

Classificazione e tecniche procedurali per la gestione dei rifiuti radioattivi

di **Elisabetta Bemporad, Mario Mariani e Carmine Zicari**

ISPESL - Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro - DIPIA

ISPESL

L'Italia, con il referendum abrogativo sul nucleare del 1987, ha bandito l'utilizzo del nucleare per la sperimentazione e la produzione di energia elettrica. Tuttavia, ancora oggi, i rifiuti radioattivi provenienti dalle ex centrali nucleari sono custoditi in diversi siti italiani in condizione non di massima sicurezza. Inoltre, resta ancora aperto il problema del decommissioning ovvero lo smantellamento, la rimozione e la decontaminazione di strutture e componenti degli ex impianti nucleari di potenza di Trino Vercellese (Vercelli), di Caorso (Piacenza), di Latina, del Garigliano (Caserta), e degli impianti del ciclo del combustibile di Saluggia (Vercelli), di Bosco Marengo (Alessandria), in Casaccia (Roma) e in Trisaia - Rotondella (Matera).

È ovvio che la presenza di materiale radioattivo nei siti di stoccaggio determina un grave problema di sicurezza ambientale, soprattutto se si tiene conto che questi siti si trovano spesso nelle vicinanze di paesi e di città densamente popolati. È stimato che i rifiuti radioattivi italiani ammontino complessivamente a circa 80.000 m³ e per essi si stanno studiando soluzioni di stoccaggio tali da garantire una maggiore sicurezza.

A questo riguardo, con l'emanazione della legge 24 dicembre 2003, n. 368, è sembrata avvicinarsi una soluzione che prevedeva possibili siti di stoccaggio di scorie radioattive nelle regioni Sardegna, Toscana, Puglia e Basilicata, ma, a seguito dei fatti accaduti nel novembre 2003 a Scanzano Ionico (Basilicata), è subentrata l'idea di creare un unico sito italiano come discarica delle scorie radioattive.

Osservatorio a cura dell'Ufficio Relazioni con il Pubblico

Sono definiti rifiuti radioattivi quei materiali di scarto che contengono o sono contaminati da radionuclidi e la cui concentrazione o attività specifica è maggiore di un valore di soglia individuato dalle normative nazionali. In ambito internazionale, il rifiuto radioattivo è un «qualsiasi materiale che contiene o è contaminato da radionuclidi a concentrazioni o livelli di radioattività superiori alle "quantità esenti" stabilite dalle Autorità Competenti, e per i quali non è previsto alcun uso». Secondo la definizione fornita dall'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (IAEA- International Atomic Energy Agency) il rifiuto radioattivo è un «materiale radioattivo in forma solida, liquida o gassosa per il quale non è previsto alcun ulteriore uso e che è tenuto sotto controllo come rifiuto radioattivo dall'Organismo Nazionale a ciò preposto secondo le norme e le leggi nazionali»^[1]. Invece, per quanto riguarda la nor-

mativa italiana, il rifiuto radioattivo è «qualsiasi materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non è previsto il riciclo o la riutilizzazione», di cui al D.Lgs. 17 marzo 1995, n. 230, e al D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241.

Tutte le normative di sicurezza nucleare hanno lo scopo di minimizzare il più possibile i rischi connessi con l'uso di materiali radioattivi o con l'esposizione alle radiazioni, tenendo anche conto dei vantaggi che possono derivare alla società. I criteri generali comuni a tutte le regolamentazioni internazionali in materia di rifiuti radioattivi^[2] sono:

- l'ottimizzazione delle dosi individuali e collettive (secondo il criterio ALARA) e la preservazione della qualità dell'ambiente;
- l'adozione di adeguati provvedimenti atti a ridurre il volume dei rifiuti radioattivi e a fissare,

ove necessario, i radionuclidi mediante condizionamento del rifiuto in matrice inerte (manufatti).

Modalità di classificazione

I rifiuti radioattivi sono classificati in base alla loro attività e al loro tempo di dimezzamento. Allo stato attuale non esiste una classificazione armonizzata a livello europeo. L'IAEA^[3] classifica i rifiuti radioattivi in:

- rifiuti a bassa attività (LLW, *low level waste*) il loro livello di radioattività è al di sopra dei limiti che permetterebbero loro di essere smaltiti come rifiuti convenzionali;
- rifiuti ad attività intermedia (ILW, *intermediate level waste*) - il loro livello di radioattività supera il limite stabilito per le scorie di basso livello e richiedono la schermatura nelle manipolazioni o un adeguato contenitore di stoccaggio. Per questi rifiuti non è necessario prendere in considerazione

[1] Per maggiori informazioni, si veda Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, First Italian National Report, aprile 2006.

[2] Per un approfondimento sulla materia, si veda, a cura di ICRP, Radiation protection principles for the disposal of solid radioactive waste, Annals of the ICRP, ICRP Publication n. 46, 15, 4, 1986, Oxford Pergamon Press.

[3] Si veda, per maggiori informazioni sull'argomento, Classification of radioactive waste; A safety guide Safety Series 111-G-1.1, 1994, Vienna, IAEA.

TABELLA 1

Confronto fra le categorie della Guida Tecnica n. 26 e la classificazione IAEA

Categorie	Caratteristiche	Confronto con GT26	Tipo di gestione suggerito
VLLW	Rifiuti che decadono in pochi mesi (massimo alcuni anni) a livelli inferiori ai limiti stabiliti per il rilascio incondizionato	I	Stoccaggio temporaneo e smaltimento come rifiuti convenzionali
LILW-SL	Rifiuti a bassa e media attività con limitato contenuto di α radionuclidi α -emittenti	II	Condizionamento e smaltimento in un sito ingegneristico in superficie
LILW-LL	Rifiuti a bassa e media attività che eccedono il limite di 4000 Bq/g per α -emittenti	III	Condizionamento in matrice cementizia e smaltimento in depositi di media profondità (>100m)
HLW	Rifiuti che eccedono il limite di 4000 Bq/g per α -emittenti e presentano una significativa produzione di calore (>100 W/m ²)	III	Condizionamento in matrice vetrosa e smaltimento in formazione geologica profonda (100-800 m) dopo un periodo di 30-50 anni in adeguate strutture ingegneristiche

Legenda:VLLW - *Very Low Level Waste*LILW-SL - *Low and Intermediate Level Waste - Short Lived*LILW-LL - *Low and Intermediate Level Waste - Long Lived*HLW - *High Level Waste***Fonte:** *Classification of radioactive waste; A safety guide Safety Series 111-G-1.1, IAEA, e Guida Tecnica n. 26, Gestione dei rifiuti radioattivi, Sicurezza e Protezione.*

ne il calore di decadimento nella progettazione delle strutture di contenimento e di smaltimento;

- rifiuti ad alta attività (HLW, *high level waste*) - il loro elevato livello di radioattività richiede la protezione del personale, la schermatura, la remotizzazione delle operazioni e la considerazione degli effetti termici, dovuti alla interazione delle radiazioni con la materia, nella progettazione delle strutture di stoccaggio e di smaltimento. Rifiuti di questo tipo sono i prodotti derivanti dal riprocessamento di combustibile nucleare irraggiato o gli stessi elementi di combustibile irraggiato.

In Italia, la classificazione dei rifiuti è contenuta nella Guida Tecnica n. 26^[4] emanata dall'ENEA-DISP ora APAT (Agenzia Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici). Secondo questo documento i rifiuti sono classificati in tre categorie, ciascuna delle quali prevede una diversa modalità di gestione e di smaltimento:

- **prima categoria:** «vi appartengono i rifiuti radioattivi che richiedono tempi di decadimento dell'ordine di mesi, sino ad un tempo massimo di alcuni anni»;
- **seconda categoria:** «vi appartengono i ri-

fiuti che richiedono tempi di decadimento variabili da qualche decina fino ad alcune centinaia di anni per raggiungere concentrazioni di radioattività dell'ordine di alcune centinaia di Bq/g». Sono previste 2 sottocategorie:

- «*rifiuti solidi la cui attività è al di sotto dei limiti stabiliti che possono essere smaltiti senza ulteriori trattamenti*»;

- «*rifiuti la cui attività è superiore ai limiti stabiliti e che devono essere condizionati al fine di raggiungere determinati requisiti meccanici, chimici e fisici per poter essere smaltiti sulla terraferma*»;

- **terza categoria:** «vi appartengono tutti i rifiuti che non sono riconducibili alle due categorie precedenti. In particolare i rifiuti radioattivi di detta categoria richiedono tempi di decadimento dell'ordine di migliaia di anni ed oltre».

