

## La gestione della radioprotezione in settori industriali NORM di particolare impatto radiologico: un progetto per lo sviluppo di protocolli operativi e metodologie di calcolo

M. Pugliese<sup>1</sup>, S. Bucci<sup>2</sup>, E. Caldognetto<sup>3</sup>, A. De Stena<sup>2</sup>, G. La Verde<sup>1</sup>, F. Leonardi<sup>4</sup>, L. Luzzi<sup>4</sup>, C. Nuccetelli<sup>5</sup>, I. Peroni<sup>2</sup>, I. Pinto<sup>6</sup>, G. Pratesi<sup>2</sup>, F. Trotti<sup>3</sup>, R. Ugolini<sup>3</sup>, G. Venoso<sup>5</sup> and R. Trevisi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Fisica "E. Pancini", Napoli

<sup>2</sup>Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), Firenze

<sup>3</sup>Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), Verona

<sup>4</sup>Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni Sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (RM)

<sup>5</sup>Istituto Superiore di Sanità (ISS), Roma

<sup>6</sup>Azienda USL Toscana Sud Est, Siena

[mariagabriella.pugliese@unina.it](mailto:mariagabriella.pugliese@unina.it)

### Riassunto

*L'obiettivo principale del progetto "Protocolli operativi e metodologie di calcolo per l'attuazione della nuova normativa di radioprotezione, recepimento della Direttiva 59/2013/Euratom, in settori industriali NORM di particolare impatto radiologico", è l'elaborazione di strumenti tecnico-scientifici e lo sviluppo di procedure per l'attuazione della nuova normativa di radioprotezione nei settori industriali NORM al fine di supportare gli stakeholders e gli esperti di radioprotezione nell'applicazione della nuova normativa nazionale. L'approccio è quello di considerare la peculiarità di ciascun processo produttivo, dei vincoli temporali, delle vie di esposizione, degli scenari di esposizione più significativi. In questo primo anno si è lavorato per identificare le matrici da campionare ed analizzare (materie prime, residui, ecc.) e per selezionare le metodologie di analisi: questa attività ha riguardato alcuni dei settori indicati dalla normativa, come la produzione di cemento, la produzione di energia geotermica e gli impianti di trattamento delle acque sotterranee.*

### INTRODUZIONE

Il recepimento della Direttiva 59/2013/Euratom (Consiglio dell'Unione Europea, 2014) nella legislazione Italiana, con l'entrata in vigore del D.Lgs.101/2020 (Decreto Legislativo, 2020), ha introdotto importanti cambiamenti al sistema di radioprotezione italiano. In questo lavoro si prende in considerazione la radioprotezione applicata ad alcuni settori industriali, cosiddetti NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), che ha subito aggiornamenti sia nell'approccio che nella terminologia, estendendo gli obblighi di radiosorveglianza ad un numero maggiore di settori industriali rispetto alla normativa precedente.

Infatti, se nell'allegato I-Bis del DLgs 230/1995 s.m.i. (Decreto Legislativo, 1995) i settori industriali erano 7, nel nuovo D.Lgs 101/2020 allegato II, i settori industriali diventano 13 secondo quanto stabilito dalla stessa Direttiva 59/2013/Euratom allegato VI.

Nell'ambito di questi settori industriali si considerano le attività che comportano:

- l'uso o lo stoccaggio di materiali che contengono radionuclidi di origine naturale

- la produzione di residui o di effluenti che contengono radionuclidi di origine naturale.

Per il risk management, gli strumenti di radioprotezione sono i livelli di esenzione, i livelli di allontanamento e il limite di dose.

