





Chiunque è autorizzato a riprendere parti di questo testo a patto di citare l'articolo con i relativi Autori ed il Volume con i suoi Curatori.

<http://www.ausl.mo.it/dsp/dba>

d-BA2022

**Rischi fisici emergenti
nei luoghi di lavoro**

Convegno Nazionale promosso da:



In collaborazione con:

**Nell'ambito del XXII Salone
della Salute e Sicurezza
nei luoghi di lavoro
BOLOGNA**



Bologna, 23 novembre 2022

**Atti a cura di:
Silvia Goldoni, Angelo Tirabasso**

APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE PER LA PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI NEL CASO DELLE INDUSTRIE CON PRESENZA DI NORM

Rosabianca Trevisi(1), Andrea Bogi(2), Silvia Bucci(3), Elena Caldognetto(4), Giuseppe La Verde(5), Laura Luzzi(6), Federica Leonardi(1), Cristina Nuccetelli(7), Ilaria Peroni(3), Francesco Picciolo(2), Gabriele Pratesi(3), Flavio Trotti(4), Raffaella Ugolini(4), Gennaro Venoso(1), Mariagabriella Pugliese(5)

- 1) Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del lavoro e Ambientale – INAIL, Monte Porzio Catone (RM), Italia
- 2) Servizio Sanitario della Toscana, Unità Sanitaria Toscana Sud-Est, Siena, Italia
- 3) Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), Firenze, Italia
- 4) Agenzia regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), Verona, Italia
- 5) Dipartimento di Fisica “E. Pancini” Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia
- 6) Dip. Ing. Astron. Elett. Energ. (DIAEE), Università degli Studi di Roma “Sapienza”, Roma, Italia
- 7) Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale, Istituto Superiore di Sanità, Roma, Italia

INTRODUZIONE

Con il recepimento della Direttiva del Consiglio 59/2013/EURATOM [1], il sistema regolatorio italiano in materia di radioprotezione (D.Lgs. 101/2020, [2]) ha introdotto nuovi obblighi per gli esercenti di diversi settori industriali con presenza di “NORM”, ove l’acronimo NORM sta per *Naturally Occurring Radioactive Materials*.

In questo articolo si farà riferimento ai risultati di un progetto di ricerca che, a partire dal 2019, INAIL ha avviato per sviluppare strumenti tecnico-operativi, formativi e informativi e soprattutto una metodologia di lavoro utile all’applicazione delle disposizioni di legge in materia di radioprotezione da parte degli *stakeholders*, che sono *in primis* gli esercenti delle *Industrie con presenza di NORM*.

Come già descritto in [3], questo progetto ad oggi si è realizzato attraverso molte attività, portate avanti grazie al contributo di un gruppo di lavoro costituito dai colleghi di ARPAT, ARPAV, ISS, Università di Napoli

Federico II, e Laboratorio di Sanità Pubblica della USL Toscana Sud Est. Prima di entrare nel merito dei risultati del progetto di ricerca, è di seguito riportato un breve cenno agli aspetti normativi.

CENNI SULLA NORMATIVA ITALIANA

Nel nuovo quadro legislativo [2], le *industrie con presenza di NORM* sono classificate come “pratiche”, ovvero “situazioni di esposizione pianificata”, quindi come “situazioni per le quali la radioprotezione può essere pianificata in anticipo, prima che le esposizioni abbiano luogo, e per le quali l’entità delle esposizioni può essere ragionevolmente prevista”.

Per la gestione della radioprotezione, la norma introduce come strumenti operativi i *livelli di esenzione* ed i *livelli di allontanamento*. Analogamente alla direttiva europea, i *livelli di esenzione* si definiscono su due diversi livelli, uno in termini di concentrazione di attività ed uno in termini di dose efficace, sia in relazione ai lavoratori che ai membri del pubblico. Per quello che riguarda i livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività, questi sono sia generali che specifici e si applicano alle matrici solide, quali le materie prime, prodotti intermedi e residui (vedi la definizione n.120 del decreto). Le tabelle 1 e 2 riassumono, rispettivamente, i livelli di esenzione generali e specifici definiti in termini di concentrazione di attività, mentre la tabella 3 riporta i livelli di esenzione in termini di dose.

I *livelli di allontanamento* hanno gli stessi valori dei *livelli di esenzione*.