Nella *tabella 1* è riportato il confronto fra le categorie della Guida Tecnica n. 26 e la classificazione IAEA.

Origine dei rifiuti radioattivi

Tutte le attività industriali in cui sono utilizzati o manipolati materiali radioattivi generano ri-

fiuti radioattivi. Fra queste attività, le più significative sono:

- il ciclo del combustibile;
- la produzione e l'uso di radioisotopi (medicina, industria ecc.);
- le decontaminazioni;
- la disattivazione degli impianti nucleari.

Un consistente contributo alla radioattività totale è dovuto ai rifiuti provenienti dalla disattivazione delle installazioni nucleari.

Un'attenzione particolare deve essere rivolta a quei materiali a elevato contenuto di radioattività naturale utilizzati nell'industria:

- i NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*);
- i TENORM (*Technological Enhanced Natural Occurring Radioactive Materials*).

i materiali NORM contengono radionuclidi naturali in concentrazioni superiori alla media della crosta terrestre. I materiali TENORM, a causa delle manipolazioni tecnologiche dell'uomo, presentano una tipologia di radioattività diversa da quella originaria^[5]. La normativa italiana relativa alla protezione dalle radiazioni

[4] Per un approfondimento, si veda, a cura di (ENEA-DISP) ANPA, Guida Tecnica n. 26, Gestione dei rifiuti radioattivi, Sicurezza e Protezione, n. 14, 1987;

[5] Per maggiori informazioni, si veda, di Mehdi Sohrabi, The State-of-the-art on Worldwide Studies in some Environments with Elevated Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM), Applied Radiation and Isotopes, vol. 49, n. 3, pagg. 169-188, 1998.

ionizzanti prevede, per le attività lavorative che implicano l'impiego o la produzione di NORM, una serie di controlli dell'esposizione. In particolare, il D.Lgs. n. 241/2000 individua le seguenti attività lavorative (Allegato I-bis):

- l'industria che utilizza minerali fosfatici e i depositi per il commercio all'ingrosso dei fertilizzanti;
- la lavorazione di minerali nella estrazione di stagno, di ferro-niobio da pirocloro e di alluminio da bauxite;
- la lavorazione di sabbie zirconifere e la produzione di materiali refrattari;
- la lavorazione di terre rare;
- la lavorazione e l'impiego di composti del torio (elettrodi per saldatura, produzione di lenti, reticelle per lampade a gas);
- l'estrazione e la raffinazione di petrolio e l'estrazione di gas.

I minerali fosfatici sono utilizzati da industrie che producono acido fosforico e fertilizzanti. In questo tipo di attività industriale l'ingestione rappresenta il contributo principale alla dose totale e i radionuclidi più rilevanti sono il ^{210}Pb e il ^{210}Po (si veda il *diagramma 1*).

Le sorgenti di radiazione utilizzate in ambito sanitario (terapia e diagnostica medica) sono svariate. Un breve elenco delle principali attività è riportato di seguito:

- radiologia;
- radioterapia;
- radioterapia con sorgenti per brachiterapia;
- medicina nucleare;
- laboratori RIA (*Radio Immuno Assay*).

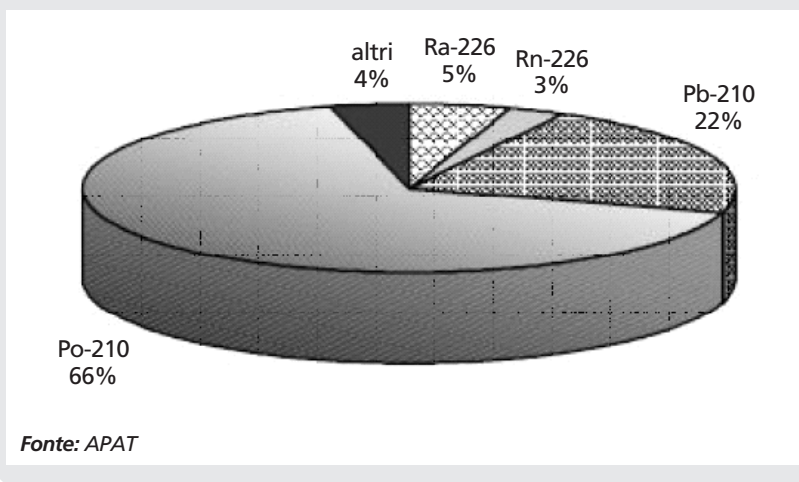
L'impiego di sostanze radioattive nelle attività sanitarie quali le determinazioni *in vitro*, esami metabolici in vivo e la terapia metabolica, conduce inevitabilmente alla produzione di rifiuti radioattivi di vario tipo. Per lo smaltimento di questi rifiuti, nella maggioranza dei casi a bassa attività, a breve tempo di dimezzamento e che non comportano particolari problemi di messa in sicurezza, le aziende ospedaliere si rivolgono a ditte esterne autorizzate, che eseguono il prelievo, il trasporto, lo stoccaggio per un adeguato decadimento in vista dello smaltimento finale.

Quadro normativo

In Italia tutte le attività che prevedono l'impiego, la manipolazione, la detenzione di sostanze radioattive e la gestione dei rifiuti radioattivi sono

Contributi all'esposizione dei vari radionuclidi nell'industria di acido fosforico e di fertilizzanti

Diagramma 1



regolate dal D.Lgs. n. 230/1995.

Il Capo VI è specificamente dedicato alla gestione dei rifiuti radioattivi, mentre il Capo VII regola le fasi della gestione che si svolgono negli impianti di cui al Capo medesimo.

In attuazione della direttiva EURATOM 96/29, il D.Lgs. n. 230/1995 è stato integrato e modificato dal D.Lgs. n. 241/2000.

Da circa due anni il tema del nucleare è ritornato in ambito UNI presso la Commissione Energia Nucleare. Quest'ultima ha pubblicato una serie di importanti norme riguardanti la gestione dei rifiuti radioattivi a vita breve e media derivanti dall'uso dell'energia nucleare (si veda la *tabella 2*).

Gestione dei rifiuti radioattivi

La gestione dei rifiuti radioattivi comprende tutte le attività amministrative e operative che riguardano la manipolazione, la raccolta, il trattamento, il condizionamento, il trasporto, lo stoccaggio e lo smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi stessi. I principi fondamentali che sono alla base della gestione dei rifiuti radioattivi sono^[6] quelli individuati dal D.Lgs. n. 230/1995 e dal D.Lgs. n. 241/2000; quindi, i rifiuti radioattivi:

- devono essere gestiti in maniera tale da garan-

tire un adeguato livello di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente;

- devono essere gestiti in maniera tale da tener conto dei possibili effetti sulla salute dell'uomo e sull'ambiente al di fuori dei confini nazionali;
 - devono essere gestiti in maniera tale che i prevedibili impatti sulla salute delle future generazioni non siano superiori ai livelli di impatto oggi ritenuti accettabili e che comunque non impongano carichi indebiti alle future generazioni;
 - devono essere gestiti secondo una adeguata legislazione nazionale che includa una chiara ripartizione delle responsabilità e che preveda un organismo regolatorio indipendente;
 - la produzione dei rifiuti radioattivi deve essere limitata al minimo possibile tenendo in debito conto l'interdipendenza tra tutte le fasi della generazione e della gestione dei rifiuti;
 - la sicurezza degli impianti e delle infrastrutture dove si effettua la gestione dei rifiuti radioattivi deve essere assicurata durante tutto il loro periodo di vita previsto.
- I rifiuti radioattivi, qualora rispettino le seguenti condizioni:
- tempo di dimezzamento < 75 giorni;

[6] Si veda la nota 1.

• concentrazione di radionuclidi ≤ 1 Bq/g; possono essere smaltiti nell'ambiente, conferiti a terzi e riciclati o riutilizzati, come rifiuti speciali. È prevista, tuttavia, una valutazione dell'esposizione e della dose efficace individuale e collettiva prima dello smaltimento definitivo, nel rispetto dei seguenti criteri:

- dose efficace individuale ≤ 10 μ Sv/anno;
- dose efficace collettiva ≤ 1 μ Sv x persona/anno.