Nel decreto legislativo 101/2020 i livelli di esenzione e di allontanamento hanno gli stessi valori: essi sono stati definiti per i lavoratori e per gli individui della popolazione sia in termini di concentrazione di attività, sia in termini di dose efficace. In termini generali, i livelli di esenzione/allontanamento in termini di concentrazione di attività sono: 1 kBq/kg per i radionuclidi della catena di decadimento di  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  e 10 kBq/kg per  $^{40}\text{K}$ ; mentre il criterio di esenzione in termini di dose per lavoratori e popolazione è pari a 1 mSv/anno e 0.3 mSv/anno, rispettivamente. La normativa fissa anche ulteriori livelli di esenzione/allontanamento in termini di concentrazione di attività per alcune situazioni specifiche.

In questo scenario i riferimenti internazionali, in particolare le pubblicazioni della Commissione Europea RP122 II – Parte II (European Commission, 2002) e RP 135 (European Commission, 2003), pur fornendo validissimi strumenti per la valutazione della dose ai lavoratori e alla popolazione esposti a materiali, residui ed effluenti NORM, presentano dei punti critici. Il limite principale è che tali raccomandazioni e linee guida sono di carattere generale, pertanto non contengono procedure operative per valutare le dosi in modo contestuale e personalizzato per ciascun settore industriale menzionato dalla normativa.

Per le ragioni appena richiamate, il progetto dal titolo “Protocolli operativi e metodologie di calcolo per l’attuazione della nuova normativa di radioprotezione, recepimento della Direttiva 59/2013/Euratom, in settori industriali NORM di particolare impatto radiologico”, promosso dall’Università di Napoli “Federico II”, dall’Istituto Superiore di Sanità, dalle Agenzie regionali per la protezione ambientale della Toscana e del Veneto e dalla Azienda USL Toscana Sud Est, con il supporto economico di INAIL rappresenta un’opportunità nella quale elaborare protocolli e metodologie standardizzati che possano risolvere le criticità del panorama attuale, considerando ogni singolo scenario espositivo delle attività industriali previste dalla normativa.

## COMPETENZE COINVOLTE

Il progetto prevede la partecipazione di un ente con il ruolo di Project Leader che in questo caso è l’Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro (INAIL) ha dato avvio al progetto di ricerca, offrendo supporto finanziario e partecipando a ciascuna delle attività previste dal progetto. L’Università di Napoli Federico II, quale Destinatario Istituzionale, coordina le attività realizzate dagli Enti partner del progetto: tali attività consistono in attività sperimentali, attività di modellistica ai fini della stima della dose, stesura dei protocolli e realizzazione dei moduli formativi e informativi.

Tra le attività sperimentali rientrano le campagne di misurazione di matrici NORM e lo studio per la realizzazione di procedure e protocolli. Di seguito si riportano gli enti partner e le competenze coinvolte.

Le Agenzie regionali per la protezione ambientale (ARPA) della regione Toscana e Veneto si occupano dell’elaborazione dei contenuti tecnico-operativi degli strumenti per la valutazione e la prevenzione del rischio da esposizione ai NORM, collaborando allo sviluppo di metodi di calcolo per la stima della dose ai lavoratori e ai membri del pubblico e occupandosi della raccolta di informazioni inerenti le attività NORM, anche ottenute con misure in campo e misure di campioni in laboratorio.

Il Laboratorio di Sanità Pubblica USL Toscana Sudest Siena sviluppa, all’interno della sezione dedicata alle radiazioni ionizzanti, una sezione NORM nell’ambito del Portale Agenti Fisici che conterrà le informazioni tecnico-operative e formative nonché inerenti le attività NORM, e una sezione FAQ consultabile online, finalizzata a rendere facilmente accessibili al pubblico, alle imprese e agli operatori della prevenzione, i principali aspetti tecnici e normativi relativi alla

prevenzione e protezione nelle attività NORM. I citati fact-sheets, manuali e la sezione FAQ saranno prodotti dai partecipanti a questo progetto.

L'ISS svolge attività di ricerca per lo sviluppo metodi di calcolo per la stima della dose ai lavoratori e ai membri del pubblico, effettua valutazioni sperimentali in situ e in laboratorio della concentrazione di attività di campioni NORM. Inoltre, partecipa alla realizzazione degli strumenti formativi e informativi previsti dal progetto.

## STRUTTURA DEL PROGETTO

Il progetto ha una durata di 24 mesi e si sviluppa in tre fasi fondamentali, ognuna delle quali prevede il raggiungimento di un obiettivo strutturato in diverse attività.

**Fase 1 di caratterizzazione:** questa fase è dedicata ad una ricognizione dei settori industriali e delle aziende coinvolte dalla nuova normativa e alla selezione di alcune di esse in base al loro impatto radiologico su lavoratori e popolazione, oppure alla loro rilevanza economica per il Paese o per determinati territori regionali (fig. 1).

Figura 1 – settori NORM selezionati

Settori industriali	Classi o tipi di pratiche
Centrali elettriche a carbone	manutenzione di caldaie
Estrazione di minerali diversi dal minerale di uranio	estrazione di granitoidi, quali graniti, sienite e ortogneiss, porfidi, tufo, pozzolana, lava, basalto
Industria dello zirconio e dello zirconio	Lavorazione delle sabbie zirconifere produzione di refrattari, ceramiche, piastrelle produzione di ossido di zirconio e zirconio metallico
Lavorazione di minerali e produzione primaria di ferro	Estrazione di terre rare da monazite; estrazione di stagno; estrazione di piombo estrazione di rame estrazione di ferro- niobio da pirocloro; estrazione di alluminio da bauxite; lavorazione del minerale niobite-tantalite utilizzo del cloruro di potassio come additivo nella estrazione dei metalli tramite fusione
Lavorazioni di minerali fosfatici e potassici	produzione di fosforo con processo termico; produzione di acido fosforico; produzione e commercio all'ingrosso di fertilizzanti fosfatici e potassici produzione e commercio all'ingrosso di cloruro di potassio
Produzione del pigmento TiO <sub>2</sub>	gestione e manutenzione degli impianti di produzione del pigmento biossido di titanio
Produzione di cemento	manutenzione di forni per la produzione di clinker
Produzione di composti di torio e fabbricazione di prodotti contenenti torio	produzione di composti di torio e fabbricazione, gestione e conservazione di prodotti contenenti torio, con riferimento a elettrodi per saldatura con torio, componenti ottici contenenti torio, reticelle per lampade a gas
Produzione di energia geotermica	impianti di alta e media entalpia, con particolare riguardo alla manutenzione dell'impianto
Produzione di gas e petrolio	estrazione e raffinazione di petrolio ed estrazione di gas, con particolare riguardo alla presenza e rimozione di fanghi e incrostazioni in tubazioni e contenitori
Impianti per la filtrazione delle acque di falda	gestione e manutenzione dell'impianto
Cartiere	manutenzione delle tubazioni
Lavorazioni di taglio e sabbiatura	impianti che utilizzano sabbie o minerali abrasivi

Elenco dei settori industriali coinvolti dalla nuova normativa: in blu i settori industriali selezionati per il progetto di ricerca

Questa attività è strettamente correlata all'aggiornamento del censimento delle aziende NORM presenti sul territorio. Per dettagli ulteriori sul censimento, si rimanda all'articolo dal titolo "Nuovo censimento attività NORM in Italia: primi dati".

Come si evince dalla Fig.1, la ricognizione dei settori industriali NORM in Italia ha portato a selezionarne alcuni, quali focus delle molteplici attività previste dal progetto. Essi sono:

- industria dello zirconio e dello zirconio
- produzione di cemento
- produzione di energia geotermica
- impianti di filtrazione delle acque di falda e cartiere.

Per ciascuno di questi settori è previsto lo studio dei processi produttivi, attraverso sopralluoghi, campionamenti e misure in campo, in modo da individuare gli scenari di interesse radiologico.

La caratterizzazione radiologica è svolta attraverso misure radiometriche in campo (radiometri e contaminometri) e in laboratorio (spettrometria gamma e gamma-X, scintillazione liquida, ICP-MS ecc..). In tab. 1 è presentata una sintesi delle metodologie messe a supporto del progetto da ciascuna unità operativa, anche in base alle proprie competenze e peculiarità.

Inoltre è prevista la sperimentazione di un uso combinato di tecniche di caratterizzazione in situ, quali la spettrometria gamma ad alta risoluzione, e di modelli tipo Montecarlo, quale strumento utile per l'individuazione delle parti degli impianti che possono presentare livelli significativi di contaminazione radioattiva.

I risultati della caratterizzazione radiologica sono di supporto per una definizione preventiva delle misure di protezione da adottare negli interventi di manutenzione come smontaggio, sostituzione, taglio dei materiali. Le tecniche in situ e i modelli tipo Montecarlo sono già ampiamente utilizzati per la caratterizzazione dei rifiuti; tuttavia il valore aggiunto nell'ambito del progetto è che le stesse tecniche saranno adattate, ove possibile, a ciascuno degli scenari che sono individuati.

I dati raccolti, essendo rappresentativi dei diversi settori industriali selezionati, rappresentano le basi per la stesura di specifici protocolli operativi, che si differenziano tra loro proprio per le caratteristiche chimico-fisiche e radiologiche dei materiali e delle pratiche investigate.

Tabella 1 – Tecniche di misura delle radiazioni per ciascuna unità operativa partecipante

Unità Operative	Risorse
Università di Napoli	Spettrometria Gamma HpGe; E-Perm System, Alpha duo System
ISS	Spettrometria Gamma HpGe, Spettrometria Gamma HpGe portatile, camera a ionizzazione a pressione, scintillatore plastico, spettrometria X-gamma da laboratorio con cristallo HpGe planare
ARPAV	Spettrometria Gamma HpGe, scintillazione liquida (alfa e beta totale),, spettrometri portatili, contaminometri alfa/beta/gamma, E-Perm System, CR-39, rivelatori Rn attivi, modelli di calcolo per la contaminazione (PcCream, Microshield, ResRad)
ARPAT	Spettrometria Gamma HpGe, scintillazione liquida (alfa e beta totale),, spettrometri portatili, contaminometri alfa/beta/gamma, E-Perm System, CR-39, rivelatori Rn attivi, modelli di calcolo per la contaminazione (CALPUFF, ResRad)
ASL Siena	E-Perm System, rivelatori Rn attivi, applicativi per Portale Agenti Fisici (PAF)

La prima fase, quindi, consente di avere le basi per elaborare protocolli operativi e tecnico-analitici standardizzati per il campionamento e la caratterizzazione radiologica dei campioni NORM e di parti di impianto contaminate da NORM.

**Fase 2:** Nella seconda fase, l'attenzione si focalizza sulla individuazione degli scenari di esposizione più significativi. E' prevista, infatti, l'elaborazione di metodi di calcolo per la stima della dose per i lavoratori e i membri del pubblico. Tali strumenti richiedono l'uso di codici di calcolo esistenti e ben collaudati, che saranno interfacciati con l'utente mediante un software originale, elaborato ad hoc e di facile fruizione.

L'obiettivo della seconda fase è sviluppare metodologie di calcolo standardizzate per la stima della dose dei lavoratori e dei membri del pubblico che tengano conto delle peculiarità dei diversi settori industriali e dei relativi cicli produttivi.

**Fase 3:** La terza fase del progetto prevede la più ampia diffusione dell'insieme dei protocolli di misura e dei metodi di stima della dose elaborati nelle due fasi precedenti, mediante la pubblicazione di lavori peer reviewed e di report sui siti istituzionali di Enti centrali e regionali, la realizzazione di moduli formativi indirizzati alle diverse figure professionali che l'applicazione della normativa coinvolge, quali gli Esperti di radioprotezione e gli organi di vigilanza e controllo, ecc., Si prevede, inoltre, la realizzazione di strumenti informativi per gli *stakeholders*, quali gli esercenti delle attività NORM, i cittadini, le amministrazioni pubbliche, etc.

