



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



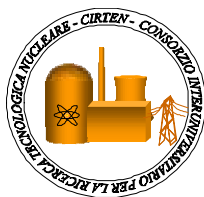
*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

*Documento CIRTEN-POLIMI RL 1139/2010*

Analisi critica delle norme UNI inerenti la caratterizzazione radiologica dei rifiuti radioattivi ai fini di una valutazione dei contenuti sulla base degli attuali standards internazionali e di una proposta di modifiche orientate al miglioramento e ad una maggiore fruibilità delle norme stesse

*M. Mariani, S. Scaravaggi, M. Zilocchi, F. Giacobbo*



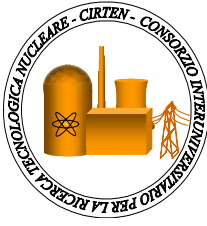
ANALISI CRITICA DELLE NORME UNI INERENTI LA CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DEI RIFIUTI RADIOATTIVI AI FINI DI UNA VALUTAZIONE DEI CONTENUTI SULLA BASE DEGLI ATTUALI STANDARDS INTERNAZIONALI E DI UNA PROPOSTA DI MODIFICHE ORIENTATE AL MIGLIORAMENTO E AD UNA MAGGIORE FRUIBILITÀ DELLE NORME STESSE

M. Mariani, S. Scaravaggi, M. Zilocchi, F. Giacobbo

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico  
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA  
Area: Produzione e fonti energetiche  
Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: S. Monti, ENEA



**CIRTEN**  
**CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO**  
**PER LA RICERCA TECNOLOGICA NUCLEARE**

**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI ENERGIA**  
**SEZIONE DI INGEGNERIA NUCLEARE - CeSNEF**

## **Analisi critica delle norme UNI inerenti la caratterizzazione radiologica dei rifiuti radioattivi**

### **AUTORI**

*Mario Mariani*  
*Stefano Scaravaggi*  
*Matteo Zilocchi*  
*Francesca Giacobbo*

**CIRTEN-POLIMI RL 1139/2010**

**MILANO, Settembre 2010**

Lavoro svolto in esecuzione della linea progettuale LP4 B5 dell'AdP ENEA MSE del 21/06/07  
Tema 5.2.5.8 – “Nuovo Nucleare da Fissione”.

## Introduzione

Materiali contenenti radionuclidi sono diffusamente impiegati sia in ambito energetico e industriale che in quello medicale oltre che in diversi settori della ricerca. Nel corso dei loro diversi utilizzi tali materiali producono *waste* radioattivo che inevitabilmente si accumula. E' pertanto necessario pianificare una gestione complessiva dei rifiuti così generati che garantisca la sicurezza dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente.

Una strategia di *waste management* deve quindi prendere in considerazione tutte le fasi del processo a partire dalla produzione del rifiuto e successiva caratterizzazione, fino al trattamento, al condizionamento ed allo stoccaggio temporaneo o definitivo. Tale strategia non può prescindere dagli aspetti socio-politici del paese che deve intraprendere attività di *decommissioning*.

Attualmente è disponibile un'ampia varietà di metodologie e tecniche per la gestione del *waste* radioattivo generato dai sistemi produttivi dell'industria nucleare e la scelta di una in particolare metodologia dipende necessariamente dalle caratteristiche del *waste*, dalla sua produzione e dai vincoli imposti dal Paese nel quale si vuole confinare il rifiuto.

In particolare, la manipolazione del *waste* radioattivo, il trattamento, condizionamento, trasporto, stoccaggio temporaneo ed esitazione finale, devono essere gestiti in modo da proteggere l'uomo e l'ambiente così da rendere minimo il pericolo per le future generazioni e conseguentemente i *wastes* radioattivi condizionati devono soddisfare specifiche e criteri definiti dalle Autorità di Controllo dei singoli Paesi.

Una efficace strategia di gestione del *waste* deve sviluppare adeguate procedure di caratterizzazione che consentano il controllo dei parametri chimico-fisici, radiologici e radiochimici del rifiuto, unitamente ad una serie di test sulla qualità dei manufatti finali e degli imballaggi. La mancanza di adeguate procedure di caratterizzazione e controllo in una qualunque delle fasi di gestione del rifiuto, può provocare gravi conseguenze per la salute e l'ambiente.

Ciascuna organizzazione coinvolta nella gestione di *waste* radioattivo è responsabile della verifica dell'accuratezza delle procedure di caratterizzazione del rifiuto e di tutti quegli aspetti del *waste* che possono essere alterati da trattamenti, immobilizzazioni, confezionamenti e stoccaggio, non ultimo il cambiamento della sua composizione isotopica e radionuclidica nel tempo.

## La caratterizzazione radiologica

L'obiettivo della caratterizzazione radiologica è quello di fornire un *data base* di informazioni connesse al tipo e quantità di radionuclidi, loro distribuzione e stato chimico e fisico.

La caratterizzazione non comprende quindi solo i campionamenti, le analisi e le misure dirette od indirette in *situ*, ma presuppone anche una adeguata valutazione dei dati disponibili e l'opportuno impiego di codici di calcolo. Ciò consente di ottenere un *data base* utile sia per la pianificazione delle attività di *decommissioning* (processi di decontaminazione, procedure di smantellamento, lavorazioni in remoto, semiremoto, manipolazione diretta, radioprotezione di lavoratori e pubblico, classificazione dei rifiuti, analisi dei costi) che per la selezione della strategia di *decommissioning*, più opportuna tra lo smantellamento immediato o quello differito.

Il processo di caratterizzazione avviene necessariamente per stadi successivi che dipendono dall'insieme dei dati raccolti e ottenuti nel corso del processo.

Il processo di caratterizzazione costituisce un importante fase iniziale che richiede un approccio logico al fine di ottenere i dati necessari per la pianificazione dell'intero progetto di *decommissioning*. Infatti, il programma di caratterizzazione fornisce le informazioni radiologiche sulla matrice in esame che consentono di prendere decisioni riguardo ai successivi stadi del processo quali la decontaminazione, lo smantellamento e la rimozione di componenti e attrezzature, la gestione del rifiuto, la stima dell'inventario dei radionuclidi ed il finanziamento delle attività di *decommissioning*. Pertanto, un completo programma di caratterizzazione non si limita all'impiego di metodi numerici, strumentali o tecniche di analisi chimico-fisica per la determinazione del contenuto dei radionuclidi ma deve comprendere in toto le seguenti fasi:

(a) revisione delle informazioni storiche

(b) implementazione dei metodi di calcolo sfruttando codici noti o adattati per una valutazione numerica della attività indotta nel sito dell'impianto ed immediate vicinanze allo scopo di una stima dell'inventario radioattivo

(c) preparazione della campagna analitica basata su un approccio di tipo statistico con l'obiettivo della completa caratterizzazione radiologica definendo:

- tipo, numero, quantità, collocazione e analisi dei campioni necessari;
- requisiti strumentali;
- aspetti radioprotezionistici e di controllo della radioattività;
- requisiti per la raccolta, la razionalizzazione e la validazione dei dati,
- requisiti standard per la garanzia della qualità ;
- metodologie da impiegare per il campionamento e l'analisi
- requisiti per il deposito del *waste* generato durante il campionamento.

(d) valutazione del tipo di misure e analisi e delle prestazioni ad esse connesse

(e) revisione dei dati ottenuti

(f) comparazione dei risultati calcolati con i dati misurati

L'efficacia del processo complessivo di caratterizzazione del rifiuto si sostanzia quindi, in un processo iterativo che, dopo una caratterizzazione iniziale procede con lo sviluppo di una caratterizzazione più dettagliata fino a considerare aspetti legati alla disponibilità di depositi di capacità adeguata, alla salute, alla sicurezza e alle risorse finanziarie disponibili.

Tra le procedure di caratterizzazione, la caratterizzazione radiologica definisce il tipo di campionamento e le procedure analitiche necessarie per raggiungere la sensibilità radiometrica desiderata.

L'obiettivo essenziale della caratterizzazione radiologica è quello di ottenere un quadro completo del contenuto di contaminanti radioattivi attraverso calcoli predittivi, misure *in situ*, campionamenti ed analisi

Poiché le misure e/o i campionamenti devono prefiggersi di ottenere dati radiometrici riferiti a singoli e specifici radionuclidi contenuti nella matrice irraggiata e/o contaminata tale processo può essere molto costoso o di difficile realizzazione per componenti fortemente attivati.

In tal caso si deve ricorrere ad approcci che sfruttano la raccolta dei dati storici e/o calcolati ed il loro confronto con i dati misurati o disponibili al fine di stimare quei radionuclidi non direttamente misurabili. Tali procedure richiedono opportune validazioni da effettuarsi attraverso il confronto tra dati teorici stimati e dati reali misurati..

Le attività di caratterizzazione radiologica possono generare una vasta quantità di dati che possono essere suddivisi in 3 categorie:

- a) dati stimati mediante codici di calcolo
- b) dati ottenuti da misure dirette *in situ* e raccolti in programmi di monitoraggio
- c) dati risultanti dal programma di campionamento ed analisi mirato alla acquisizione di informazioni dettagliate sui tipi e quantità di radionuclidi originati da fenomeni di attivazione o contaminazione

Il *waste* radioattivo generato durante un'attività nucleare contiene radionuclidi di diversa origine che nell'insieme vanno a costituire l'Inventario Radionuclidico che caratterizza il rifiuto per gli scopi del *decommissioning* e del *waste management*. Per la gran parte, il *waste* radioattivo sarà costituito da matrici provenienti da impianti nucleari di potenza NPP, pertanto i radionuclidi potranno essere raggruppati in categorie di materiali che li contengono:

- a) materiali attivati da neutroni (core e schermo biologico generalmente costituito da cemento e rinforzi in acciaio)
- b) materiali contaminati dall'attivazione di prodotti di corrosione ed erosione veicolati; dalla dispersione di prodotti del combustibile irraggiato e di prodotti di fissione attraverso fessurazioni degli elementi di combustibile; dal processamento e stoccaggio di rifiuti radioattivi e dalle attività di manutenzione e sostituzione; etc.

Tra i prodotti di attivazione e di fissione che possono essere generati durante il funzionamento di un impianto nel lungo termine si possono trovare:

- $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ , e  $^{94}\text{Nb}$  nei componenti di natura metallica
- $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$  nei calcestruzzi strutturali
- $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  and  $^{154}\text{Eu}$  nelle grafite nucleari

In termini di livelli di radioattività il  $^{60}\text{Co}$  costituisce il radionuclide principale responsabile e, insieme al  $^{55}\text{Fe}$ , continua a costituire una porzione importante della radioattività nelle componenti metalliche nei primi dieci anni dopo lo spegnimento di un reattore. Nei successivi 50 anni la maggior parte di questa componente attiva è decaduta lasciando il posto agli isotopi di Ni, Nb ed Ag con emivita più lunga. Nelle strutture in grafite e calcestruzzo, dopo la prevalente radioattività dovuta al trizio nel breve termine, gli isotopi  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  e  $^{154}\text{Eu}$  sono responsabili della attività del rifiuto nello stoccaggio a lungo termine.

I radionuclidi più abbondanti e ancora presenti nei residui contaminati dopo 10-20 anni dallo spegnimento sono  $^3\text{H}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{55}\text{Fe}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , mentre dopo circa 20-30 anni  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{90}\text{Sr}$ . Soltanto dopo 100-200 anni continuano a mantenere livelli costanti di radioattività i nuclidi transuranici quali  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  e  $^{244}\text{Cm}$ .