È opportuno mettere in evidenza che il limite relativo alla dose efficace individuale è più restrittivo di quello assunto per la realizzazione e la gestione dei depositi definitivi a bassa e a media attività in ambito internazionale.

Nello *schema 1*^[7] sono schematicamente riportati i principali passi procedurali, con i relativi richiami normativi e tecnici, da seguire nella gestione dei rifiuti radioattivi.

Procedure tecniche per la gestione dei rifiuti radioattivi

Trattamento

In questa fase della gestione, utilizzando appropriati processi fisici e/o chimici, si perseguono i seguenti obiettivi:

- la riduzione di volume;
- la predisposizione alla successiva fase di "condizionamento".

Condizionamento

Questa fase della gestione persegue l'obiettivo di immobilizzare, all'interno di un idoneo contenitore, il rifiuto radioattivo inglobandolo in una

matrice solida stabile, avente resistenza fisica, chimica e meccanica tale da ottenere una forma finale idonea allo smaltimento definitivo.

Stoccaggio temporaneo

L'obiettivo principale di questa fase gestionale è quello di conservare in sicurezza, per alcune decine di anni, i rifiuti radioattivi condizionati in modo da permetterne il successivo smaltimento definitivo.

Smaltimento definitivo

È l'ultima fase della gestione dei rifiuti radioattivi e si prefigge di:

- collocare in maniera definitiva, in apposita struttura, i rifiuti radioattivi condizionati con l'intenzione di non recuperarli;
- proteggere l'uomo e l'ambiente fino a quando la radioattività residua, per effetto del decadimento, non raggiunga valori paragonabili a quelli naturali;
- non permettere che la dose annua alla popolazione superi una frazione del valore di dose massima annua per le persone del pubblico così come definita dalla normativa vigente.

I rifiuti di seconda categoria, poiché necessitano di alcune centinaia di anni per raggiungere livelli di radioattività paragonabili al fondo naturale, vengono smaltiti in depositi superficiali o a bassa profondità. I rifiuti di terza categoria necessitano di centinaia di migliaia di anni per raggiungere livelli di radioattività paragonabili al fondo naturale e, pertanto, vengono smaltiti in formazioni geologiche a grande profondità.

Materiale radioattivo attualmente presente in Italia

Il decreto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato 7 maggio 2001^[8] fornisce direttive alla SOGIN per l'implementazione di un programma di *decommissioning* dei siti nucleari, in vista della bonifica incondizionata dei siti stessi, entro 20 anni. Nel 2003, nell'ambito di una politica di antiterrorismo di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14 febbraio 2003^[9], sono stati emessi diversi provvedimenti relativi alla messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi e del combustibile nucleare esaurito. Secondo i dati forniti dalla SOGIN, in Italia ci sono più di 60.000 m³ di rifiuti radioattivi di seconda e terza categoria, ai quali vanno aggiunte 298,5 tonnellate di combustibile irraggiato e altri 2.000 m³ di rifiuti radioattivi, soprattutto di origine medica e sanitaria. È bene ricordare che gli ospedali e le aziende sanitarie producono ogni anno circa 500 tonnellate di nuove scorie radioattive.

Lo smaltimento dei rifiuti a bassa radioattività (o a vita breve)

Quando i rifiuti condizionati vengono depositati in un sistema di smaltimento definitivo, il loro isolamento dalla biosfera deve essere assicurato per tutto il periodo in cui dura la loro pericolosità. Questo isolamento viene realizzato tramite barriere di contenimento poste in serie, la cui funzione è di impedire la diffusione degli isotopi radioattivi verso l'esterno del deposito. Quindi, la sicurezza

Norme UNI sui rifiuti radiotattivi

TABELLA 2

UNI 11193:2006	«Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Metodi di prova per la qualificazione dei processi di condizionamento per manufatti appartenenti alla Categoria 2»
UNI 11194:2006	«Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Caratterizzazione radiologica di manufatti appartenenti alla Categoria 2 ai fini del conferimento al deposito finale»
UNI 11195:2006	«Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Sistema informativo per la gestione di un deposito di tipo superficiale per manufatti appartenenti alla Categoria 2»
UNI 11196:2006	«Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Contenitori per il deposito finale di manufatti appartenenti alla Categoria 2»
UNI 11197:2006	«Manufatti di rifiuti radioattivi condizionati - Modalità di identificazione e di rintracciabilità dell'informazione per manufatti appartenenti alla Categoria 2»

