accettabilità sociale e prevede una strategia ed una de-

cisione a livello istituzionale, anche alla luce di quanto avvenuto in Italia con il referendum per cui il nostro Paese non ha più un programma nucleare da realizzare e quindi il proprio inventario dei rifiuti radioattivi ad alta attività rimarrà nei prossimi anni pressoché stabile.



Fig. 3 WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), deposito geologico situato nel deserto salino del Nuovo Messico (USA) e gestito dal DOE (Department of Energy)

## **BIBLIOGRAFIA**

1. IAEA (2009) *Classification of Radioactive Waste General Safety Guide* n.GSG-9 Vienna
2. Direttiva 2011/70/EURATOM del 19 luglio 2011, Art. 6 commi 1, 2, 3
3. IAEA *Storage and Disposal of Spent Fuel and High Level Radioactive Waste*
4. IGD-TP *Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform*