



## Nucleare da fissione Rifiuti radioattivi

### Scenario di riferimento

Dopo l'incidente di Fukushima e soprattutto dopo il referendum del giugno 2011, il rilancio dell'opzione nucleare in Italia ha subito una decisa battuta d'arresto; tuttavia rimane la necessità di risolvere il problema della gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi prodotti dalle attività nucleari pregresse, oltre che di quelli annualmente prodotti da attività industriali, ospedaliere e di ricerca.

L'Italia ha ratificato nel 2006 la Joint Convention on the Safety of the Management of Spent Fuel and Radioactive Waste, che impegna i Paesi contraenti alla messa in sicurezza del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi. La recente approvazione della Direttiva EURATOM 2011/70 del 19 luglio 2011, che istituisce un quadro comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, ha di fatto trasformato questi impegni in obblighi a carico dei paesi UE.

Il Governo ha indicato la SOGIN come soggetto responsabile della realizzazione e dell'esercizio del deposito nazionale dei rifiuti radioattivi e del parco tecnologico annesso (D.Lgs. 15/02/2010 n. 31). Il compito affidato all'ENEA, nell'ambito dell'Accordo di Programma, è stato invece di definire la situazione italiana, attraverso la revisione e l'aggiornamento del lavoro svolto in passato dai vari soggetti interessati, e di avviare studi e programmi di R&S necessari per acquisire e mettere a disposizione del Paese competenze tecniche e scientifiche propedeutiche alle attività operative.

### Obiettivi

Obiettivo principale è lo sviluppo di competenze e strumenti per caratterizzazione dei rifiuti, performance assessment, valutazione di impatto ambientale, studio di scenari, analisi territoriali, definizione dei criteri di accettabilità dei rifiuti, sistemi di condizionamento, radioprotezione, analisi di sicurezza ecc. A tale riguardo sono state finora esaminate le seguenti tematiche:

- supporto al processo decisionale;
- stato dell'arte su studi e ricerche in Italia;
- revisione critica dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi;
- caratterizzazione dei rifiuti da conferire al deposito;
- analisi propedeutiche alla progettazione e realizzazione del deposito;
- trasporto dei rifiuti radioattivi;
- linee guida per la security;
- linee guida per comunicazione, informazione e formazione;
- caratterizzazione dei siti, performance assessment e fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati ad un deposito superficiale;
- smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita;
- processi innovativi per il trattamento e condizionamento dei rifiuti radioattivi.



## Risultati

### Supporto al processo decisionale

Il GdL Stato-Regioni ex DM 25 febbraio 2008 ha affidato all'ENEA lo studio di tematiche specifiche quali ad es. l'individuazione della natura e della tipologia delle infrastrutture da realizzare nel sito di smaltimento, sia quelle relative al deposito, sia quelle in grado di conferirgli il carattere di "Parco Tecnologico". I risultati dello studio sono stati incorporati nel Rapporto Finale al Ministro dello Sviluppo Economico (settembre 2008), in base al quale il Governo ha legiferato in materia, con il già citato D.Lgs. 15/02/2010 n. 31, per la parte riguardante i rifiuti radioattivi.

### Stato dell'arte su studi e ricerche svolti in Italia

È stata condotta un'analisi delle attività effettuate tra il 1996 e il 2003 dall'ENEA, individuando ed analizzando i documenti tecnico-scientifici e le iniziative più significative del periodo. I lavori della Task Force Sito dell'ENEA sono stati numerosi e, già alla fine degli anni 90, fu elaborato un primo progetto concettuale del sito di smaltimento superficiale con sistema multi-barriera; in quel periodo la Task Force ha anche elaborato una metodologia di selezione geografica delle aree potenzialmente idonee ad ospitare l'insediamento, basandosi su una serie di stringenti criteri di esclusione, con un approccio ancora valido, con gli opportuni aggiornamenti tecnici e scientifici.

### Revisione critica dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi

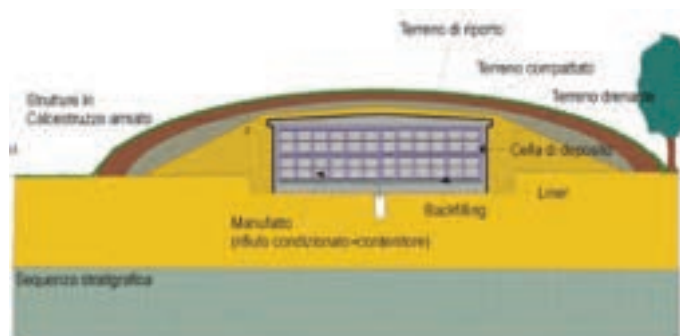
L'ultimo "Inventario Nazionale dei Materiali Radioattivi" prodotto dalla sopra citata Task Force risale all'anno 2000. Da allora l'unico inventario disponibile è stato quello dell'ISPRA (ex APAT), che raccoglie le informazioni fornite dagli esercenti ma fornisce solo una "fotografia" dell'esistente e non effettua alcuna elaborazione dei dati ai fini dello stoccaggio definitivo. Tali elaborazioni sono state affidate ad ENEA, mediante un accordo raggiunto con ISPRA nel corso della prima annualità. L'ENEA ha elaborato i dati sui rifiuti radioattivi sulla base di ipotesi di condizionamento, laddove non già condizionati, al fine di pervenire all'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi condizionati. Inoltre l'ENEA ha fatto una stima dei rifiuti di futura produzione da smantellamento degli impianti dismessi, basandosi sia su informazioni provenienti dagli esercenti sia su stime fatte in proprio. L'attività è proseguita nella seconda annualità con la messa a punto di un sistema informativo di gestione del data base e attualmente va avanti a regime con l'aggiornamento dei dati e l'ottimizzazione del sistema informativo denominato DBRR-SIAP. Si è iniziato ad interagire con la SOGIN per ottenere informazioni aggiornate sul programma di ge-



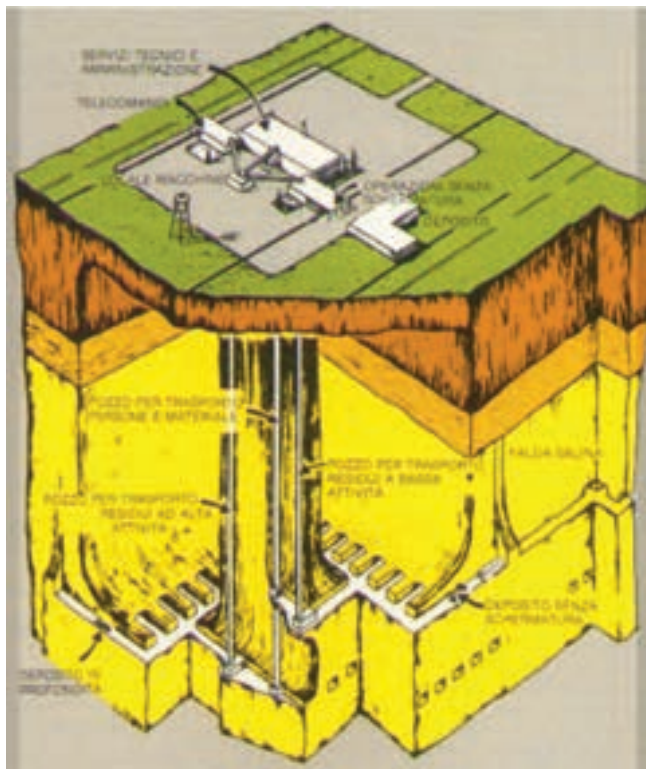
Principali siti nucleari italiani



Strumento portatile per misura gamma



Schema di Deposito Superficiale



*Schema di Deposito Geologico*

stione dei rifiuti radioattivi, evitando sovrapposizione di ruoli. La valutazione critica delle informazioni ricavate dall'inventario consente di individuare carenze, soprattutto in termini di caratterizzazione, e fornisce spunti per studi e programmi di R&S sul tema dei rifiuti radioattivi.

### **Caratterizzazione dei rifiuti da conferire al deposito**

Nel corso delle prime due annualità l'ENEA ha provveduto all'elaborazione di procedure per la caratterizzazione radiologica e chimico-fisica dei rifiuti radioattivi e di criteri di massima per l'accettabilità al deposito, e alla definizione dell'insieme integrato di infrastrutture, tecnologie e servizi necessari per la caratterizzazione di rifiuti radioattivi, ai fini del conferimento al deposito. È stata effettuata la progettazione preliminare dei laboratori di misure distruttive e non-distruttive e del laboratorio di qualificazione e certificazione di matrici di condizionamento. È stato inoltre sviluppato un progetto particolareggiato di prototipo di sistema integrato di caratterizzazione radiologica non distruttiva, basato su tecniche di interrogazione neutronica attiva tramite fissione indotta, interrogazione gamma attiva tramite fotofissione e tomografia gamma, che si propone come sistema innovativo con limiti di rivelazione particolarmente bassi, utili per la corretta discriminazione dei rifiuti di II e III Categoria.

Con la terza annualità è stato avviato lo studio di alcuni temi specifici e poco esplorati: caratterizzazione radio-

logica di rifiuti contenenti radionuclidi di difficile rilevabilità (HTMR: Hard To Measure Radionuclides; es.  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ , ecc.) con la metodologia degli "scaling factor"; studio di rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali a  $^3\text{He}$  (le alternative in pratica sono i rivelatori basati sul boro, che però hanno dei limiti di efficienza che dovranno essere migliorati). Infine è stato testato sperimentalmente un sistema per la localizzazione del materiale fissile all'interno delle matrici di contenimento tramite misure neutroniche passive.

### **Analisi propedeutiche alla progettazione e realizzazione del deposito**

Nella prima annualità sono stati individuati i requisiti minimi del sito e analizzate le azioni propedeutiche alla progettazione del deposito, del quale sono stati individuati, in via preliminare, i criteri di progetto derivati dai requisiti di sicurezza stabiliti dalla IAEA. Sono stati anche identificati gli studi ancora da effettuare relativi a scenari, analisi territoriali, performance assessment, sicurezza, quadro normativo e di radioprotezione, migrazione dei nuclidi, implicazioni territoriali ed ambientali ecc.

Sono anche stati studiati in via preliminare i seguenti temi:

- **Trasporto:** è stato effettuato uno studio relativo alle problematiche inerenti il trasporto dei rifiuti condizionati dai siti di produzione al deposito nazionale, e identificate le soluzioni tecniche più idonee.
- **Linee guida per la security:** sulla base dell'esperienza di organismi internazionali qualificati (IAEA, OECD-NEA, UE) sono state identificate le problematiche di security correlate con il deposito dei rifiuti radioattivi e le relative soluzioni tecniche e procedurali.
- **Linee guida per comunicazione, informazione e formazione:** sulla base dell'esperienza internazionale, sono state proposte le linee guida per la definizione di un piano di azioni per informare, coinvolgere ed ottenere il consenso del pubblico.

Le attività del secondo anno sono state finalizzate alla formazione delle competenze necessarie per l'analisi di sicurezza e per i calcoli di performance assessment, mediante acquisizione o sviluppo dei relativi strumenti computazionali. Si sono anche avviati studi relativi alla caratterizzazione geologico ambientale dei siti, che spesso appare poco esaustiva e soggetta a critiche. Sono stati analizzati i principali aspetti geologici, territoriali, ambientali e antropici che possono influire direttamente e indirettamente sulla scelta di un sito per l'ubicazione di un deposito di rifiuti radioattivi a bassa attività.

### **Caratterizzazione dei siti, performance assessment e fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati ad un deposito superficiale**

Per quanto riguarda la sicurezza dei depositi sono in corso attività di R&S relative ai fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati a un deposito di smaltimento superficiale. In particolare è stato finalizzato il lavoro di modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito superficiale con lo sviluppo di una metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso. In parallelo è proseguito lo sviluppo di competenze su strumenti computazionali deterministici (es. codice AMBER) per le procedure di analisi di sicurezza e “performance assessment” del deposito.

Sono poi state avviate attività di R&S mirate a individuare e studiare le metodologie e le tecniche più adeguate per la caratterizzazione e per il monitoraggio ambientale dei siti durante la fase di sorveglianza istituzionale del deposito. In particolare, si è posta l'attenzione su quei radionuclidi la cui mobilità impone un'analisi approfondita, sebbene presenti nel rifiuto condizionato in minore quantità (ad es. <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>H, <sup>129</sup>I, gas nobili, ecc.), e li rende adatti come radionuclidi di riferimento per il monitoraggio per la tempestiva segnalazione del cedimento delle barriere.

### **Smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita**

Sebbene lo smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi ad alta attività e a lunga vita non rientrasse inizialmente nell'oggetto della presente linea progettuale, fin dalla prima annualità si ritenne utile riassumere anche le attività svolte dall'ENEA in tale ambito, tra il 1976 ed il 1991. Successivamente è stato ritenuto opportuno che il nostro Paese tornasse ad occuparsi di tale tematica, in modo da poter sviluppare le competenze a supporto delle future decisioni in merito alla gestione di tali rifiuti. Si è quindi cominciato a partecipare attivamente alle principali iniziative in corso a livello europeo ed internazionale. L'ENEA e il CIRTEN hanno aderito alla IGD-TP (Implementing Geological Disposal Technology Platform) partecipando ai lavori per la definizione della relativa SRA (Strategic Research Agenda), documento di grande rilevanza in quanto individua i temi di R&S in cui si devono ancora conseguire importanti progressi scientifici e tecnologici per raggiungere l'obiettivo comune, ovvero la realizzazione del primo deposito

geologico europeo. Sempre in tema di smaltimento geologico l'ENEA partecipa, fin dalla sua fondazione nel 2002, alla associazione ARIUS, che ha come obiettivo quello di rendere possibile la realizzazione e l'esercizio di un deposito geologico multinazionale; da ARIUS è nato nel 2009 il gruppo di lavoro ERDO-WG, le cui attività hanno prodotto un modello di struttura per un'organizzazione ERDO (European Repository Development Organisation) compresa la bozza di Statuto, le linee guida operative ed un business plan a 5 anni. Altre partecipazioni a eventi e gruppi di lavoro organizzati da IAEA e NEA permettono di consolidare le competenze sul tema.

### **Tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi**

Con la terza annualità sono stati avviati studi relativi a tecniche innovative per il trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi, con particolare riferimento ai rifiuti attesi dai cicli del combustibile per i reattori di generazione III+ e IV (LFR/SFR). È stato approfondito lo studio di processi di separazione pirometallurgica lantanidi/attinidi, mediante prove a “freddo” di elettrorefinazione in sali fusi (impianto Pyrel II). In parallelo è stato progettato e avviata la realizzazione di un impianto per prove di elettrorefinazione con uranio depleto. È iniziato anche lo sviluppo di matrici di condizionamento per i rifiuti radioattivi provenienti dai detti processi; per le matrici vetrose/vetroceramiche si è proceduto anche alla individuazione delle fasi minerali derivanti dai processi di contenimento mediante analisi ai raggi X, spettrofotometria IR, e SEM-EDS.



*Impianto pilota Pyrel II (glove-box)*

**Area di ricerca:** Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale  
**Progetto 1.3, linea progettuale 4:** Rifiuti radioattivi

**Referente:** P. Meloni, [paride.meloni@enea.it](mailto:paride.meloni@enea.it)

A. Luce, [alfredo.luce@enea.it](mailto:alfredo.luce@enea.it)