

Sicurezza ambientale

Articolo di giornale

Articolo *“Rifiuti radioattivi: il deposito nazionale che ancora non c’è”* di Davide Michielin, pubblicato il 13/06/2019 su *Le Scienze*.

L’articolo parte dall’Inventario nazionale dei rifiuti radioattivi per spiegare un aspetto fondamentale della sicurezza ambientale: i materiali radioattivi presentano caratteristiche diverse e richiedono quindi modalità di gestione specifiche. I rifiuti vengono classificati considerando soprattutto la loro attività e il tempo necessario affinché la radioattività diminuisca. L’articolo distingue cinque categorie: rifiuti a vita media molto breve, ad attività molto bassa, bassa, media e alta.

Un elemento interessante riguarda anche la loro provenienza. In Italia i rifiuti radioattivi non derivano soltanto dalle vecchie centrali nucleari: una parte significativa viene prodotta continuamente dalle attività mediche, industriali e di ricerca. Nel caso di alcuni radionuclidi utilizzati in medicina, il decadimento è così rapido che dopo un periodo relativamente breve i materiali possono perdere le caratteristiche radiologiche che ne richiedevano una gestione speciale. Altri rifiuti mantengono invece livelli di radioattività significativi per periodi più lunghi e vengono gestiti attraverso sistemi progettati per garantirne il confinamento e la protezione dell’ambiente nel tempo.

L’articolo richiama infine la necessità di un **Deposito nazionale**, destinato allo smaltimento dei rifiuti a molto bassa e bassa attività e allo stoccaggio temporaneo di quelli con attività maggiore. La gestione dei rifiuti risponde infatti ad una domanda: **come è possibile garantire la sicurezza delle persone e dell’ambiente quando si produce energia nucleare?**

Introduzione

Proteggere le persone e l’ambiente dalle radiazioni ionizzanti è uno degli obiettivi fondamentali della sicurezza nucleare. Durante il funzionamento di un impianto, le sostanze radioattive vengono mantenute sotto controllo attraverso diverse barriere, mentre gli eventuali effluenti liquidi o gassosi autorizzati sono sottoposti a monitoraggio. Allo stesso tempo, i materiali radioattivi che hanno concluso il loro utilizzo vengono classificati, trattati e conservati secondo procedure adeguate alle loro caratteristiche.

La sicurezza ambientale comprende l’intero rapporto tra l’impianto e il territorio circostante: il controllo dell’aria, dell’acqua e del suolo, la valutazione delle esposizioni, la gestione dei rifiuti e la scelta di soluzioni capaci di garantire il confinamento dei materiali anche nel lungo periodo. Questa scheda approfondisce i principali strumenti utilizzati per raggiungere questi obiettivi.

1. *Il controllo della radioattività nell'ambiente*

Durante il normale funzionamento, i materiali radioattivi presenti in una centrale sono mantenuti confinati attraverso più barriere successive. Il combustibile, le guaine metalliche, il circuito del reattore e l'edificio di contenimento contribuiscono insieme a mantenere i radionuclidi separati dall'ambiente.

Durante l'esercizio dell'impianto possono essere prodotti **effluenti**, cioè correnti liquide o gassose contenenti piccole quantità di sostanze radioattive. Questi materiali vengono trattati e, quando previsto, possono essere rilasciati secondo condizioni autorizzate, entro limiti stabiliti e con specifici sistemi di controllo e monitoraggio.

L'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) prevede infatti che gli impianti che producono effluenti radioattivi durante il normale funzionamento dispongano di procedure di controllo delle emissioni e di programmi di monitoraggio. L'obiettivo è garantire che l'esposizione della popolazione e dell'ambiente rimanga compatibile con i requisiti di radioprotezione e che le emissioni siano mantenute ai livelli più bassi ragionevolmente raggiungibili.

Prima ancora che l'impianto entri in funzione è importante conoscere la **radioattività naturale di fondo** del territorio. Suolo, acqua, aria e organismi viventi contengono infatti naturalmente radionuclidi. Le campagne di misura realizzate prima dell'avvio dell'impianto permettono di costruire una situazione di riferimento con cui confrontare i dati raccolti durante l'esercizio. In questo modo è possibile distinguere più facilmente le variazioni legate alle attività dell'impianto da quelle già presenti naturalmente nell'ambiente.

Il controllo può avvenire su più livelli. In primo luogo, vengono misurati gli effluenti **alla sorgente**, ad esempio nei punti di scarico dei liquidi o nei sistemi di ventilazione attraverso cui viene espulsa l'aria trattata. In questo modo è possibile conoscere quali radionuclidi vengono eventualmente rilasciati e in quali quantità. L'IAEA prevede che il monitoraggio degli scarichi venga effettuato prima della loro dispersione nell'ambiente o direttamente nel punto di rilascio.