Tabella 1. Livelli di esenzione generali

Serie di U-238 e serie Th-232 equilibrio secolare per tutta la serie	Tutti i radionuclidi	1 kBq/kg
Serie di U-238 e serie Th-232 non in equilibrio secolare	Tutti i radionuclidi, tranne Pb-210 e Po-210	1 kBq/kg
	Pb-210 e Po-210	5 kBq/kg
K-40		10 kBq/kg

Tabella 2. Livelli di esenzione specifici per situazioni particolari

Situazioni particolari	Radionuclidi	Livello di esenzione
Fanghi petroliferi	U-nat, Th-230, Th-232, Pb-210, Po-210	100 kBq/kg
	Ra-228	10 kBq/kg
	Per tutti gli altri radionuclidi delle serie di U-238 e Th-232	5 kBq/kg
	K-40	50 kBq/kg
Smaltimento in discarica o riutilizzo per la costruzione di strade	Serie di U-238 e serie di Th-232	0,5 kBq/kg
	Pb-210; Po-210	2.5 kBq/kg
	K-40	5 kBq/kg
Incenerimento	Valutazione della dose efficace alla popolazione	

Tabella 3. Livelli di esenzione in termini di dose

Livello di esenzione per i lavoratori	1 mSv/anno
Livello di esenzione per i membri del pubblico	0,3 mSv/anno

Una pratica con presenza di NORM si considera “esente” dall’obbligo di notifica quando non sono superati entrambi i livelli di esenzione in termini di dose efficace.

Analizzando la Tabella II-1 dell’Allegato II del D.Lgs 101/2020, è evidente che gli obblighi di legge si applicano a settori industriali con presenza di NORM molto diversi tra loro. Per tale ragione si è ritenuto utile sviluppare un approccio metodologico generale seguito da una serie di applicazioni a casi specifici.

L’esperienza sinora maturata ha evidenziato che il testo del decreto presenta difficoltà nella interpretazione e nella sua applicazione soprattutto dal punto di vista scientifico/metodologico.

Per tale ragione, anche sulla base dei risultati del nuovo censimento delle Industrie con presenza di NORM, i cui dati aggiornati sono descritti in [4], la metodologia generale è stata applicata ai settori industriali di seguito elencati:

- produzione di cemento
- industria dello zirconio e dello zirconio
- produzione di energia geotermica
- produzione del pigmento TiO₂

APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE PER APPLICARE IL TITOLO IV D.LGS.101/2020 PER SETTORI INDUSTRIALI NORM

Il D.lgs.101/2020, all'art.22 riporta le disposizioni per l'esercente delle industrie con presenza di NORM. Sulla base di precedenti studi, nonché di nuovi approfondimenti, analisi, visite in industrie NORM e interazioni con gli esercenti, è stato sviluppato un approccio metodologico di ausilio agli *stakeholders*, ove per *stakeholders* – oltre agli esercenti delle industrie con presenza di NORM, si considerano anche gli esperti di radioprotezione, le figure tecniche coinvolte nelle fasi di controllo, ecc.

Una metodologia generale deve dare risposta ad alcuni quesiti fondamentali per l'applicazione della legge. In particolare:

- Quali sono le matrici di interesse da sottoporre ad analisi di laboratorio e dei radionuclidi da misurare?
- Quali sono i metodi di analisi da utilizzare?
- Si può disporre di metodi semplificati per la stima della dose efficace per lavoratori e per l'individuo rappresentativo della popolazione?

Nella elaborazione della metodologia generale, è stata posta attenzione alla elaborazione di una modalità per individuare le matrici di interesse, tenuto conto della definizione riportata nell'art. 7 del D. Lgs.101/2020, ove si intende *“matrice” “qualsiasi sostanza o materiale che può essere contaminato da materie radioattive; sono ricomprese in tale definizione le matrici ambientali (ivi compresa aria, acqua e suolo) e gli alimenti”*.

In base a tale definizione, nel caso delle industrie con presenza di NORM, si considerano matrici le materie prime, i residui, gli effluenti liquidi e gassosi e i prodotti finiti. La Fig. 1 riporta una sintesi delle matrici di interesse, suddivise in varie categorie: materie prime, residui, prodotti finali, effluenti liquidi ed effluenti gassosi.