Infine è prevista la realizzazione di una piattaforma nell'ambito del Portale Agenti Fisici (PAF, [www.portaleagentifisici.it](http://www.portaleagentifisici.it)). In tal modo si otterrà un approccio radioprotezionistico, con la possibilità di adattare gli strumenti prodotti a seconda del settore industriale NORM considerato, al fine di conseguire elevati livelli di salute e sicurezza sul luogo di lavoro.

## LA METODOLOGIA DI APPROCCIO

L'entrata in vigore del Dlgs. 101/2020 ha determinato una modifica nell'impostazione nel progetto, come descritto nei paragrafi precedenti: infatti, non essendo possibile partire dallo studio di pochi impianti e attendere il termine del progetto per la diffusione dei protocolli, alla luce delle scadenze molto ravvicinate dell'applicazione della normativa, le attività sperimentali previste dal progetto sono state rimodulate ed avviate mediante un coordinamento con associazioni di categoria e/o gestori.

In questo modo è stato possibile sperimentare un approccio generalizzato all'intero settore industriale, applicando a tutti gli impianti lo stesso protocollo (dove era possibile). Quindi, gestori e associazioni di categoria (quali *stakeholders*) sono diventati parte collaborativa nelle attività di pianificazione e valutazione previste dal decreto legislativo.

Lo sviluppo del progetto, attraverso il confronto sulle attività di campionamento e misurazione, può in questo modo diventare anche una "palestra" per l'applicazione della normativa, contribuendo a sviluppare le nuove competenze necessarie anche nel settore industriale, e favorendo lo scambio di informazioni utili con i settori che devono applicare la normativa.

Attraverso le attività di sopralluogo, al momento limitate anche a causa dell'emergenza COVID-19, è stato ed è tuttora possibile prendere in considerazione più tipologie di impianti e elaborare protocolli più specifici per tipologia di attività.

## PIANI DI CAMPIONAMENTO DELLE DIVERSE MATRICI

Il primo aspetto da considerare per l'applicazione della normativa da parte dei datori di lavoro è l'individuazione e la scelta delle matrici sulle quali effettuare le misure, ovvero definire il piano di campionamento che deve consentire di stabilire se l'attività è esente oppure soggetta al regime di notifica.

La formulazione degli art. 20 e 22 è molto generale e potenzialmente ampia: in ogni settore industriale deve quindi essere declinata in termini operativi. Nella pianificazione di questa attività, criteri operativi utili possono essere:

- 1) l'individuazione di tutte le matrici indispensabili per l'applicazione della normativa;
- 2) individuazione di tutte le matrici/misure aggiuntive per la valutazione della dose, nel caso di superamento dei livelli di esenzione in termini di concentrazione di radionuclidi.

Per esempio, per i cementifici, le matrici che si è ritenuto "indispensabile" campionare e misurare sono:

- le farine, come materiale in ingresso al forno clinker;
- le incrostazioni del forno clinker e
- se non riutilizzate nel forno, le polveri di abbattimento dei fumi, intese come residui.

Inoltre, nel caso di superamento dei livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività dei radionuclidi di interesse, si ritiene necessario integrare anche la caratterizzazione delle emissioni in atmosfera e degli effluenti liquidi, in quanto da tali matrici si ottengono elementi necessari per la valutazione della dose alla popolazione.

Nel caso di impianti per la produzione di energia geotermica, invece, le matrici che si è ritenuto "indispensabile" campionare e misurare sono:

- i residui rappresentati dalle incrostazioni presenti nell'impianto,
- I materiali filtranti dei gas in uscita esausti
- le polveri di sabbiatura.

Il fluido geotermico ad alta temperatura («materiale» in ingresso), invece, non sembra ricadere nella fattispecie delle matrici previste dal decreto;

In questo caso, qualora si abbia il superamento dei livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività dei radionuclidi di interesse, si ritiene necessario integrare anche la caratterizzazione delle emissioni in atmosfera ed effluenti liquidi per la valutazione della dose.