A questo controllo si affianca il **monitoraggio ambientale**. A seconda delle caratteristiche del sito possono essere analizzati campioni di aria, acque superficiali e sotterranee, suolo, sedimenti e, quando necessario, prodotti alimentari o altri elementi della catena biologica. Possono inoltre essere installati strumenti e stazioni di misura intorno all'impianto per controllare nel tempo i livelli di radiazione.

L'utilità di questi controlli è duplice. Da una parte permettono di verificare che le emissioni rimangano all'interno delle condizioni autorizzate; dall'altra consentono di individuare rapidamente eventuali variazioni anomale. I dati raccolti permettono di stimare l'esposizione alle radiazioni attraverso diverse quantità misurabili. Una di queste è la dose efficace, grandezza che stima il rischio derivante dall'esposizione alle radiazioni.

Una sostanza radioattiva dispersa nell'ambiente, infatti, può raggiungere l'uomo attraverso percorsi differenti. Un radionuclide presente nell'aria può essere inalato; uno presente nell'acqua può entrare nella catena alimentare; una sostanza depositata nel terreno può essere assorbita dalle piante. Per valutare l'impatto di

un impianto non è quindi sufficiente misurare ciò che esce dalla centrale, ma occorre studiare anche il modo in cui gli eventuali radionuclidi possono muoversi nell'ambiente.

Il principio generale è quello della **radioprotezione**, che combina il rispetto dei limiti previsti con l'ottimizzazione delle esposizioni, mantenendole quanto più basse ragionevolmente possibile. La sicurezza ambientale nasce dall'integrazione tra sistemi di confinamento, trattamento degli effluenti, limiti autorizzativi, misurazioni continue e controlli indipendenti.

2. I rifiuti radioattivi: classificare, trattare e conservare

Con il termine **rifiuto radioattivo** si indica un materiale che non è più destinato a ulteriori utilizzi e contiene elementi radioattivi in quantità tali da richiedere specifiche misure di controllo.

La radioattività, però, non è una proprietà che rimane invariata per sempre. I nuclei radioattivi decadono spontaneamente trasformandosi in altri nuclei e la loro attività diminuisce con il tempo. Ogni radionuclide possiede un proprio **tempo di dimezzamento**, cioè il tempo necessario affinché il numero dei nuclei radioattivi presenti, e quindi la loro attività, si riduca della metà.

Questo concetto è fondamentale nella gestione dei rifiuti. Radionuclidi con tempi di dimezzamento molto diversi richiedono strategie di gestione differenti. Per questo i rifiuti vengono classificati sulla base delle loro caratteristiche radiologiche e associati a specifiche modalità di trattamento, stoccaggio o smaltimento.

In Italia la classificazione prevede cinque categorie: **rifiuti a vita media molto breve, ad attività molto bassa, a bassa attività, a media attività e ad alta attività**. Le categorie tengono conto della concentrazione dei radionuclidi e delle loro caratteristiche di decadimento e sono associate a differenti modalità di gestione.

I rifiuti a vita molto breve possono, ad esempio, essere conservati in sicurezza per il tempo necessario al decadimento della radioattività. È il caso di molti materiali provenienti dalla medicina nucleare: una volta che l'attività è scesa al di sotto dei livelli previsti dalla normativa, possono essere gestiti secondo le regole applicabili ai materiali non più sottoposti a vincoli radiologici.

Per i rifiuti che rimangono radioattivi più a lungo è previsto un percorso articolato in diverse fasi. La prima è la **caratterizzazione**, che permette di conoscere radionuclidi, attività e caratteristiche fisiche e chimiche del materiale e di individuare le modalità di gestione più appropriate. Solo conoscendo precisamente il rifiuto è possibile decidere come trattarlo e dove conservarlo.

Il **trattamento** ha lo scopo di rendere il rifiuto più facilmente gestibile e, quando possibile, di ridurre il volume. Materiali solidi possono essere compattati, alcuni rifiuti combustibili possono essere sottoposti a processi specifici di riduzione del volume, mentre i liquidi possono essere trattati per separare e concentrare i radionuclidi.

Segue generalmente il **condizionamento**, con cui il materiale radioattivo viene immobilizzato in una forma più stabile e inserito in contenitori adatti allo stoccaggio o allo smaltimento. A seconda delle caratteristiche dei rifiuti possono essere utilizzati materiali come cemento o matrici vetrificate. L'articolo di *Le Scienze* ricorda,

ad esempio, che alcuni residui provenienti dal riprocessamento del combustibile nucleare italiano sono stati immobilizzati nel vetro, una soluzione utilizzata per rifiuti caratterizzati da attività elevate.