Avendo ben presente che, secondo le Raccomandazioni ICRP 103 [5], alla base della Direttiva 59/2013/Euratom e del D.Lgs 101/2020 *“occorre invece prevedere un insieme graduale di obblighi in funzione della riconducibilità ai controlli normativi di una particolare sorgente o situazione di esposizione, e in funzione del livello di esposizione/rischio associati a tale sorgente o situazione”*, la metodologia generale proposta (vedi fig. 2) consiste in una sequenza di passaggi che, con un *“approccio graduale”*, consentono di individuare le situazioni di esposizione più critiche dal punto di vista radioprotezionistico e di verificarne il livello di esposizione/rischio da confrontare con i livelli di esenzione. La metodologia si compone pertanto di due fasi, articolate in passaggi successivi, secondo un *“graded approach”*.

Figura 1. Rappresentazione schematica delle matrici di interesse (tratta da [4])



La Fase 1 inizia con l’individuazione della “pratica” ovvero, laddove la norma indichi soltanto l’intero processo industriale, si ritiene necessario un attento studio del processo industriale per individuare le situazioni espositive più critiche dal punto di vista della radioprotezione e le matrici di interesse.

Figura 2. Metodologia generale - Le due fasi del “graded approach” (tratta da [4])



In relazione alla pratica individuata, il passaggio successivo consiste nella identificazione delle matrici solide di interesse ed – in relazione a queste - i radionuclidi da misurare che devono tener conto delle condizioni chimico/fisiche del processo industriale. La tabella 4 propone uno schema per l’individuazione delle matrici solide (materie prime e residui di lavorazione), i radionuclidi di interesse e le tecniche di analisi per la caratterizzazione radiologica, secondo quanto previsto nella Fase 1. Viene

proposta oltre alla spettrometria gamma anche la spettrometria alfa per la determinazione della concentrazione di attività del Po-210 per esempio, da prevedere in maniera opportuna per i residui derivanti da processi termici che possono portare alla volatilizzazione del radionuclide. Il contenuto radiologico dei radionuclidi nelle matrici di interesse va confrontato con i livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività, descritti nelle tabelle 1 e/o 2.

Tabella 4. Schema di supporto alla Fase 1

Matrice solida		Tecnica di analisi	Radionuclidi
Materie prime	Materia prima di origine naturale	Spettrometria gamma	K-40, catene U-238 e Th-232
	Materia prima, derivante processi precedenti di origine artificiale	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
Residui	Residuo 1	Spettrometria gamma Spettrometria alfa	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232, Po-210
	Residuo 2	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
	Fango 1	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232

Se le concentrazioni di attività dei nuclidi presenti nelle matrici solide superano i livelli di esenzione, è necessario procedere con la Fase 2, che ha come obiettivo il confronto con i livelli di esenzione in termini di dose. Per procedere a tale confronto, la Fase 2 è articolata in passaggi successivi, che si basano sulla identificazione degli scenari espositivi più significativi per i lavoratori e per i membri del pubblico.

A scopo metodologico, è stata elaborata la tabella 5 nella quale, per ciascun settore/pratica con presenza di NORM, sono classificate le matrici di interesse e per ciascuna di esse i possibili scenari espositivi di maggior rilievo, sia in relazione alla stima dell'esposizione dei lavoratori sia in relazione ai membri del pubblico.

Tabella 5. Schema generale per l'individuazione delle fonti di esposizione

	Esposizione dei lavoratori		Esposizione dei membri del pubblico	
	Matrice	Scenario	Matrice	Scenario
Settore industriale con presenza di NORM	Materie prime	Esposizione al cumulo	Materie prime	Trasporto
		Trasporto		
		Lavorazioni	Residui	Allontanamento (discarica, recupero, ecc.) Trasporto
	Residui	Gestioni (raccolta, carico, scarico)	Effluenti liquidi	Rilascio di acqua reflua
				Esposizione della popolazione agli effluenti
	Prodotti finali	Lavorazioni di finitura	Effluenti gassosi	Rilascio degli effluenti gassosi dai camini
		Imballaggio		
		Trasporto		Esposizione della popolazione nella zona di emissione

Analogamente a quanto elaborato per la Fase 1, l'applicazione della Fase 2, schematizzata nella tabella 5, si avvale di due tabelle di dettaglio (tabelle 6 e 7) che forniscono schemi per la valutazione della dose rispettivamente per i lavoratori e per i membri del pubblico. Le tabelle 6 e 7 descrivono per ciascuno scenario specifico la matrice di interesse e la modalità di esposizione da considerare in funzione delle caratteristiche della matrice stessa.

Tabella 6. Schema di supporto alla Fase 2 – stima della dose per il lavoratore

Scenari specifici	Matrice	Vie di esposizione
Esposizione a cumuli Trasporto, ecc.	Materia prima di origine naturale	Irraggiamento, inalazione, radon
	Materia prima, di origine artificiale	Irraggiamento, inalazione, radon
Gestione residui (raccolta, carico e scarico...)	Residuo 1	Irraggiamento, inalazione, radon
	Residuo 2	Irraggiamento, inalazione, radon
Trasporto	Fango	Irraggiamento, radon
Finitura del prodotto Trasporto	Prodotto finale	Irraggiamento, radon

Tabella 7. Schema di supporto alla Fase 2 – stima della dose per i membri del pubblico

Scenari specifici	Matrice	Vie di esposizione
Trasporto	Materie prime	Irraggiamento, inalazione, radon
Rilascio dal camino	Effluente aeriforme	Irraggiamento, inalazione, catena alimentare
Rilascio in corpo idrico o in fognatura	Effluente liquido	Irraggiamento, inalazione, catena alimentare
Esposizione ai residui con c.a. > livelli di allontanamento, nel caso di allontanamento	Residuo 1, Residuo 2, fango	Irraggiamento, inalazione, radon

Analizzando la tabella 7, è evidente che gli scenari espositivi di interesse per la stima della dose ai membri del pubblico considerano l'impatto di matrici diverse da quelle solide (effluenti liquidi e/o gassosi), che non erano state caratterizzate nella Fase 1. Per tale ragione, la figura chiamata a fare le

valutazioni di dose, l'esperto di radioprotezione, analizzando la documentazione elaborata nella Fase 1, potrebbe non trovare tutte le informazioni di supporto ad una accurata stima della dose e richiedere ad esempio che venga effettuata la caratterizzazione radiometrica delle matrici non solide.

Per poter procedere al confronto con i livelli di esenzione in termini di dose efficace (tabella 3), è necessario conoscere il contenuto radiologico di tutte le matrici, individuare gli scenari espositivi più significativi e, per ciascuno scenario, valutare i contributi derivanti dalle diverse modalità di esposizione (irraggiamento esterno, inalazione, ingestione).

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati discussi i nuovi risultati di un progetto di ricerca sulle industrie con presenza di NORM. In particolare è stata presentata una metodologia per l'individuazione di situazioni di particolare interesse dal punto di vista della radioprotezione. Questa metodologia si articola su più fasi, con un approccio di tipo graduale. La Fase 1 ha inizio dalla identificazione della pratica e, quindi, delle situazioni più critiche dal punto di vista della radioprotezione e comprende la verifica dell'esenzione della pratica in termini di concentrazione di attività; la Fase 2 prevede, invece, la verifica di esenzione attraverso la valutazione della dose efficace per i lavoratori e gli individui rappresentativi della popolazione. La metodologia generale sviluppata è stata applicata su alcuni settori industriali coinvolti dalla legislazione nazionale in materia di radioprotezione [2] (produzione di cemento, industria dello zirconio e dello zirconio, produzione di energia geotermica e produzione di pigmento di biossido di titanio) ma, con opportuni adattamenti, può essere estesa anche agli altri settori industriali. Come detto alcune applicazioni sono state già sviluppate ed altre saranno disponibili a breve.

BIBLIOGRAFIA

- [1] European Commission (EC), «Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97,» Off. J. Eur. Union, pp. 1-73, December 2013.
- [2] D.Lgs.101/2020, «Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom...» Suppl. ordinario alla Gazzetta ufficiale n.201 del 12 agosto 2020 , Roma, 2020.
- [3] L. Luzzi, F. Leonardi, R. Trevisi, 2021. Radiazioni ionizzanti naturali: la protezione dal radon ed il piano nazionale d'azione per il radon. In: atti del convegno nazionale dBA2021 “Agenti fisici nei luoghi di lavoro- radiazioni ionizzanti” 2-3 Dicembre 2021; Bologna: Italia. (Pag. 115-124). ISBN 978-88-945863-2-9.
- [4] Trevisi R. et al. La radioprotezione applicata alle industrie NORM: sviluppo di un sistema di strumenti metodologici, conoscitivi e formativi a sostegno degli stakeholders. Stato dell'arte del progetto di INAIL. 2022. XXXVIII Congresso Nazionale AIRP di Radioprotezione. Milano.
- [5] AIFM, AIRM e AIRP, 2008. Raccomandazioni 2007 Della Commissione Internazionale Per La Protezione Radiologica. Traduzione della ICRP Publication 103 ‘The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection’ Annals of the ICRP Volume 37/2-4, 2008. Milano, 27 giugno 2008, ISBN 88-88648-08-9.