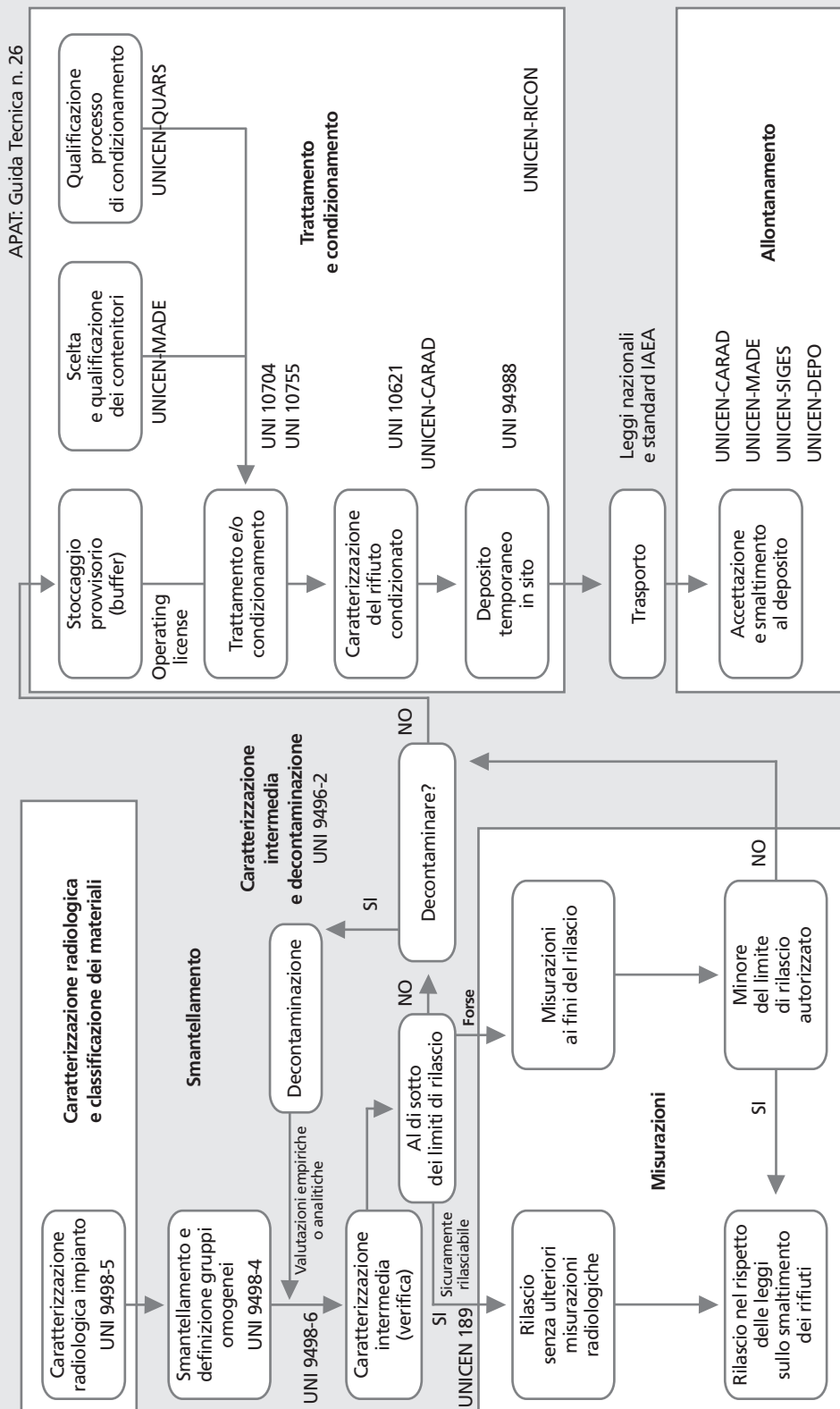
[7] *Sul tema si veda, di Giuseppe Bolla, Smantellamento degli impianti nucleari e gestione dei rifiuti radioattivi, negli atti del convegno L'Energia per il futuro: Nucleare e Fonti Rinnovabili, 7-8 novembre 2006.*