## **METODOLOGIE DI ANALISI STANDARDIZZATE E IN FASE DI SPERIMENTAZIONE**

La principale tecnica analitica impiegata è la spettrometria gamma ad alta risoluzione. Tuttavia, applicando la norma UNI EN ISO 11665:2017, emerge una criticità per alcuni radionuclidi: un esempio è rappresentato dalla determinazione del Pb-210, escluso in quanto al di fuori dall'intervallo di energia.

La necessità di adattare la norma è dovuta all'importanza di misurare il Pb-210 in tutti i residui, che hanno composizioni chimiche anche molto diverse, tenendo conto che il Pb-210 è anche un indicatore della necessità di misura del Po-210. A tale scopo alcuni campioni verranno misurati da più laboratori della compagine di progetto.

La determinazione del Po-210 viene effettuata in un sottoinsieme di campioni, mediante spettrometria alfa.

Inoltre, è in fase di sperimentazione, da parte di laboratori del gestore, la spettrometria gamma in campo con modello Montecarlo per la caratterizzazione non distruttiva di alcune tipologie di residui e del fluido geotermico in ingresso.

## CONCLUSIONI

Il Convegno nazionale AIRP consente di presentare il progetto dal titolo “Protocolli operativi e metodologie di calcolo per l’attuazione della nuova normativa di radioprotezione, recepimento della Direttiva 59/2013/Euratom, in settori industriali NORM di particolare impatto radiologico”. Tale progetto è coordinato dall’Università di Napoli “Federico II” e vede la partecipazione dell’Istituto Superiore di Sanità, delle Agenzie regionali per la protezione ambientale della Toscana e del Veneto e della Azienda USL Toscana Sud Est, con il supporto economico di INAIL: questo progetto ha l’obiettivo di elaborare protocolli e metodologie standardizzati che possano risolvere le criticità del panorama attuale, considerando ogni singolo scenario espositivo delle attività industriali previste dalla normativa. In questo primo anno di lavoro sono stato identificati i settori sui quali concentrare l’attenzione. Essi sono i cementifici, le industrie dello zirconio dello zirconio, gli impianti per la produzione di energia geotermica, e Impianti di filtrazione delle acque di falda e cartiere.

L’approccio adottato, condizionato anche dall’entrata in vigore della nuova normativa, ha portato ad un maggiore coinvolgimento degli *stakeholders* e questo ha fatto sì che l’interlocazione ai fini del progetto fosse occasione di indirizzo per l’applicazione della normativa, contribuendo a sviluppare le nuove competenze necessarie anche nel settore industriale, e favorendo lo scambio di informazioni utili con i settori che devono applicare la normativa.

Le attività sperimentali hanno permesso, ad esempio nel caso dei cementifici e degli impianti geotermici di identificare le matrici “indispensabili” ai fini della verifica del rispetto dei livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività e di identificare anche le “altre matrici” che occorre integrare qualora si debba procedere alle valutazioni di dose.

## Bibliografia

- Consiglio dell’Unione Europea. *Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, 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, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom*. Gazzetta ufficiale dell’Unione europea L13, 2014.
- Decreto Legislativo n. 101 del 31 luglio 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, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell’articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117*. Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.201 del 12-08-2020.
- Decreto Legislativo n. 230 del 17 marzo 1995. *Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti*. Gazzetta Ufficiale, n. 136 del 13 giugno 1995.
- European Commission. *Radiation Protection 122: Practical use of the concepts of clearance and exemption Part II Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002 ISBN 92-894-3315-9. European Communities, 2002.
- European Commission. *Radiation Protection Effluent and dose control from European Union NORM industries: Assessment of current situation and proposal for a harmonised Community approach Volume 1: Main Report Issue n. 135*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003 ISBN 92-894-6361-9 (vol. 1) European Communities, 2003.