Una volta condizionato, il rifiuto viene **stoccato** in una struttura progettata per conservarlo in sicurezza. Lo stoccaggio è una soluzione temporanea nella quale i materiali rimangono controllabili e recuperabili; lo smaltimento è invece concepito come soluzione definitiva, basata su sistemi capaci di garantire la protezione delle persone e dell'ambiente nel lungo periodo.

Anche in questo campo viene utilizzato il principio delle **barriere multiple**: forma stabile del rifiuto, contenitore, strutture ingegneristiche del deposito e caratteristiche del sito collaborano per impedire o rallentare la migrazione dei radionuclidi verso l'ambiente.

3. Depositi e sicurezza nel lungo periodo

La destinazione finale dei rifiuti dipende dalla loro pericolosità e, soprattutto, dal tempo durante il quale devono rimanere isolati dall'ambiente. Un materiale che perde gran parte della propria radioattività in alcuni decenni può essere gestito in modo molto diverso da un rifiuto contenente radionuclidi a vita lunga.

Per i rifiuti ad **attività molto bassa e bassa** si possono utilizzare depositi superficiali o prossimi alla superficie, progettati per isolare il materiale per il tempo necessario affinché la radioattività diminuisca. L'IAEA prevede che anche questi impianti utilizzino più funzioni di sicurezza: caratteristiche del rifiuto, contenitori, cemento o altri materiali di riempimento, strutture impermeabili, sistemi di drenaggio e caratteristiche geologiche del sito devono contribuire insieme alla protezione. La sicurezza complessiva non deve dipendere da una singola barriera.

Anche la **scelta del sito** è fondamentale. Geologia, idrogeologia, rischio sismico, possibilità di allagamenti, erosione e caratteristiche delle falde vengono analizzati affinché le condizioni naturali del territorio contribuiscano alla sicurezza complessiva del deposito.

In Italia è prevista la realizzazione del **Deposito Nazionale**, destinato allo smaltimento dei rifiuti a molto bassa e bassa attività e alla presenza di strutture per lo stoccaggio dei rifiuti a maggiore attività in attesa di una soluzione definitiva. La localizzazione richiede una lunga procedura tecnica, nella quale le aree devono essere valutate sulla base di criteri di sicurezza e radioprotezione. Nel dicembre 2025 l'ISIN ha pubblicato una nuova guida tecnica dedicata proprio alle indagini necessarie per qualificare il futuro sito, basata anche sugli standard dell'IAEA.

Per i rifiuti ad **alta attività** e per alcuni materiali contenenti radionuclidi a vita molto lunga sono previste soluzioni capaci di garantire l'isolamento su scale temporali maggiori. La soluzione di riferimento studiata e adottata a livello internazionale è il **deposito geologico di profondità**.

Anche qui si applica il concetto multibarriera. Il materiale radioattivo viene immobilizzato in una forma stabile, inserito in contenitori resistenti e circondato da materiali progettati per rallentare il movimento dell'acqua e dei radionuclidi. A queste barriere ingegneristiche si aggiunge la formazione geologica, che deve contribuire all'isolamento per tempi molto lunghi. L'IAEA sottolinea che il livello di confinamento deve essere

proporzionato alla pericolosità del rifiuto e che la sicurezza deve derivare dal sistema complessivo, non da un singolo componente.

La funzione di un deposito è garantire l'isolamento dei rifiuti per il periodo necessario, mentre la radioattività diminuisce naturalmente secondo i tempi propri dei radionuclidi. Le barriere del deposito sono progettate per mantenere confinati i materiali e proteggere nel lungo periodo le persone e l'ambiente.

La sicurezza ambientale del nucleare deve quindi essere valutata lungo l'intero ciclo di vita degli impianti e dei materiali. Durante l'esercizio è necessario confinare le sostanze radioattive e controllare gli eventuali

rilasci; alla fine dell'utilizzo occorre classificare e trattare i rifiuti; nel lungo periodo è necessario garantire strutture di smaltimento adatte alle differenti categorie.

Controllo e trasparenza rappresentano una parte essenziale di questo sistema. In Italia l'ISIN mantiene l'inventario dei rifiuti radioattivi e svolge funzioni di vigilanza e radioprotezione; dal 2026 è disponibile l'inventario nazionale riferito all'annualità 2025, alimentato dai dati che i soggetti responsabili della gestione devono trasmettere all'Ispettorato.

Alla domanda **“Come è possibile garantire la sicurezza delle persone e dell'ambiente quando si produce energia nucleare?”** la risposta si basa su due strategie complementari: mantenere sotto controllo i materiali radioattivi durante il loro utilizzo e garantirne una gestione sicura anche dopo la fine del loro impiego. Monitoraggio, classificazione, trattamento, confinamento e sistemi a barriere multiple sono gli strumenti attraverso cui questi obiettivi vengono perseguiti.