Le misure in *situ* necessarie per una efficace caratterizzazione radiologica possono essere distinte in misure di rateo di dose, misure di contaminazione radioattiva e misure strumentali della attività di radionuclidi specifici attraverso tecniche spettrometriche. Generalmente la strumentazione si avvale di rivelatori a gas, rivelatori a scintillazione solida e liquida e di rivelatori a semiconduttore.

Un approccio di tipo generale per la caratterizzazione radiologica consiste inizialmente nella esecuzione sul campione di spettrometrie gamma ad elevata risoluzione; successivamente si procede attraverso specifiche analisi radiochimiche quantitative per la determinazione di tutti i radionuclidi contenuti nel rifiuto. I radionuclidi sono pertanto separati radiochimicamente dalla miscela che li contiene per mezzo di metodiche standard, ottimizzate in funzione della determinazione radiometrica strumentale che si intende impiegare. I campionamenti devono essere rappresentativi dell'intera matrice e le analisi devono essere affidabili e riproducibili con l'impiego di strumentazioni adatte allo scopo quali la spettrometria gamma e la spettrometria alfa ad elevata risoluzione in energia e la scintillazione liquida a ultra basso fondo con discriminazione alfa-beta.

E' tuttavia importante osservare, ai fini di una corretta caratterizzazione radiologica, che nell'insieme dei radionuclidi presenti nel *waste* sono presenti molti radionuclidi emettitori alfa ed emettitori beta-X molli che sono difficili o praticamente impossibili da determinare in presenza di altre radiazioni maggiormente energetiche. Questi radionuclidi sono in gergo definiti *hard-to-detect radionuclides*. La determinazione specifica di tali radionuclidi deve essere affrontata attraverso l'impiego di tecniche di analisi distruttiva mediante separazioni radiochimiche spesso complesse e tediose.

Lo sviluppo dei metodologie e tecniche, di procedure di controllo e di apparecchiature e strumentazioni impiegate, ha evidenziato un costante progresso della caratterizzazione del *waste* nel corso degli ultimi anni. Tuttavia, sebbene le problematiche da affrontare per una corretta caratterizzazione e gestione del *waste* radioattivo siano abbastanza simili nei diversi Paesi industrializzati, l'analisi della documentazione tecnica e della normativa pubblicata dalla comunità internazionale nel corso dell'ultimo decennio, evidenzia spesso l'impiego di norme e standard di tipo diverso nei diversi Paesi.

L'insufficiente armonizzazione dei metodi di prova, la diversa interpretazione dei risultati ottenuti, le metodologie autonomamente sviluppate nel settore del controllo qualità del *waste*, e i diversi vincoli posti dalle locali Autorità di Controllo, hanno limitato lo sviluppo e l'applicazione di criteri di sicurezza, metodologie e norme unificate. Pertanto ciascuna nazione, nell'ambito del proprio Ente di Normazione, ha spesso sviluppato normative standard su misura per soddisfare le disposizioni imposte dalle autorità locali.

## La normativa italiana

### **UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione**

*L'UNI è un'associazione privata senza fine di lucro fondata nel 1921 e riconosciuta dallo Stato e dall'Unione Europea, che studia, elabora, approva e pubblica le norme tecniche volontarie - le cosiddette "norme UNI" - in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario (tranne che in quelli elettrico ed elettrotecnico). UNI rappresenta l'Italia presso le organizzazioni di normazione europea (CEN) e mondiale (ISO).*

*Lo scopo dell'Ente è l'elaborazione di norme tecniche che contribuiscano al miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia del sistema economico-sociale italiano e che siano strumenti di supporto all'innovazione tecnologica, alla competitività, alla promozione del commercio, alla protezione dei consumatori, alla tutela dell'ambiente, alla qualità dei prodotti e dei processi.*

*Le norme UNI sono documenti che definiscono lo stato dell'arte di prodotti, processi e servizi, garantendo sicurezza, rispetto per l'ambiente e prestazioni certe. Sono documenti elaborati consensualmente dai rappresentanti di tutte le parti interessate tramite un processo di autoregolamentazione trasparente e democratico, e, pur essendo di applicazione volontaria, forniscono agli operatori riferimenti certi (anche di rilevanza contrattuale).*

*Le norme tecniche, quindi, sono soluzioni: sono un capitale di conoscenza, a disposizione dei professionisti e delle imprese di ogni dimensione, per ottenere forniture di qualità, contenere i costi, rendere più efficiente la propria organizzazione.*

Di seguito sono riportate in elenco le Norme UNI 9498,1-8 e la norma 11015 elaborate specificamente nell'ambito della Disattivazione Impianti Nucleari.

Successivamente sono elencate le Norme UNI 10621, 10704, 10755, 11193, 11194, 11195, 11196 e 11197 che concernono rispettivamente: la caratterizzazione di manufatti di rifiuti condizionati, la loro classificazione, la identificazione e schedatura, i requisiti per il condizionamento, la loro caratterizzazione radiologica, la gestione informativa del deposito superficiale ed i requisiti per lo stoccaggio, nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità.

Infine, sono riassunte tutte quelle norme che descrivono metodi di misura della contaminazione superficiale recepiti dalla normativa internazionale (UNI-ISO 7503-1 e 7503-2) e altre norme che, come la 11015, sono state elaborate per la separazione radiochimica e la determinazione radiometrica di radionuclidi artificiali e naturali anche in matrici contaminate diverse e non proprie dell'ambito nucleare, come quelle industriali, ambientali ed alimentari (UNI 9778, 9882, 9888, 10313, 10314, 11260, 11261). Queste, potrebbero costituire un possibile spunto per l'estensione dei metodi ad altre attività di monitoraggio nel *decommissioning* e *waste management*.

In particolare, nelle norme 9882 e 9888 viene affermata in modo esplicito la opportunità di impiego della norma per le matrici di interesse nel *decommissioning*.

In aggiunta, è stato riportato anche il riferimento alla metodica per la determinazione, mediante separazione radiochimica, degli isotopi <sup>55</sup>Fe, <sup>59</sup>Ni, <sup>63</sup>Ni che, sebbene già elaborata in una forma esaustiva e già validata, a tutt'oggi permane in elenco solo come *Progetto di Norma 215* non ancora definitivamente approvato dall'Ente.

Gli estratti delle norme sotto elencate sono riportati nell'*ALLEGATO 1: Estratti Norme UNI*

- **UNI 9498-1 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CRITERI GENERALI (Settembre 1989)**
- **UNI 9498-2 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - TECNICHE DI DECONTAMINAZIONE (Dicembre 1991)**
- **UNI 9498-3 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CONSERVAZIONE CON SORVEGLIANZA (Dicembre 1991)**
- **UNI 9498-4 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - SMANTELLAMENTO (Dicembre 1991)**
- **UNI 9498-5 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA (Dicembre 1991)**
- **UNI 9498-6 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA E CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI PRODOTTI (Novembre 1998)**
- **UNI 9498-7 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CRITERI PER IL RILASCIO PARZIALE (Novembre 1998)**
- **UNI 9498-8 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - REQUISITI DI UN DEPOSITO TEMPORANEO (Novembre 1998)**
- **UNI 11015 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - DETERMINAZIONE DEGLI ISOTOPI DI PU, AM E CM (Marzo 2003)**
- **UNI 10621 MANUFATTI DI RIFIUTI RADIOATTIVI CONDIZIONATI - CARATTERIZZAZIONE (Novembre 1997)**
- **UNI 10704 RIFIUTI RADIOATTIVI - CLASSIFICAZIONE (Gennaio 1998)**
- **UNI 10755 MANUFATTI DI RIFIUTI RADIOATTIVI CONDIZIONATI - COLORAZIONE, MARCATURA, SCHEDATURA E REGISTRAZIONE (Aprile 1999)**
- **UNI 11193 METODI DI PROVA PER LA QUALIFICAZIONE DEI PROCESSI DI CONDIZIONAMENTO PER MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Novembre 2006)**
- **UNI 11194 CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DI MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 AI FINI DEL CONFERIMENTO AL DEPOSITO FINALE (Dicembre 2006)**
- **UNI 11195 SISTEMA INFORMATIVO PER LA GESTIONE DI UN DEPOSITO DI TIPO SUPERFICIALE PER MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (novembre 2006)**
- **UNI 11196 CONTENITORI PER IL DEPOSITO FINALE DI MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Novembre 2006)**

- **UNI 11197 MODALITA' DI IDENTIFICAZIONE E DI RINTRACCIABILITA' DELL'INFORMAZIONE PER MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Dicembre 2006)**
- **UNI ISO 7503-1 VALUTAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE SUPERFICIALE - PARTE 1: EMETTITORI BETA (ENERGIA BETA MASSIMA MAGGIORE 0,15 MEV) E EMETTITORI ALFA (Marzo 2010 – recepita integralmente da ISO)**
- **UNI ISO 7503-2 VALUTAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE SUPERFICIALE - PARTE 2: CONTAMINAZIONE SUPERFICIALE DA TRIZIO (Marzo 2010– *ibidem*)**
- **UNI 9778 DETERMINAZIONE DEGLI ISOTOPI ALFA EMETTITORI DEL PU NEI TERRENI, FANGHI E SEDIMENTI (Novembre 1990)**
- **UNI 9882 DETERMINAZIONE DEI RADIONUCLIDI NEL LATTE (Luglio 1991)**
- **UNI 9888 DETERMINAZIONE RADIOCHIMICA DELLO <sup>90</sup>SR (Dicembre 1991)**
- **UNI 10313 DETERMINAZIONE DEL <sup>210</sup>PB NEI CARBONI E NELLE CENERI DI CARBONE (Febbraio 1994)**
- **UNI 10314 DETERMINAZIONE DELL'URANIO NATURALE E DEL <sup>226</sup>RA NELLE FOSFORITI E NEI LORO DERIVATI (Febbraio 1994)**
- **UNI 11260 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI ATTIVITA' ALFA E BETA NELLE ACQUE PER IL CONSUMO UMANO (Aprile 2008)**
- **UNI 11261 DETERMINAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI ATTIVITA' DI <sup>222</sup>RN NELLE ACQUE MEDIANTE SCINTILLAZIONE LIQUIDA (Aprile 2008)**
- **PROGETTO DI NORMA UNICEN 215 – DETERMINAZIONE DI <sup>55</sup>FE, <sup>59</sup>NI, <sup>63</sup>NI (Settembre 2004)**

## *La situazione internazionale*

### **IAEA - International Atomic Energy Agency**

Fino agli anni '80 la International Atomic Energy Agency (IAEA) pubblica numerosi documenti tecnici senza focalizzare l'attenzione sulla problematica della caratterizzazione radiologica. Successivamente, in vista del progressivo aumento delle operazioni di *decommissioning* di installazioni nucleari di vario tipo nel mondo, IAEA prende in considerazione la pubblicazione sistematica di documentazione tecnica. Allo scopo di indicare ai Paesi Membri approcci, strategie e metodologie definite, per affrontare in modo armonizzato le complesse problematiche derivanti dalle attività di *decommissioning* e *waste management* di installazioni e/o attività di tipo nucleare, IAEA procede con la pubblicazione di una serie di documenti mirati.

Nel caso specifico, a supporto delle operazioni sistematiche connesse i) alla disattivazione di reattori nucleari e di altre *facilities* nucleari, ii) alla caratterizzazione radiologica dei *waste* radioattivi generati da attività di tipo nucleare e iii) alle tecnologie di trattamento e condizionamento dei *waste*, vengono pubblicati alcuni documenti tecnici di riferimento.

Nel 1997, 1998, 2001, 2006, 2007 e 2009, vengono pubblicati rispettivamente i seguenti documenti/report tecnici (cfr. ALLEGATO 2: *Documentazione Tecnica IAEA*):

- TECH. REP. SER. N.383, "*Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages*" (1997);
- TECH. REP. SER. N.389, "*Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*" (1998);
- TECH. REP. SER. No. 402, "*Handling and Processing of Radioactive Waste from Nuclear Applications*" (2001);
- IAEA-TECDOC-1504, "*Innovative Waste Treatment and Conditioning Technologies at Nuclear Power Plants*" (2006);
- IAEA-TECDOC-1537, "*Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization*" (2007);
- IAEA NUCL. EN. SER. N. NW-T-1.18, "*Determination and Use of Scaling Factor for Waste Characterization in Nuclear Power Plants*" (2009)

Questi documenti affrontano, in modo organico e generale, tutte quelle problematiche che si presentano nel corso delle diverse attività concernenti il *decommissioning*, nella fase finale del ciclo di vita di attività nucleari di vario tipo, al fine di fornire informazioni rilevanti ed identificare i fattori importanti per:

- i) la completa caratterizzazione radiologica di edifici e *facilities* di impianti nucleari spenti ai fini del loro *pre-decommissioning* con indicazioni generali utili anche al *decommissioning* ed al *post-decommissioning*;
- ii) la manipolazione, il trattamento, il condizionamento e lo stoccaggio di *waste* non derivante da impianti nucleari di potenza (NPP), riconducibile a radionuclidi specifici di uso medico, industriale e di ricerca;
- iii) l'impiego delle tecnologie predominanti attuate nei diversi Paesi per il trattamento e condizionamento dei *waste* da NPP e soprattutto per lo sviluppo e per l'applicazione di tecniche innovative di trattamento di rifiuti di tipo LILW generati nei NPP con reattori raffreddati ad acqua in attività o in *decommissioning*;
- iv) le metodologie e le strategie disponibili per la caratterizzazione del *waste* considerando:
  - l'origine del rifiuto ed i diversi tipi di flusso di rifiuto;
  - le *facilities* disponibili nei diversi laboratori, le tecnologie e le tecniche analitiche disponibili;
  - le procedure/metodi di controllo di qualità e di accuratezza della caratterizzazione;
  - la valutazione dello stato dell'arte in materia di standardizzazione delle attività, allo scopo di procedere ad una possibile armonizzazione delle procedure e dei test impiegati dai diversi Paesi Membri;
- v) l'impiego di metodologie capaci di stabilire correlazioni (*Scaling Factor*) che possano essere applicate in molti casi per valutare nell'inventario radionuclidico, i nuclidi difficili da rivelare (*Difficult to Measure – DTM - Nuclides*) nei *waste packages* sulla base di misure esterne immediate (es.: spettrometria gamma e tecniche neutroniche) del contenuto di nuclidi facili da misurare (*Easy To Measure – ETM – Nuclides*).

## *European Commission*

### **European Network of Testing Facilities for the Quality Checking of Radioactive Waste Packages (EN-TRAP)**

All'inizio degli anni '80 furono intraprese le prime politiche per il controllo di qualità per la gestione dei rifiuti nucleari. La garanzia di qualità in tale ambito fu applicata per la prima volta negli Stati Uniti all'interno del Dipartimento della Difesa e, successivamente, fu estesa ai settori industriali del Paese.

La Commissione Europea, riconoscendo l'importanza dell'applicazione di sistemi per il controllo della qualità nell'ambito del *waste* di tipo nucleare, circa venti anni fa ha favorito ed organizzato collaborazioni tra i Paesi Membri per effettuare analisi critiche e per implementare le attività concernenti il trattamento e la gestione dei rifiuti nucleari.

Il *network* per il controllo di qualità dei *waste* nucleari fu costituito nel 1992 sotto l'egida della Commissione Europea. L'EN-TRAP, *European Network of Testing Facilities for the Quality Checking of Radioactive Waste Packages*, ha l'obiettivo di promuovere e facilitare la collaborazione, l'applicazione e la standardizzazione del controllo di qualità per manufatti e imballaggi di *waste* di tipo nucleare.

Il *network* è suddiviso in quattro gruppi di lavoro che perseguono obiettivi specifici e complementari:

- WG-A: analisi non distruttive (*Non Destructive Assay*)
- WG-B: tecniche chimiche e radiochimiche distruttive (*Destructive Analyses*)
- WG-C: procedure di controllo qualità e di garanzia della qualità (*Quality Assurance*)
- WG-D: controllo di qualità per ILW e HLW

Ad oggi l'EN-TRAP garantisce un efficace scambio di informazioni sulle diverse metodologie e controlli da eseguire per verificare ed aggiornare il controllo della qualità del *waste* nucleare nei Paesi Membri secondo i più elevati standard internazionali, anche attraverso la collaborazione con Enti di Normazione internazionali quali ISO, ASTM etc.

I risultati, gli sviluppi e le applicazioni delle diverse metodologie ottenute dall'EN-TRAP sono diffusi attraverso Technical Reports organizzati e raggruppati per periodi (1995-2003) o per argomento:

- *Annual reports 1995 - 1996*
- *Multi-annual reports 1997-2000 e 2001-2003*
- *Destructive Analyses for the Quality Checking of Radioactive Waste Packages*
- *Synopsis of Neutron Assay Systems*
- *Synopsis of Gamma Scanning Systems*
- *Quality Assurance Questionnaire Report by Working Group C*

Questi documenti, grazie al contributo di gruppi e laboratori europei di ricerca, trattano in modo dettagliato le modalità operative per effettuare controlli di qualità efficaci sui *waste* imballaggi e contenitori, aggiornando le metodiche applicate ed i risultati ottenuti. Nel corso degli ultimi anni è le attività hanno riguardato: i) un elenco di metodi radiochimici e chimico-fisici per l'analisi distruttiva dei campioni di rifiuto; ii) lo sviluppo di metodi armonizzati per la valutazione degli imballaggi contenenti i vari radionuclidi; iii) i metodi per investigare la formazione di gas nei contenitori; iv) i metodi per la gestione degli imballaggi e le metodologie uniformate di misura per la riduzione dell'incertezza sui parametri di misura e caratterizzazione dell'imballaggio.

## **ISO – International Standard Organization**

*ISO (International Organization for Standardization) è un consorzio di istituti di standards nazionali di 163 paesi (105 member bodies, 47 members correspondent, 10 subscriber members) ed è autore degli International Standards. Costituisce organizzazione non governativa che rappresenta un ponte tra il settore pubblico e privato. Da un lato, molti dei suoi istituti membri fanno parte della struttura di governo dei loro Paesi, d'altra parte, gli altri membri hanno le loro radici unicamente nel settore privato. Pertanto, ISO consente il raggiungimento di soluzioni che soddisfino sia i requisiti di business sia le esigenze più ampie della società, non solo per mirare alla propria area clienti, ma per ottenere prodotti finali innovativi che possano guidare la crescita e lo sviluppo mondiale. Tra il 1947 e oggi, l'ISO ha pubblicato più di 18 000 standard internazionali, che vanno dagli standard per attività come l'agricoltura e la costruzione, all'ingegneria meccanica, ai dispositivi medici, agli sviluppi più recenti delle tecnologie dell'informazione. La struttura del comitato tecnico, abbracciando una base multi-settoriale molto ampia, raccoglie più di tremila gruppi tecnici (210 comitati, 519 sub-comitati, 66 gruppi ad hoc e oltre 2 400 gruppi di lavoro) fatturando annualmente oltre 140 milioni di euro, finanziati dai Paesi membri e dai proventi delle pubblicazioni).*

*Gli International Standards sono un veicolo per la condivisione di conoscenze, tecnologie e buone pratiche: una componente essenziale delle infrastrutture in tutto il mondo industriale e post-industriale a sostegno alle attività economiche, dei bisogni sociali e in garanzia di una più equa possibilità: in altre parole, lo sviluppo sostenibile. Il ruolo chiave delle norme è stato implicitamente riconosciuto, da tempo, nei programmi di formazione che coprono una vasta gamma di settori tecnici. Tuttavia, è una tendenza più recente l'accresciuta consapevolezza dell'importanza delle attività di normazione in senso più generale da parte delle istituzioni scolastiche di tutto il mondo: ciò è dovuto al fatto che gli International Standards contribuiscono a scambi di prodotti e servizi, migliorano le pratiche aziendali e promuovono l'innovazione tecnologica.*

Di seguito sono riportate in elenco le Norme ISO individuate come confronto per l'analisi critica nell'ambito della disattivazione degli impianti nucleari e nel trattamento del *waste* radioattivo.

1. ISO 6962 Standard method for testing the long-term alpha irradiation stability of matrices for solidification of high-level radioactive waste - Second Edition (July 2007)
2. ISO 14850-1 Waste-packages activity measurement Part 1: High-resolution gamma spectrometry in integral mode with open geometry - First Edition (May 2004)
3. ISO 21238 Scaling factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level radioactive waste packages generated at nuclear power plants - First Edition (April 2004)
4. ISO 2889 Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities (2010)
5. ISO 6980-1 Reference beta-particle radiation - Part 1: Methods of production (2006)
6. ISO 6980-2 Reference beta-particle radiation - Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field (2004)

7. ISO 7503-3 Evaluation of surface contamination - Part 3: Isomeric transition and electron capture emitters, low energy beta-emitters (E betamax less than 0,15 MeV) (1996)
8. ISO 8298 Determination of mg amounts of Pu in nitric acid solutions - Potentiometric titration with potassium dichromate after oxidation by Ce(IV) and reduction by Fe(II) (2000)
9. ISO 8299 Determination of the isotopic and elemental U and Pu concentrations of nuclear materials in nitric acid solutions by thermal-ionization mass spectrometry (2005)
10. ISO 8769 Calibration of surface contamination monitors - Alpha, beta and photon emitters (2010)
11. ISO 9463 Determination of Pu in nitric acid solutions by spectrophotometry (2009)
12. ISO 9696 Water quality - Measurement of gross alpha activity in non-saline water - Thick source method (2007)
13. ISO 9697 Water quality - Measurement of gross beta activity in non-saline water - Thick source method (2008)
14. ISO 10703 Water quality - Determination of the activity concentration of radionuclides - Method by high resolution gamma-ray spectrometry (2007)
15. ISO 10704 Water quality - Measurement of gross alpha and gross beta activity in non-saline water - Thin source deposit method (2009)
16. ISO 10981 Determination of U in reprocessing-plant dissolver solution - Liquid chromatography method (2004)
17. ISO 11483 Preparation of Pu sources and determination of  $^{238}\text{Pu}$  /  $^{239}\text{Pu}$  isotope ratio by alpha spectrometry (2005)
18. ISO 11704 Water quality - Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water - Liquid scintillation counting method (2010)
19. ISO 12183 Nuclear fuel technology - Controlled-potential coulometric assay of Pu (2005)
20. ISO 13465 Determination of Np in nitric acid solutions by spectrophotometry (2009)
21. ISO 15366 Chemical separation and purification of U and Pu in nitric acid solutions for isotopic and dilution analysis by solvent chromatography (1999)
22. ISO 18589-1 Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 1: General guidelines and definitions (2005)
23. ISO 18589-3 Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 3: Measurement of gamma-emitting radionuclides (2007)
24. ISO 18589-4 Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 4: Measurement of plutonium isotopes ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$ ) by alpha spectrometry (2009)

25. ISO 18589-5 Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 5: Measurement of  $^{90}\text{Sr}$  (2009)
26. ISO 18589-6 Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 6: Measurement of gross alpha and gross beta activities (2009)
27. ISO 21847-1 Alpha spectrometry - Part 1: Determination of Np in U and its compounds (2007)
28. ISO 21847-2 Alpha spectrometry - Part 2: Determination of Pu in U and its compounds (2007)
29. ISO 21847-3 Alpha spectrometry - Part 3: Determination of  $^{232}\text{U}$  in U and its compounds (2007)
30. ISO 26062 Procedures for the measurement of elemental impurities in U - and Pu - based materials by inductively coupled plasma mass spectrometry (2010)

## Considerazioni e Conclusioni

La caratterizzazione costituisce uno stadio essenziale per la classificazione ed il controllo dei rifiuti nelle diverse tipologie secondo i criteri per il trasporto, il trattamento, il condizionamento ed il successivo confinamento. Essa deve essere condotta nel rispetto di un criterio costi-benefici considerando anche la necessità di ridurre le dosi alla luce del principio ALARA. Una completa ed efficace caratterizzazione non può sfruttare un singolo metodo di valutazione, ma richiede l'uso congiunto di calcoli teorici, misure in situ, campionamenti ed analisi che insieme possano validare e garantire la qualità e la consistenza dei risultati ottenuti

Nell'ambito specifico della caratterizzazione radiologica di un rifiuto o di un manufatto, sono disponibili diverse tecniche, strumentazioni e metodologie analitiche.

Le tecniche di misura strumentale, che consentono di effettuare analisi non distruttive del rifiuto (NDA), seppure di largo impiego e performanti, richiedono spesso l'apporto di metodologie analitiche separative di tipo radiochimico (analisi distruttive – DA) che devono essere condotte su aliquote rappresentative di campioni di rifiuto; insieme, permettono di giungere alla determinazione dell'inventario dei radionuclidi presenti nel rifiuto. Tutto questo richiede un dispendio di tempo e risorse economiche, oltre che l'impiego di personale competente e di attrezzature e strumentazione con caratteristiche adeguate.

La caratterizzazione radiologica diventa completa ed efficace quando un numero sufficiente di dati analitici sono raccolti e le loro incertezze siano ben definite, in modo che i risultati ottenuti siano consistenti con i requisiti imposti da un adeguato sistema di qualità. La disponibilità di un opportuno inventario dei radionuclidi presenti nel rifiuto, consentirà l'attuazione di un dettagliato piano di *decommissioning* e *waste management* secondo obiettivi presisi e di norma concordati con le Autorità di Controllo.

Nel caso più comune di un *waste* generato negli impianti nucleari di potenza, molti dei radionuclidi presenti nell'inventario radiologico sono difficili o praticamente impossibili da determinare in presenza di altri maggiormente energetici. E' questo il caso degli emettitori alfa in generale e dei radionuclidi beta ed X di bassa energia, che peraltro rappresentano un rischio a lungo termine dovuto alla loro elevata emivita. Il metodo dello *scaling factor* (SF) è una tecnica per valutare la concentrazione dei nuclidi definiti difficili da misurare (*hard-to-detect radionuclides* o *difficult-to-measure* – DTM). In un reattore, questi radionuclidi sono prodotti con un certo rateo insieme a nuclidi chiave (*key radionuclides*) come  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , i quali sono facilmente misurabili attraverso tecniche NDA. Sono stati pertanto sviluppati dei metodi che, attraverso modellazioni con codici di calcolo (ORIGEN, MCNP), consentono di stimare in modo efficace alcuni radionuclidi DTM sfruttando l'attività di nuclidi chiave presenti in miscela nel rifiuto. Ad esempio,  $^{55}\text{Fe}$  e  $^{59-63}\text{Ni}$  possono essere correlati con il  $^{60}\text{Co}$ , mentre  $^{60}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  e  $^{129}\text{I}$  possono essere correlati con il  $^{137}\text{Cs}$ .

Il metodo SF è una tecnica molto efficiente sia per la valutazione della composizione dello *spent-fuel*, dove viene ampiamente utilizzato, sia per la caratterizzazione radiologica degli impianti nucleari in genere. Al fine di usare in modo appropriato il metodo dello *scaling factor* è sempre importante valutare in modo approfondito le caratteristiche proprie dell'impianto come ad esempio:

- tipo di reattore
- materiali con cui è composto il *fuel* ed il *cladding*
- bruciamento del *fuel*
- meccanismi di produzione dei radionuclidi considerati
- eventuale trattamento precedente del *waste*
- variazioni chimiche del fluido di raffreddamento durante il funzionamento dell'impianto
- condizioni di lavoro dell'impianto

Tale approccio, noto come approccio di *correlazione* - del *fattore di scala* (SF), o delle *impronte digitali* - *fingerprints*, è stato standardizzato all'interno di Norme riconosciute da diversi Organismi di normazione europei ed internazionali.

Ciascun paese normalmente impiega propri metodi, tecniche strumentali, metodi computazionali, procedure, attrezzature, metodi di campionamento, separazioni radiochimiche e norme standard, allo scopo di ottenere una efficace caratterizzazione radiologica mediante l'impiego congiunto di analisi NDA, analisi DA, codici di calcolo e modelli.

Nella Tabella 1 sono riportati i potenziali radionuclidi presenti in un *waste*, distinti per gruppo secondo la metodica di analisi di possibile impiego per la loro caratterizzazione radiologica.

Analisi Non Distruttiva	Analisi Distruttiva & Codici di Calcolo - Modelli	Analisi Non Distruttiva & Codici di Calcolo - Modelli
$^{22}\text{Na}$ $^{54}\text{Mn}$ $^{60}\text{Co}$ $^{125}\text{Sb}$ $^{134}\text{Cs}$ $^{137}\text{Cs}$ $^{144}\text{Ce}$ $^{152}\text{Eu}$ $^{154}\text{Eu}$ $^{234}\text{U}$ $^{235}\text{U}$ $^{238}\text{U}$ $^{237}\text{Np}$ $^{238}\text{Pu}$ $^{239}\text{Pu}$ $^{240}\text{Pu}$ $^{241}\text{Pu}$ $^{242}\text{Pu}$ $^{241}\text{Am}$ $^{242}\text{Cm}$	$^3\text{H}$ $^{14}\text{C}$ $^{36}\text{Cl}$ $^{55}\text{Fe}$ $^{59}\text{Ni}$ $^{63}\text{Ni}$ $^{90}\text{Sr}$ $^{93}\text{Zr}$ $^{94}\text{Nb}$ $^{99}\text{Tc}$ $^{129}\text{I}$ $^{135}\text{Cs}$	$^{41}\text{Ca}$ $^{65}\text{Zn}$ $^{79}\text{Se}$ $^{93}\text{Mo}$ $^{106}\text{Ru}$ $^{107}\text{Pd}$ $^{108\text{m}}\text{Ag}$ $^{119\text{m}}\text{Sn}$ $^{147}\text{Pm}$ $^{151}\text{Sm}$ $^{204}\text{Tl}$ $^{210}\text{Pb}$ $^{227}\text{Ac}$ $^{230}\text{Th}$ $^{232}\text{Th}$

TABELLA 1: Radionuclidi nel *waste*, distinti in gruppi per tipologia di possibile caratterizzazione radiologica

Nello sviluppo della caratterizzazione radiologica dei rifiuti, delle procedure di controllo e delle apparecchiature sono stati compiuti notevoli progressi negli ultimi anni, soprattutto attraverso lavori di cooperazione e confronto tra i diversi Paesi, spesso sotto l'egida di organismi ed istituzioni internazionali. Tuttavia, ad oggi, l'armonizzazione dei metodi di prova risulta ancora limitata e molti Paesi seguono le procedure standardizzate dai propri enti nazionali di formazione (UNI (I), AFNOR (F), DIN (D), BS (UK), ASTM-ASME (USA), JIS (Japan), etc.

Inoltre, mentre si sono consolidate le più facili metodologie per il campionamento e le misure nelle NDA, particolare attenzione va posta nelle tecniche DA impiegate per le separazioni ed analisi radiochimiche. In particolare va evidenziato sia il crescente sviluppo di procedure di trattamento ed attacco del campione quali la Digestione a Microonde, la Estrazione con Ultrasuoni, la Estrazione con Solvente sotto Vuoto e l'Ablazione Laser, che l'impiego di tecniche cromatografiche separative efficaci e veloci quali la HPLC e la HPIC e le nuove tecniche strumentali di misura quali la ICP-MS

Nella Tabella 2 sono riportate e confrontate le norme standard elaborate da alcuni Enti per tutte quelle procedure, tecniche strumentali di misura, metodi di separazione ed analisi radiochimica, di interesse per la caratterizzazione radiologica di un *waste* radioattivo

	<i>UNI</i>	<i>AFNOR</i>	<i>ISO</i>
High-resolution gamma spectrometry in integral mode with open geometry		<b>X</b>	<b>X X</b>
Scaling factor		<b>X</b>	<b>X</b>
Assessment of radionuclides by non destructive measurement of radionuclide tracers		<b>X</b>	
Contaminazione superficiale	<b>X*</b>		<b>X X</b>
Calibration of an activity measurement facility of radioactive waste forms by passive neutron counting		<b>X</b>	
Collection of the applicable documents for the characterization...	<b>X</b>	<b>X X</b>	
Determinazione U			<b>X X X</b> <b>X X</b>
Determinazione isotopi alfa del Pu	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X X X</b> <b>X X X</b>
Chemical separation and purification of U and Pu in nitric acid solutions ...			<b>X</b>
Measurement of elemental impurities in U and Pu...			<b>X</b>
Determinazione Pu, Am, Cm	<b>X</b>	<b>X, solo Pu</b>	

Determinazione Np			<b>X X</b>
Determinazione dell'attività alfa e beta nelle acque	<b>X</b>		<b>X X</b> <b>X X</b>
Determinazione Fe e Ni	Progetto di norma UNICEN 215	<b>X X</b>	
Determinazione Sr	<b>X</b>	<b>X</b>	
Determinazione trizio	<b>X</b>	<b>X X X</b> <b>X X</b>	
Determinazione <sup>14</sup> C		<b>X</b>	
Method for testing the long-term alpha irradiation stability of matrices...			<b>X</b>
Reference beta-particle radiation...			<b>X X</b>
Guide for pre-analysis dissolution of effluents, waste and embedding matrices		<b>X</b>	
Sampling airborne radioactive materials from the stacks...			<b>X</b>
Measurement of radioactivity in the environment: Soil			<b>X</b>

**TABELLA 2:** Comparazione Norme Standard elaborate da UNI, AFNOR e ISO

\* *recepita in toto da ISO 7503*

**X** *numero di norme disponibili sull'argomento in esame*

# **Estratti Norme UNI**

***ALLEGATO 1***

## **UNI 9498-1 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CRITERI GENERALI (Settembre 1989)**

La presente norma descrive i principi e i fattori, sia di tipo gestionale-amministrativo sia di ordine tecnico, che occorre considerare per la disattivazione (*decommissioning*) di un qualsiasi impianto nucleare, sia esso un reattore di potenza o di ricerca, un'installazione di preparazione materiali o di trattamento rifiuti o un deposito temporaneo. La presente norma risulta così non applicabile ai depositi definitivi, alle miniere uranifere, agli impianti in cui non si è prodotta radioattività durante l'esercizio e agli impianti in futuro convertiti a un uso nucleare. La norma fornisce ai responsabili della pianificazione e dell'esecuzione delle operazioni di disattivazione le modalità da mantenere per una protezione adeguata a persone ed ambiente al fine di raggiungere una situazione senza vincoli radiologici per l'impianto e il sito. Non sono previste le attività relative all'interruzione volontaria dell'esercizio in seguito al verificarsi di un incidente, così come esulano dalla norma stessa gli aspetti legati al trattamento, al trasporto e allo smaltimento dei rifiuti radioattivi.

La norma presenta i tre stadi di disattivazione (conservazione con sorveglianza, rilascio parziale e rilascio totale del sito) definiti tramite diversi parametri-requisiti e descrive per ognuno i criteri di intervento, i fattori rilevanti per la pianificazione e l'esecuzione delle attività di *decommissioning* (condizioni dell'impianto, analisi della radioattività ad esso associata, recupero materiali, tecnologia disponibile, gestione dei materiali di risulta, costi).

## **UNI 9498-2 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - TECNICHE DI DECONTAMINAZIONE (Dicembre 1991)**

La presente norma illustra i principi e le metodologie da considerare per le operazioni di pianificazione ed esecuzione dell'attività di decontaminazione di un impianto nucleare in disattivazione, al fine di migliorare le condizioni di protezione radiologica ed ottenere una gestione ottimale dei rifiuti. La norma è applicabile a tutti gli impianti nucleari, ad eccezioni di quelli che in seguito ad incidente presentano una contaminazione generalizzata e diffusa a componenti, strutture ed edifici del sito. Esulano dalla norma stessa gli aspetti legati al trattamento, al trasporto e allo smaltimento dei rifiuti radioattivi.

Dopo aver definito gli obiettivi dei processi di decontaminazione, la norma descrive le attività preliminari e la pianificazione dell'intervento, i criteri di scelta della tecnica decontaminazione e le operazioni necessarie. In appendice vengono riportati alcuni metodi di decontaminazione, sia per via chimica che attraverso processi fisici.

## **UNI 9498-3 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CONSERVAZIONE CON SORVEGLIANZA (Dicembre 1991)**

La presente norma individua le operazioni necessari da compiere su un impianto nucleare al termine dell'esercizio al fine di lasciarlo in condizioni di conservazione con sorveglianza (stadio 1). È rivolta ai responsabili delle operazioni di pianificazione ed esecuzione delle operazioni di *decommissioning* e si estende dalla decisione dell' esercente di interrompere in maniera definitiva l'esercizio dell'impianto fino al completamento delle procedure volte al raggiungimento dei requisiti propri dello stadio 1.

In essa vengono dettagliati i criteri operativi di intervento (attrezzature di lavoro e di protezione, sistemi di misura e controllo radioattività, sequenza ottimale di esecuzione) ed i criteri per la costituzione di un archivio informazioni (inventario radioattività, descrizione impianto, elenco operazioni di controllo).

## **UNI 9498-4 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - SMANTELLAMENTO (Dicembre 1991)**

La presente norma illustra metodi e principi da considerare per le attività di smantellamento e rimozione di strutture e componenti contaminati e/o attivati in un impianto nucleare. Fornisce inoltre ai responsabili delle operazioni di pianificazione ed esecuzione delle operazioni di

*decommissioning* raccomandazioni ed indicazioni da seguire per mantenere un'adeguata protezione a lavoratori, pubblico e ambiente. Il campo di applicazione degli interventi gestionali, contabili, amministrativi (non trattati in maniera in maniera specifica) e tecnici, programmati e documentati, si estende dal momento della decisione da parte dell'esercente di interrompere definitivamente l'esercizio dell'impianto fino al raggiungimento di una situazione priva di vincoli radiologici. L'elenco degli impianti ai quali è applicabile questa norma e gli argomenti che esulano dalla stessa sono i medesimi citati nella sezione 1.

Dopo aver definito lo smantellamento e i relativi obiettivi, la norma elenca i materiali di interesse, le attività preliminari e di pianificazione dell'intervento, i criteri di scelta della tecnica di smantellamento e le operazioni da attuare sui materiali in esame. In appendice sono riportate alcune tecniche di taglio.

### **UNI 9498-5 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA (Dicembre 1991)**

La presente norma illustra le metodologie, controllate e documentate, per la valutazione dei campi di radiazione residua al fine della caratterizzazione radiologica degli impianti nucleari in disattivazione. La norma fornisce all'esercente e agli addetti alle operazioni di *decommissioning* indicazioni e raccomandazioni di ordine tecnico riguardanti la valutazione dell'inventario di radioattività presente nell'impianto (sia esso un reattore di potenza o di ricerca, un deposito temporaneo, un'installazione di preparazione del materiale o di trattamento rifiuti) o in un particolare componente, sistema o area dello stesso, preliminarmente alle operazioni di disattivazione.

Dopo aver precisato le finalità della caratterizzazione (scelta degli stadi da adottare, tempi d'attesa, tecnologie da utilizzare, calcolo delle dosi, quantitativi dei rifiuti e loro gestione) e i relativi criteri guida, la norma descrive i parametri delle determinazioni analitiche e delle determinazioni sperimentali (misure dirette e indirette) ed infine presenta un possibile prospetto dei risultati ottenuti.

### **UNI 9498-6 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA E CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI PRODOTTI (Novembre 1998)**

La presente norma stabilisce i fattori da considerare per la caratterizzare e la classificazione di materiali prodotti durante la disattivazione degli impianti nucleari, ad eccezione di miniere uranifere, depositi definitivi e impianti in cui non si è prodotta radioattività durante l'esercizio. Essa fornisce i criteri per la scelta della metodologia più adatta allo svolgimento delle operazioni necessarie in funzione della tipologia dei materiali, nonché le indicazioni per una scelta della strumentazione di misura atta a definire lo stato radiologico dei suddetti materiali, con il vincolo di mantenere un'adeguata protezione sanitaria dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente. Essa si applica a tutte le attività tecnico-gestionali che si rendono necessarie per una corretta caratterizzazione di tutti i materiali prodotti a seguito delle operazioni di disattivazione degli impianti nucleari, compresi i rifiuti tossici.

La norma classifica così i materiali in base alla tipologia e alla concentrazione dei radionuclidi in essi contenuti, ai livelli di tossicità ed alla possibilità tecnico-economica di una loro futura riutilizzo o riciclo, ottenendo una suddivisione in materiali destinati a rilascio incondizionato, a rilascio condizionato e rifiuti radioattivi. Vengono poi presentati i criteri di scelta delle metodologie per la caratterizzazione e della strumentazione. (v. figura 1). In appendice sono riportate le schede reperimento dati (componenti metallici, apparecchiature, materiali vari) e le proposte estere per il rilascio condizionato.

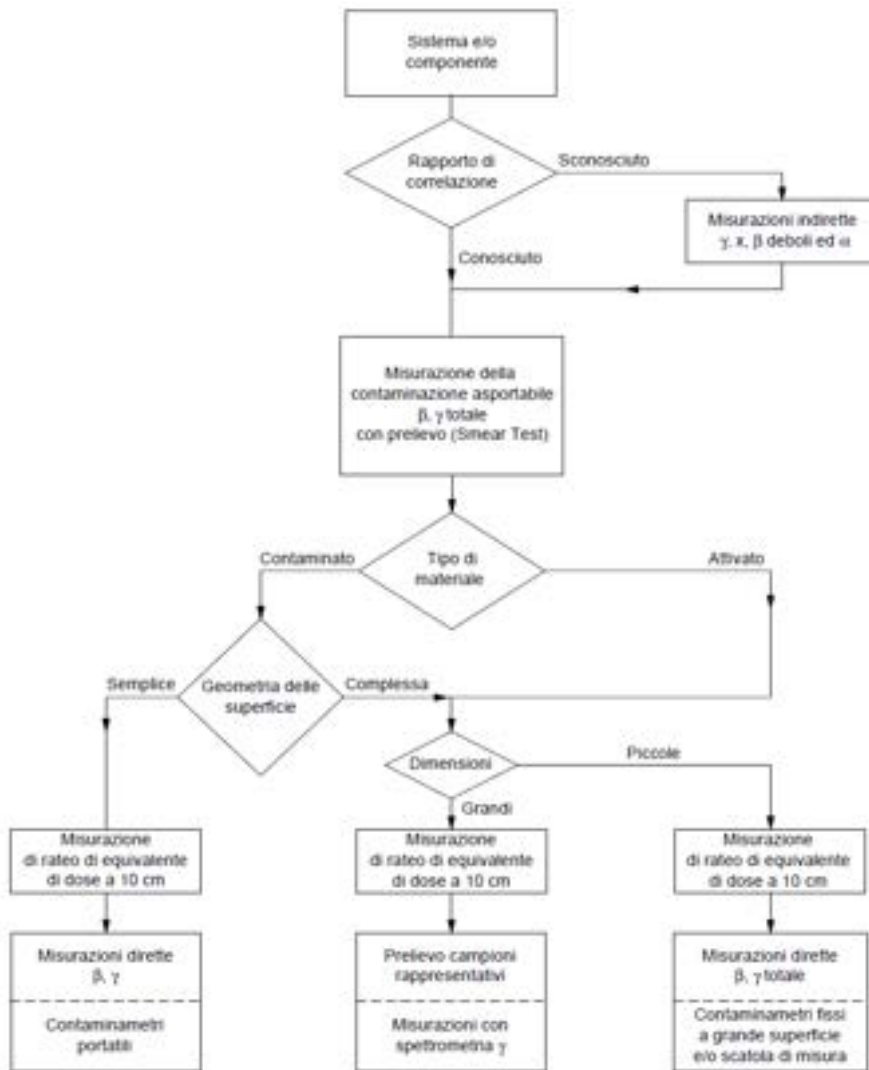


Figura 1: Sequenza delle misurazioni da effettuare per la caratterizzazione dei materiali

### UNI 9498-7 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - CRITERI PER IL RILASCIO PARZIALE (Novembre 1998)

La presente norma riguarda gli impianti nucleari in disattivazione per i quali sia stato deciso di differire lo smantellamento finale (Stadio 3) per un periodo di tempo convenientemente lungo e di metterli in condizioni di Stadio 2 e riguarda prevalentemente i seguenti tipi di impianti nucleari: reattori nucleari, complessi nucleari sottocritici, impianti nucleari di potenza. La norma descrive infine le caratteristiche della zona non rilasciata e della zona rilasciata dettagliando i vincoli di quest'ultima.

### UNI 9498-8 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - REQUISITI DI UN DEPOSITO TEMPORANEO (Novembre 1998)

La presente norma illustra i criteri che devono essere seguiti nella progettazione di un Deposito Temporaneo per i rifiuti radioattivi derivanti dall'esercizio e dallo smantellamento degli impianti nucleari (in particolare quelli in forma solida e che rispettano le concentrazioni di radioattività stabilite dalla normativa e dalle disposizioni vigenti per l'immagazzinamento temporaneo o per lo smaltimento). Essa fornisce altresì i requisiti tecnici generali che devono essere soddisfatti sia nella realizzazione e gestione di nuovi DT, sia nella ristrutturazione ed adeguamento di infrastrutture già esistenti. Fornisce inoltre i criteri di radioprotezione e protezione dell'ambiente tali da rendere minime le dosi alla popolazione ed ai lavoratori e da preservare la qualità dell'ambiente per gli usi

attuali e futuri del territorio. Il campo di applicazione temporale della norma si estende dalla decisione formale dell' esercente di interrompere in via definitiva l' esercizio dell' impianto, fino al raggiungimento di una situazione priva di vincoli radiologici ed essa si applica a tutti i tipi di impianti nucleari fuorché i depositi di smaltimenti, gli impianti nei quali non è stata prodotta radioattività durante l' esercizio e gli impianti che in futuro verranno convertiti a un nuovo uso nucleare. Ancora, esulano dallo scopo della presente norma gli aspetti legati al trattamento, condizionamento, trasporto e smaltimento dei rifiuti radioattivi.

Vengono dunque, all' interno della norma, specificati i requisiti di radioprotezione, tecnici e provvedimenti gestionali, mentre nell' appendice sono presentati i tipi di rifiuto e i relativi limiti di concentrazione dei radionuclidi per la sosta in depositi temporanei.

### UNI 11015 DISATTIVAZIONE IMPIANTI NUCLEARI - DETERMINAZIONE DEGLI ISOTOPI DI PU, AM E CM (Marzo 2003)

La presente norma riguarda procedimenti radiochimici per la determinazione dei principali isotopi alfa-emettitori del plutonio, dell' americio e del curio nonché per la determinazione del <sup>241</sup>Pu nelle seguenti matrici: acciai (leghe ferrose), conglomerati di cemento, nonché resine, ceneri, ceneri cementate, residui sospesi e depositati di natura fangosa, provenienti dalla disattivazione di impianti nucleari. Essa però non tratta le modalità di campionamento ma può essere anche utilizzata per effettuare valutazioni di carattere radioprotezionistico con riferimento ai limiti annuali di introduzione (ALI) e ai limiti derivati di concentrazione (DAC).

La norma descrive prima il principio del metodo (cfr. figura 2), i reagenti e la loro preparazione, le apparecchiature e la strumentazione, e in seguito procede con la descrizione del procedimento (pre-trattamento del campione, separazione chimica degli isotopi, elettrodeposizione, preparazione sorgenti, tecniche di misura, calcoli). Per quanto riguarda i risultati viene proposto in appendice un esempio di rapporto di prova.

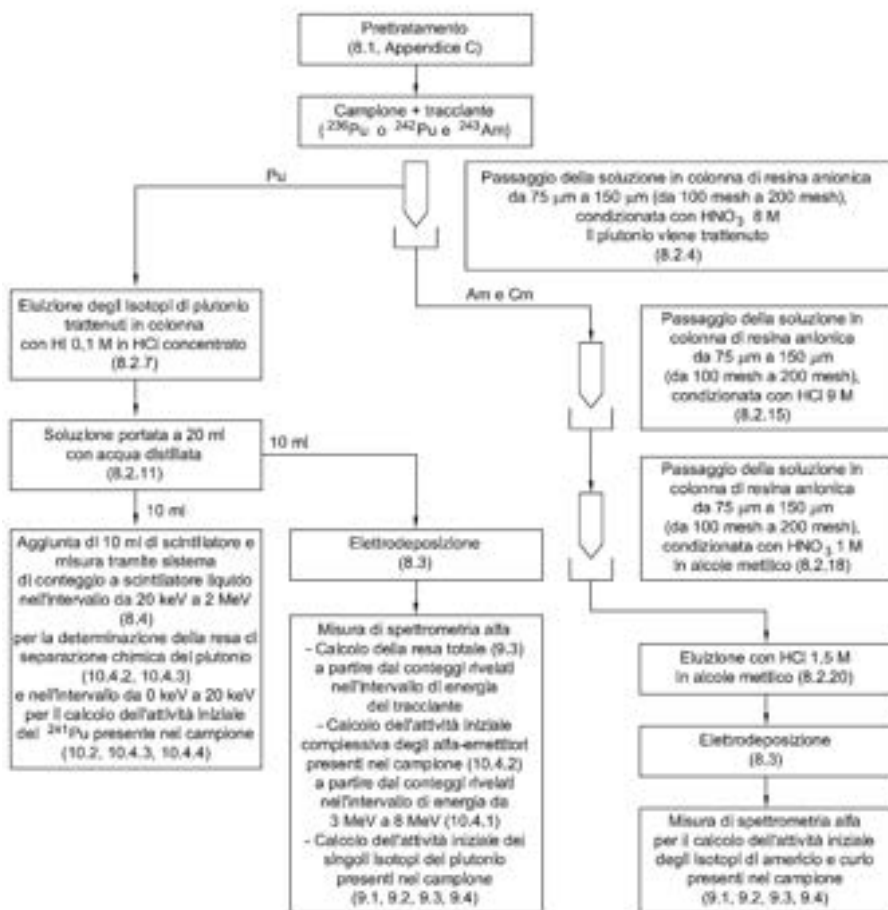


Figura 2: Schema delle procedure per la determinazione degli isotopi di Pu, Am, Cm

## **UNI 10621 MANUFATTI DI RIFIUTI RADIOATTIVI CONDIZIONATI – CARATTERIZZAZIONE (Novembre 1997)**

La presente norma stabilisce l'elenco dei parametri da determinare per la caratterizzazione di manufatti di rifiuti radioattivi condizionati (nel seguito chiamati manufatti), in vista del loro confinamento e smaltimento.

Si definisce manufatto un prodotto finale del processo di condizionamento del rifiuto radioattivo, e in questa norma essi sono suddivisi in 3 categorie.

1. prevedono tempi da alcuni mesi ad alcuni anni per decadere a livelli di radioattività minori di quelli necessari per lo smaltimento in ambiente
2. prevedono tempi da alcuni anni ad alcune centinaia di anni per decadere a livelli di emissione minori di 1 Bq/g
3. prevedono tempi di dimezzamento maggiori di alcune centinaia di anni

## **UNI 10704 RIFIUTI RADIOATTIVI – CLASSIFICAZIONE (Gennaio 1998)**

La norma stabilisce la classificazione dei rifiuti radioattivi (solidi e liquidi), comunque prodotti, e suddivide i medesimi in gruppi, tipi e classi. Poiché i rifiuti radioattivi hanno anche caratteristiche tipiche dei rifiuti "speciali" e/o "tossici e nocivi", essi sono classificati anche con riferimento a quanto previsto dalla vigente legislazione, relativa a tali rifiuti. La norma stabilisce la classificazione dei rifiuti radioattivi in base ai seguenti parametri:

- stato fisico
- caratteristiche fisico-chimiche
- radiotossicità
- radioattività
- tipo di radiazione emessa
- tempo di dimezzamento del radionuclide
- caratteristiche specifiche del rifiuto

Per quanto riguarda la radiotossicità, la presente normativa stabilisce una classificazione in base all'indice di radiotossicità, IR.

## **UNI 10755 MANUFATTI DI RIFIUTI RADIOATTIVI CONDIZIONATI – COLORAZIONE, MARCATURA, SCHEDATURA E REGISTRAZIONE (Aprile 1999)**

La normativa prevede la colorazione indicante la categoria di appartenenza del rifiuto secondo la UNI 10621; Le colorazioni previste sono:

- Categoria 1 nessuna fascia
- Categoria 2 fascia in colore verde
- Categoria 3 fascia in colore azzurro

In aggiunta, se nel manufatto sono presenti materiali fissili in quantità tale che, in ordine alla regolamentazione per il trasporto di materiali radioattivi, il manufatto stesso deve essere considerato come un collo contenente materiali fissili secondo la normativa vigente, allora deve essere riportata una fascia in colore rosso. La dimensione delle fasce deve essere pari a circa un decimo dell'altezza del manufatto, ed in ogni caso non minore di 10 cm e, per metterla in risalto, devono essere poste delle fasce bianche di contrasto superiormente ed inferiormente. Una volta inserito il codice-colori, il manufatto deve essere identificato tramite un'apposita sigla, schedato e registrato.

## **UNI 11193 METODI DI PROVA PER LA QUALIFICAZIONE DEI PROCESSI DI CONDIZIONAMENTO PER MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Novembre 2006)**

I manufatti di rifiuti radioattivi condizionati devono possedere determinate proprietà meccaniche, fisiche e chimiche che li rendano idonei allo smaltimento nel deposito finale. I requisiti minimi che tali proprietà devono rispettare sono stabiliti dalle autorità competenti.

Il processo di condizionamento deve essere definito di volta in volta secondo le caratteristiche particolari del rifiuto stesso, al fine di garantire il rispetto dei requisiti applicabili al deposito temporaneo (300 anni), al trasporto ed alle fasi di vita del deposito finale, definite nella UNI 11195. Il rifiuto è catalogato in 2 tipi: tipo Q e tipo R.

Il rifiuto condizionato deve avere diverse caratteristiche come:

- Resistenza a compressione
- Resistenza ai cicli termici
- Resistenza al danno da radiazioni
- Resistenza al fuoco
- Resistenza alla lisciviazione
- Assenza di liquidi liberi
- Resistenza alla biodegradazione
- Resistenza all'immersione
- Resistenza alla degradazione
- Resistenza all'impilamento, resistenza alla caduta e resistenza alla penetrazione
- Generazione di gas
- Tenuta

### **Criteri di progetto per contenitore speciale**

Il progetto del contenitore speciale deve:

- tener conto degli effetti chimici e corrosivi dovuti ai rifiuti contenuti ed all'ambiente di smaltimento, per tutte le fasi di vita del deposito finale;
- tener conto degli effetti della degradazione dei rifiuti presenti nel contenitore (per esempio da irraggiamento);
- garantire un'adeguata resistenza meccanica per sopportare i carichi derivanti dalle operazioni di preparazione, deposito temporaneo e movimentazione nel sito di produzione e nel deposito finale, ed in particolare, per sopportare almeno un'accelerazione di sollevamento pari a tre volte l'accelerazione di gravità;
- garantire il contenimento dei radionuclidi per tutte le fasi di vita del deposito finale;
- rispettare i requisiti per il trasporto di materiali radioattivi in colli di Tipo A;
- considerare i carichi termici derivanti dalle operazioni di preparazione del manufatto e dalle condizioni ambientali del deposito temporaneo e del deposito finale.

### **UNI 11194 CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DI MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 AI FINI DEL TRATTAMENTO DEL DEPOSITO FINALE (Dicembre 2006)**

La caratterizzazione radiologica dei rifiuti si inserisce all'interno del processo delineato nella UNI 10621, che tiene conto non solo delle proprietà radiologiche, ma anche delle proprietà fisiche e chimiche, necessarie per la completa definizione di un manufatto di rifiuti radioattivi condizionati. Un'adeguata caratterizzazione radiologica dei rifiuti è fondamentale per una loro corretta gestione e per la verifica del rispetto dei criteri di accettazione del deposito finale, nonché per fornire le informazioni necessarie per la gestione dei rifiuti nel deposito stesso. Alla data di pubblicazione della presente norma è in vigore la Guida Tecnica n. 26 dell'ENEA DISP, nella quale sono indicati i limiti di attività per unità di massa per i rifiuti posti in una forma adatta allo smaltimento. La caratterizzazione radiologica consente di verificare il rispetto di questi limiti.

La caratterizzazione radiologica è una fase importante nella gestione dei rifiuti radioattivi e dei manufatti derivanti dal trattamento e condizionamento dei rifiuti stessi. Infatti, mediante la caratterizzazione radiologica, si ottengono i dati e le informazioni necessari per classificare i rifiuti, definire le modalità per il loro trattamento e condizionamento, salutare l'impatto radiologico connesso con queste attività e verificare il rispetto di limiti e prescrizioni per lo smaltimento. Lo schema riportato nella figura 1 illustra sinteticamente la collocazione delle varie fasi di

caratterizzazione radiologica nella gestione dei rifiuti radioattivi. Questo schema è applicabile ai rifiuti radioattivi provenienti dagli impianti nucleari (produzione di energia, ciclo del combustibile nucleare e laboratori); per le applicazioni mediche ed industriali, lo schema è notevolmente più semplice, mancando la parte relativa allo smantellamento dell'installazione.

Le modalità di caratterizzazione radiologica dei rifiuti sono diverse se questi derivano dall'esercizio dell'impianto nucleare oppure dalle attività di smantellamento e decontaminazione. Nel primo caso, si eseguono valutazioni e misurazioni sul rifiuto, mentre nel secondo caso si fa riferimento all'inventario della radioattività presente nella parte dell'impianto (sistema, componente o struttura) la cui decontaminazione e demolizione hanno dato origine ai rifiuti. In tutti i casi, la disponibilità di dati ed informazioni di esercizio influenza notevolmente la pianificazione e l'estensione delle attività di caratterizzazione radiologica. La mancanza di informazioni e dati storici costringe ad estendere l'indagine sperimentale per completare la caratterizzazione radiologica.

### **UNI 11195 SISTEMA INFORMATIVO PER LA GESTIONE DI UN DEPOSITO DI TIPO SUPERFICIALE PER MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Novembre 2006)**

I manufatti di rifiuti radioattivi di Categoria 2, così come definiti nella UNI 10621, sono quelli che richiedono tempi variabili da qualche decina fino ad alcune centinaia di anni per raggiungere concentrazioni di radioattività dell'ordine di alcune centinaia di becquerel al grammo, nonché quelli contenenti radionuclidi con tempo di dimezzamento molto lungo, purché in concentrazioni del medesimo ordine di grandezza. Tali manufatti, mediante collocamento in appositi moduli, possono essere smaltiti in un deposito finale di tipo superficiale. Le barriere fisiche del deposito, nonché la recuperabilità stessa dei moduli, ossia la possibilità di ripristinare le condizioni iniziali del sito, rimuovendo i manufatti radioattivi con gli stessi criteri di radioprotezione con cui sono stati messi a dimora, consentono di garantire il richiesto livello di protezione dell'ambiente e dell'uomo. Lo sviluppo di un adeguato piano di carico del deposito che preveda particolari schemi di segregazione, quali l'utilizzo dei moduli meno radioattivi come schermo a quelli più radioattivi, può consentire la riduzione del rateo di dose sia in condizioni normali che in caso di eventi incidentali esterni. Allo scopo di gestire in modo organizzato e qualificato i dati e le informazioni che vengono utilizzati prima, durante e dopo la fase di esercizio di un deposito finale, risulta necessario disporre, durante tutte le fasi di gestione del deposito, di un sistema informativo.

La presente norma contiene i criteri di base e le metodologie per la progettazione ed il mantenimento di un sistema informativo per la gestione di un deposito di tipo superficiale (SIGED), in seguito chiamato deposito, per manufatti di rifiuti radioattivi appartenenti alla Categoria 2 come definita nella UNI 10621, in particolare per quanto riguarda:

- l'acquisizione dei dati;
- la pianificazione della consegna dei manufatti;
- l'ispezione a ricevimento e la verifica di conformità dei manufatti ai criteri di accettazione del deposito;
- il monitoraggio dei manufatti dal momento della presa in carico;
- la preparazione dei moduli e la loro messa a dimora nel deposito;
- la marcatura dei moduli;
- le modalità di conservazione dei dati e delle informazioni.

I dati possono essere utilizzati in tutte le fasi di vita del deposito, ed in particolare:

- durante la fase pre-operazionale: nella progettazione, nel processo autorizzativo, nella costruzione e messa in esercizio del deposito;
- durante la fase di esercizio: nella fase di carico del deposito e nell'eventuale recupero dei moduli all'interno del deposito;
- durante la fase di chiusura e del successivo controllo istituzionale: negli eventuali interventi manutentivi al deposito o nel trasferimento dei moduli immagazzinati ad altro sito;

- dopo la fase di controllo istituzionale: nell'eventuale recupero, totale o parziale, del materiale contenuto nel deposito.

Il sistema informativo consente di:

- supportare l'iter autorizzativo del deposito;
- ottimizzare la programmazione dello smaltimento dei manufatti, le procedure di accettazione e la gestione del deposito;
- supportare le valutazioni di sicurezza, di impatto ambientale e di esposizione alle radiazioni per tutta la vita del deposito;
- pianificare le operazioni correttive necessarie nel caso di non conformità o deterioramenti;
- mettere a disposizione dei gestori di altri depositi e delle future generazioni informazioni di interesse (è prevedibile la costituzione di una banca dati internazionale dei rifiuti radioattivi situati in depositi);
- contribuire a determinare i costi di smaltimento dei rifiuti nel deposito.

Il sistema informativo di gestione si applica anche alle informazioni sul deposito relative a:

- il sito;
- i disegni costruttivi del deposito;
- le modifiche alla costruzione incluse le azioni correttive;
- i sistemi attivi e passivi di monitoraggio e controllo;
- la manutenzione e la riparazione delle barriere artificiali;
- i controlli ambientali effettuati.

È necessario inoltre che le informazioni vengano mantenute nel tempo per permettere alle generazioni future di valutare in modo corretto, anche alla luce di eventuali nuovi criteri di sicurezza, l'impatto radiologico con la biosfera e la possibilità di un eventuale intervento sul deposito per il ripristino delle condizioni iniziali del sito, cioè per la sua reversibilità.

Sulla base della classificazione del loro potenziale di pericolosità viene assegnata una chiave di priorità, che servirà in fase di stoccaggio.

La maggior parte dei controlli per assicurare la conformità dei manufatti ai criteri di accettazione del deposito è condotta direttamente dai produttori. I controlli includono quelli previsti nel sistema di gestione del produttore e le ispezioni fatte direttamente presso il produttore. All'atto della consegna dei manufatti al deposito, il gestore del deposito attua le procedure per verificare la rispondenza dei dati forniti dal produttore. La verifica precedente alla presa in carico del manufatto è l'ultima prima della messa a dimora definitiva. Le verifiche devono anche assicurare che i manufatti non siano stati danneggiati durante il trasporto al deposito.

### **UNI 11196 CONTENITORI PER IL DEPOSITO FINALE DI MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Novembre 2006)**

La presente norma identifica la tipologia e definisce le caratteristiche dei contenitori di manufatti appartenenti alla Categoria 2, così come definiti nella UNI 10621, e stabilisce i requisiti fondamentali per il loro stoccaggio, trasporto e conferimento al deposito finale. Nell'individuazione dei requisiti per i contenitori, si fa riferimento ad una forma del rifiuto derivante da un processo di condizionamento che sia stato qualificato secondo quanto specificato nella UNI 11193.

Nella norma viene data una precisa descrizione di dimensioni e forma dei diversi contenitori atti al confinamento del *waste*.

### **UNI 11197 MODALITA' DI IDENTIFICAZIONE E DI RINTRACCIABILITA' DELL'INFORMAZIONE PER MANUFATTI APPARTENENTI ALLA CATEGORIA 2 (Dicembre 2006)**

La presente norma stabilisce le modalità di gestione informatica dei dati relativi ai manufatti di rifiuti radioattivi di Categoria 2, così come definiti nella UNI 10621, nel seguito chiamati manufatti, generati dalle attività di esercizio e di smantellamento di impianti nucleari.

### **UNI 9778 DETERMINAZIONE DEGLI ISOTOPI ALFA EMETTITORI DEL PU NEI TERRENI, FANGHI E SEDIMENTI (Novembre 1990)**

La presente norma descrive un metodo radiochimica per la determinazione nei terreni, fanghi e sedimenti dell'attività dovuta agli isotopi alfa del Plutonio. Tale metodo è basato su:

- Lisciviazione del campione
- Separazione chimica del Pu mediante cromatografia di estrazione
- Elettrodeposizione su disco di acciaio
- Misura emissione alfa tramite rilevatore a stato solido o camera a ionizzazione

Sono così presentati i materiali, i reagenti e le soluzioni d'uso, la strumentazione radiometrica e le apparecchiature di laboratorio, ed infine il procedimento (pre-trattamento del campione, separazione del Pu, preparazione delle sorgenti, misura radiometrica).

### **UNI 9882 DETERMINAZIONE DEI RADIONUCLIDI NEL LATTE (Luglio 1991)**

La presente norma, pur avendo per scopo la determinazione tramite un opportuno metodo spettrometrico e radiochimico dei principali contaminanti radioattivi ambientali trasferiti nel latte ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ), può essere sfruttata per la determinazione degli stessi radionuclidi in altre matrici, per esempio derivanti dalle operazioni di *decommissioning*, in quanto le tecniche di misura prescindono dal sistema di prelievo adottato per i campioni. La presente norma è inoltre estendibile a quei radionuclidi i cui metodi di misura per spettrometria gamma nell'intervallo di energia compreso fra 0,1 MeV e 2 MeV.

Per quanto riguarda gli isotopi di Cesio e Iodio, il metodo di misura si basa sul riconoscimento del radionuclide attraverso l'identificazione delle righe spettrali caratteristiche e la determinazione quantitativa dell'attività a essi associate mediante confronto con attività di una sorgente nota (per esempio, rilevatore al Ge(Li) e adeguata catena elettronica di analisi).

Per quanto riguarda invece lo  $^{90}\text{Sr}$ , il metodo si basa sulla separazione tramite resina a scambio ionico. La determinazione quantitativa viene effettuata misurando l'attività dell' $^{90}\text{Y}$  (figlio del precedente nuclide) e risalendo così all'attività del padre.

### **UNI 9888 DETERMINAZIONE RADIOCHIMICA DELLO $^{90}\text{SR}$ (Dicembre 1991)**

La presente norma ha per scopo la determinazione di bassi livelli di  $^{90}\text{Sr}$  in alcune matrici di carattere ambientale (sono richieste procedure differenti di preparazione del campione), quali terreno, fanghi, sedimenti, vegetali ed alcuni alimenti, ma le tecniche di analisi, caratterizzazione e misura possono essere facilmente estese a matrici di altra provenienza, quali materiali di risulta da *decommissioning*.