[8] «Indirizzi strategici ed operativi alla Sogin - Società gestione impianti nucleari S.p.a., ai sensi dell'art. 14, comma 4 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79, di liberalizzazione del mercato elettrico», in *Gazzetta Ufficiale del 28 maggio 2001, n. 122.*

[9] «Dichiarazione dello stato di emergenza in relazione all'attività di smaltimento dei rifiuti radioattivi dislocati nelle regioni Lazio, Campania, Emilia-Romagna, Basilicata e Piemonte, in condizioni di massima sicurezza», in *Gazzetta Ufficiale del 12 marzo 2003, n. 59.*

Procedura di gestione dei rifiuti radioattivi

Schema 1



Fonte: Giuseppe Bolla, Smantellamento degli impianti nucleari e gestione dei rifiuti radioattivi

del deposito, sia nel breve sia nel lungo periodo, si basa sull'affidabilità di queste barriere, la cui natura dipende dalla severità del contenimento richiesto e da quanto a lungo dovrà essere garantito. Nel caso di rifiuti a bassa attività, che costituiscono circa il 95% dell'intera produzione, l'isolamento deve essere garantito al massimo per qualche secolo (trecento anni è il tempo che determina un abbattimento dei livelli di radiazione di circa mille volte dei radionuclidi a vita più lunga come il ^{137}Cs o lo ^{90}Sr). Questo è un periodo di tempo durante il quale le barriere artificiali (trincee, silos, tumuli) conservano la loro efficacia protettiva. L'efficienza delle barriere e dell'isolamento sono continuamente controllati da sistemi e da reti di monitoraggio ambientali, estesi al deposito e alle aree circostanti, e attivi per tutto il periodo di controllo istituzionale, al termine del quale il sito viene rilasciato senza restrizioni. Esistono casi in cui il sito ha caratteristiche tali da non richiedere barriere artificiali di contenimento particolarmente severe, com'è il caso dei siti desertici, caratterizzati da una quasi completa assenza di precipitazioni e di falde significative. Centri di deposito definitivo per rifiuti a bassa attività sono in funzione o in progetto in tutti i paesi che detengono rifiuti radioattivi di questo tipo. I più moderni e avanzati si trovano in Francia, Spagna, Svezia, Giappone, Regno Unito e USA. Importanti progetti sono in stato di avanzato sviluppo in Germania, in Svizzera e in alcuni paesi dell'Est europeo. Oltre 100 depositi sono stati o sono operativi nei Paesi membri della IAEA e circa 50 sono in fase di progetto più o meno avanzato. La maggior parte dei depositi realizzati nel mondo sono del tipo superficiale (*near surface*) caratterizzati da strutture di isolamento semplici. Depositati non superficiali per rifiuti a bassa attività sono realizzati o previsti in cavità artificiali (depositi scandinavi) o in miniere dismesse (soluzione proposta in Germania). In alcuni paesi sono presi in considerazione depositi geologici anche per i rifiuti a bassa attività unitamente a quelli ad alta attività.

Lo smaltimento dei rifiuti ad alta attività (o a vita lunga)

Per i rifiuti ad alta attività, che mantengono livelli elevati di radiazione incompatibili con l'ambiente per migliaia o decine di migliaia di anni, il loro isolamento si potrebbe realizzare condizionan-

doli dapprima in matrici solide di grande durabilità, come quelle vetrose, e depositandoli successivamente come manufatti in formazioni geologiche profonde (centinaia o migliaia di metri) che assicurano l'isolamento dei radionuclidi dalla biosfera per periodi dell'ordine di milioni di anni. Questi sono, per esempio, le formazioni saline e quelle argillose. I depositi in profondità sono ancora nella fase di studio o di realizzazione pilota nei casi più avanzati. Laboratori sperimentali sotterranei sono in costruzione o in esercizio in Francia, Germania, Svezia. Il primo deposito commerciale potrebbe essere operativo in Europa, secondo le attuali previsioni, verso il 2030. In USA, è in esercizio dal maggio 1999 il WIPP (*Waste Isolation Pilot Plant*), un impianto pilota per lo smaltimento dei rifiuti a vita lunga plutoniferi prodotti nei centri del governo federale (i cosiddetti *defense wastes*). In attesa di disporre di un sito di smaltimento geologico, i rifiuti radioattivi a vita lunga condizionati vengono conservati in sistemi impiantistici adatti allo stoccaggio per periodi dell'ordine di qualche decennio e oltre.