Il metodo propone una prima essiccazione del campione e un successivo attacco chimico, ai quali segue l'estrazione di  $^{90}\text{Sr}$  e la separazione dal figlio  $^{90}\text{Y}$ , tramite il quale si preparerà una sorgente beta per il conteggio e il conseguente calcolo dell'attività e della concentrazione del padre. La norma descrive in dettaglio i reagenti necessari, le apparecchiature da utilizzare, i procedimenti di pre-trattamento, separazione, conteggio e per ultimo i calcoli finali.

### **UNI 10314 DETERMINAZIONE DELL'URANIO NATURALE E DEL $^{226}\text{RN}$ NELLE FOSFORITI E NEI LORO DERIVATI (Febbraio 1994)**

La presente norma descrive un metodo radiochimica per la determinazione dell'uranio naturale nelle fosforiti e nell'acido fosforico e per la determinazione del  $^{226}\text{Ra}$  nelle fosforiti e nei gessi. tale metodo si basa su:

- Lisciviazione acida del campione
- Separazione chimica dell'uranio naturale mediante cromatografia di estrazione
- Elettrodeposizione su disco di acciaio e determinazione tramite spettrometria alfa
- Determinazione del  $^{226}\text{Ra}$  per co-precipitazione e successivo conteggio alfa dopo il raggiungimento con i figli

### **UNI 11261 DETERMINAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI ATTIVITA' DI $^{222}\text{Rn}$ NELLE ACQUE MEDIANTE SCINTILLAZIONE LIQUIDA (Aprile 2008)**

La presente norma definisce il metodo analitico adottato per la determinazione della concentrazione del  $^{222}\text{Rn}$  nelle acque di rete mediante scintillazione liquida in fase eterogenea (concentrazioni maggiori di 0,025 Bq/kg). Gli interferenti radiometrici della determinazione sono gli eventuali radionuclidi solubili in un liquido scintillante non miscibile all'acqua (per esempio sostanze organiche marcate). La norma non si applica ad acque gasate e ad acque con temperature maggiori di quella ambiente e risulta estendibile all'analisi di acque provenienti da altre fonti.

La norma elenca i reagenti, materiali e apparecchiatura, descrive le procedure di preparazione e conservazione dei campioni e discute i metodi di calcolo della concentrazione di attività e la stima dell'incertezza di misura.

### **UNI 11260 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI ATTIVITA' ALFA E BETA NELLE ACQUE PER IL CONSUMO UMANO (Aprile 2008)**

La presente norma si applica alla misurazione mediante scintillazione liquida del contenuto di attività  $\alpha$ -totale e  $\beta$ -totale in campioni di acque destinate al consumo umano. La presente norma rimanda, mediante riferimenti datati, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni (ISO).

Il metodo si basa sulla misurazione contemporanea mediante scintillazione liquida delle emissioni alfa e beta in campioni di acqua, tal quale o preconcentrata (per migliorare la sensibilità della metodica), per lenta evaporazione. Le misurazioni sono eseguite mediante conteggio con scintillatore liquido dotato di dispositivo per la discriminazione delle componenti alfa e beta, che viene effettuata per mezzo dell'analisi della forma e/o del tempo di decadimento degli impulsi prodotti. Sono così elencati reagenti, materiali e strumenti, e dopo aver introdotto la procedura di preparazione e conservazione dei campioni, viene descritta la procedura d'analisi, di misura e di calcolo.

### **UNI 10313 DETERMINAZIONE DEL $^{210}\text{Pb}$ NEI CARBONI E NELLE CENERI DI CARBONE (Febbraio 1994)**

La presente norma descrive un metodo radiochimico per la determinazione del  $^{210}\text{Pb}$  nei carboni e nelle ceneri di carbone mediante conteggio beta a basso fondo del figlio  $^{210}\text{Bi}$ . Tale metodo è basato su una prima separazione del piombo mediante cromato e su una successiva purificazione tramite resina a scambio ionico.

La norma elenca quindi reagenti e strumentazione, descrive dettagliatamente il procedimento di separazione-purificazione-preparazione sorgente  $^{210}\text{Pb}$  e illustra i calcoli per la determinazione dell'attività del campione in esame.

### **UNI ISO 7503-1 VALUTAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE SUPERFICIALE PARTE 1: EMETTITORI BETA (ENERGIA BETA MASSIMA MAGGIORE DI 0,15 MeV) ED EMETTITORI ALFA (Marzo 2010)**

Questa normativa si applica al fine di valutare la contaminazione su superfici di attrezzature e strutture, contenitori di materiali radioattivi e sorgenti sigillate in termini di attività per unità di superficie; essa si applica agli emettitori beta con energia beta massima,  $E_{\text{max}}$ , maggiore di 0,15 MeV ed emettitori alfa. La norma non si applica alla valutazione della contaminazione della pelle e degli indumenti.

Questa parte della norma si applica per la valutazione della contaminazione superficiale di equipaggiamenti, infrastrutture, contenitori di materiale radioattivo e di sorgenti sigillate. Non è da applicarsi alla contaminazione della pelle e degli indumenti. Si applica agli emettitori beta con energia massima di emissione maggiore di 0,15 MeV e a tutti gli emettitori alfa, ed a tutti gli emettitori beta ed alfa il cui decadimento è circa 100 particelle per 100 decadimenti.

La norma si applica a superfici contaminate con sostanze radioattive, superfici contaminate la cui radioattività non è trasferibile sotto le normali condizioni lavorative, superfici contaminate la cui radioattività risulta trasferibile sotto le normali condizioni lavorative.

Metodi per valutare la contaminazione superficiale: la normativa fa riferimento allo *smear-test* per una prima valutazione della difficoltà di rimozione della contaminazione superficiale, e successivamente spiega come misurare direttamente la contaminazione superficiale attraverso un rivelatore.

### **UNI ISO 7503-2 VALUTAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE SUPERFICIALE (Marzo 2010) PARTE 2: CONTAMINAZIONE SUPERFICIALE DA TRITIO (marzo 2010)**

La norma si applica alla valutazione della contaminazione da tritio su superfici di attrezzature e strutture, contenitori di materiali radioattivi e sorgenti sigillate. La norma non si applica alla valutazione della contaminazione da tritio della pelle e degli indumenti. Per il tritio è segnalato il problema di rivelazione sia in aria sia su superfici a causa del corto *range* delle particelle beta molli che emette, e a causa dello scambio isotopico che ha con gli atomi di Idrogeno presenti. Per valutare al meglio la presenza di Tritio è necessario usare metodi di rivelazione diretti ed indiretti.

### **PROGETTO DI NORMA UNICEN 215 – DETERMINAZIONE DI <sup>55</sup>FE, <sup>59</sup>NI, <sup>63</sup>NI (Settembre 2004)**

La norma riguarda la determinazione, per mezzo di tecniche di misura radiometriche, di radionuclidi non direttamente rivelabili, quali <sup>55</sup>Fe, <sup>59</sup>Ni e <sup>63</sup>Ni, provenienti dalla disattivazione di impianti nucleari. Vengono illustrati i reagenti chimici, la strumentazione, il metodo di misura e le tecniche di laboratorio per la determinazione dei principali isotopi X e beta emettitori prodotti nell'attivazione di materiali delle seguenti matrici: acciai (leghe ferrose), conglomerati di cemento, resine, ceneri e ceneri cementate, residui sospesi e depositati di natura fangosa.

La metodologia di determinazione prevede schematicamente:

- separazione del Ni dal Fe con resina anionica e successiva purificazione
- verifica dell'avvenuta purificazione mediante conteggio gamma
- determinazione mediante assorbimento atomico delle rese di separazione
- determinazione del <sup>55</sup>Fe mediante conteggio X
- determinazione del <sup>59</sup>Ni mediante conteggio X
- determinazione del <sup>63</sup>Ni mediante scintillazione liquida

***TECH DOC IAEA***

***ALLEGATO 2***

## Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages

*Technical Reports Series No. 383*

This Safety Fundamentals publication provides a coherent set of objectives and principles for protection against ionizing radiation and for ensuring safety in the use of radiation sources. The protection objective and the safety objective, together with the eleven principles that have to be applied to achieve them, represent an international consensus. They provide the basis for the requirements in IAEA Safety Standards for the control of occupational, public and medical exposures and for the safety of sources. The Safety Fundamentals also provide an insight into the general system of protection and safety for those at senior levels in government and regulatory bodies and those responsible for making decisions relating to the uses of radiation in medicine, industry, agriculture, research and other areas. **Contents:** 1. Introduction; 2. Biological effects of irradiation; 3. Objectives of protection and safety; 4. Principles for practices; 5. Principles for intervention; 6. Implementation principles; 7. Infrastructure for protection and safety; Definitions. Chinese, French, Russian and Spanish editions in preparation.

STI/DOC/010/383, 138 pp.; 17 figures; 1997, ISBN 92-0-100497-4, English. Date of Issue: 7 March 1997..

Subject Classification: 0606 – Transport of radioactive material; 0804 – Waste management.

TECH. REP. SER. N.389, “*Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*” (1998)

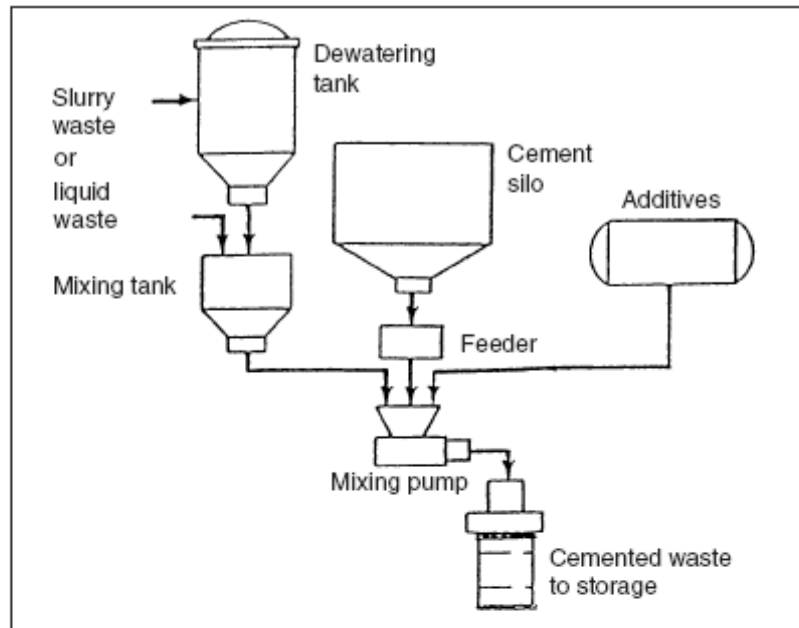


TECHNICAL REPORTS SERIES No. **389**

## **Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes**



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1998



TECHNICAL REPORTS SERIES No. **402**

## Handling and Processing of Radioactive Waste from Nuclear Applications



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2001

IAEA-TECDOC-1504, *“Innovative Waste Treatment and Conditioning Technologies at Nuclear Power Plants”* (2006)

IAEA-TECDOC-1504

***Innovative waste treatment and  
conditioning technologies at  
nuclear power plants***



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency

May 2006

IAEA-TECDOC-1537, “*Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization*” (2007)

IAEA-TECDOC-1537

***Strategy and Methodology for  
Radioactive Waste Characterization***



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

March 2007

IAEA NUCL. EN. SER. N. NW-T-1.18, "Determination and Use of Scaling Factor for Waste Characterization in Nuclear Power Plants" (2009)