È inevitabile che le recenti problematiche sollevate sullo smaltimento geologico, tutte derivanti non da obiettive difficoltà tecniche ma da problemi di consenso pubblico, sono destinate a rendere sempre più laboriosa e complessa la soluzione del problema. Inoltre, deve essere segnalato che acquista sempre più credibilità, almeno a livello scientifico e radioprotezionistico, il ricorso a un deposito geologico internazionale, destinato ad accogliere i rifiuti a vita lunga di diversi paesi, se non di tutti, e localizzato in una delle aree più remote del pianeta, quindi, in condizioni di massima sicurezza e di minimo impatto ambientale. È attivo, in questo senso, il progetto Pangea, finanziato da enti internazionali, che ha individuato e proposto un sito in un'area remota dell'Australia, il quale sta valutando, inoltre, siti alternativi in Sud America e in Asia.

Tecnologie sperimentali e progetti alternativi per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi

Il problema dello smaltimento dei rifiuti radioattivi ha portato i diversi Stati ad adottare differenti soluzioni. Alcune soluzioni sono rese impossibili da motivazioni politico-ambientali, come depositare le scorie nei ghiacci polari dell'Antartico o seppellirle nella crosta terrestre a un livello sufficientemente profondo.

In tutto il mondo si stanno studiando tecnologie alternative per lo smaltimento dei rifiuti radioat-

tivi quali la trasmutazione nucleare basata sull'impiego di *Nuclear Transmuters* (reattori dedicati alla trasmutazione) e di *Accelerator Driver Systems for Transmutation* (acceleratori accoppiati a reattori per la trasmutazione o ADS).

Entrambe le tecnologie hanno lo scopo di accorciare l'emivita delle scorie, permettendo al contempo un recupero energetico. L'Italia è coinvolta in alcuni di questi progetti:

- il Sole come discarica per le scorie nucleari;
- il batterio *geobacter sulfurreducens* in grado di metabolizzare i metalli radioattivi come l'uranio.

Conclusioni

L'energia nucleare fornisce circa un terzo dell'elettricità consumata nella UE e, durante la sua produzione, non c'è generazione di gas serra come la CO_2 . Questo rappresenta un importante elemento nel dibattito socio-politico per combattere uno dei problemi ambientali più grandi legati ai mutamenti climatici del nostro pianeta da emissione di gas a effetto serra.

La più moderna e avanzata tecnologia nucleare europea è in grado di offrire significativi miglioramenti nell'efficienza e nell'uso delle risorse e, allo stesso tempo, di assicurare i più elevati standard di sicurezza e di produrre minime quantità di rifiuti radioattivi.

Il problema principale riguarda quei rifiuti che non possono essere direttamente conferiti in discarica per i quali è necessario assicurare il contenimento e l'isolamento dall'ambiente idrico e biologico evitando, in tal modo, il ritorno all'uomo e all'ambiente. Questo obiettivo è raggiungibile, comunque, per i rifiuti che contengono radionuclidi con tempi di dimezzamento tali da ridursi ad attività trascurabili in qualche decennio o in un secolo. Nel caso di radionuclidi con tempi di dimezzamento secolare o millenario deve essere assicurato l'isolamento per tempi lunghissimi a tutela delle future generazioni.

È importante, dunque, stabilire delle solide basi tecnico-scientifiche per lo sviluppo e il miglioramento della gestione della sicurezza dei rifiuti radioattivi a lunga vita tale da essere socialmente accettabile.

L'impegno comune della UE è quello di promuovere studi, ricerche e sviluppo di tecnologie innovative (come la trasmutazione nucleare) sul trattamento e sul condizionamento dei rifiuti radioattivi, ovvero di consentire l'isolamento e il confinamento, anche per millenni, in un unico sito geologico di stoccaggio. ●