

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

R. Trevisi¹, A. Bogi², S. Bucci³, E. Caldognetto⁴, G. La Verde⁵, L. Luzzi⁶, F. Leonardi¹, C. Nuccetelli⁷, I. Peroni³, F. Picciolo², G. Pratesi³, F. Trotti⁴, R. Ugolini⁴, G. Venoso¹, M. Pugliese⁵

¹Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (INAIL) - Settore Ricerca - DiMEILA

²Servizio Sanitario della Toscana, Unità Sanitaria Toscana Sud-Est, Siena, Italia

³Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), Firenze

⁴Agenzia regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), Verona

⁵Dipartimento di Fisica "E. Pancini" Università degli Studi di Napoli Federico II

⁶Università di Roma "Sapienza"

⁷Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale, Istituto Superiore di Sanità
Roma

r.trevisi@inail.it

Riassunto

Con il recepimento della Direttiva Europea 59/2013 EURATOM, la normativa italiana di radioprotezione ha introdotto nuovi obblighi per gli esercenti di diversi settori industriali "NORM". Per sostenere l'assolvimento di tali obblighi che garantiscono la protezione di lavoratori e popolazione, dal 2019 è in corso un progetto di ricerca, nell'ambito del quale sono state realizzate diverse attività. Alcune di esse hanno avuto sviluppi anche in ambito internazionale, a testimonianza di quanto questa tematica sia di grande interesse.

Lo scopo del presente lavoro è presentare i nuovi risultati del progetto, dall'aggiornamento del censimento dei settori NORM attualmente attivi in Italia, all'applicazione e declinazione dell'approccio graduale per l'individuazione di situazioni di particolare interesse dal punto di vista della radioprotezione, fino allo sviluppo di metodologie operative e di calcolo applicate ad alcuni settori.

INTRODUZIONE

Il recepimento della Direttiva Europea 59/2013 EURATOM (Direttiva 2013/59/EURATOM 2013) con il D.Lgs. 101/2020 (Decreto legislativo 31 luglio 2020 n.101 2020) ha determinato molteplici e profondi cambiamenti nel sistema di radioprotezione che, fino ad allora, aveva come riferimento normativo il D.lgs. 230/1995 e s.m.i. (Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n.230 1995). Tra i diversi campi di applicazione oggetto di attenzione della nuova norma, vi sono le pratiche che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi di origine naturale, indicate anche come "*industrie con presenza di NORM*", ove l'acronimo NORM sta per *Naturally Occurring Radioactive Materials*.

Nella norma vigente, le "*industrie con presenza di NORM*" sono classificate come pratiche, ovvero 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" introducendo i livelli di esenzione/allontanamento quali strumenti operativi di radioprotezione. In particolare, analizzando l'Allegato II del D.Lgs. 101/2020, si osserva che il legislatore ha introdotto due diversi livelli di esenzione/allontanamento: il primo è definito in termini

di concentrazione di attività e si applica alle matrici solide, quali le materie prime, prodotti intermedi e residui (ai quali si applica la definizione n.120 del suddetto decreto). Il secondo livello di esenzione/allontanamento è posto invece in termini di dose per i lavoratori e per l'individuo rappresentativo.

Una pratica è considerata “esente” dalla notifica e da altri obblighi quando le dosi per i lavoratori e per l'individuo rappresentativo non superano rispettivamente 1 mSv/anno e 0.3 mSv/anno.

I settori industriali con presenza di NORM, descritti nella Tabella II-1 dell'Allegato II, sono numerosi e comprendono realtà industriali che non erano considerate dalla normativa precedente, pertanto risulta necessario sviluppare degli standard metodologici in grado di migliorare la comprensione e l'applicazione degli adempimenti normativi da parte dei diversi *stakeholder*, categoria che include gli esercenti, gli esperti di radioprotezione, le figure tecniche coinvolte nelle fasi di controllo, ecc.

Analizzando il decreto, emergono diverse difficoltà nella interpretazione e applicazione di alcune parti di esso soprattutto dal punto di vista scientifico/metodologico. Si avverte la necessità di indicazioni sulle modalità di individuazione delle matrici di interesse, sui metodi di misura, sulle tecniche di campionamento, sui modelli di dose e sulle modalità per l'individuazione degli scenari espositivi più significativi e di tutto ciò ancora necessario, per garantire una corretta gestione della radioprotezione.

In questo contesto, il progetto INAIL ha come obiettivo generale elaborare strumenti tecnico scientifici utili all'attuazione del D.Lgs. 101/2020 da parte degli esercenti di settori industriali con presenza di NORM di particolare interesse: maggiori dettagli sull'impostazione del progetto, sugli obiettivi specifici, ecc. sono stati descritti in (Luzzi L 2021).

Di seguito si riportano i principali risultati delle attività del progetto.

CENSIMENTO INDUSTRIE NORM IN ITALIA: AGGIORNAMENTO E NOVITA'

La prima attività di questo progetto è stata la ricerca delle industrie con presenza di NORM sul territorio italiano, tenuto conto dei settori industriali riportati nella tabella II-1 dell'allegato II del D. Lgs. 101/2020. Questa attività aggiorna il censimento compiuto da ISPRA nel 2014 (Cappai M. 2014). Molto importante per tale attività è stato il contributo di alcuni *stakeholders* (come ENI S.p.A), nonché di associazioni di categoria (come AITEC/Federbeton); ulteriori informazioni sono state ricavate dalla consultazione di siti web delle singole aziende.

Dal 2014 ad oggi il numero delle diverse attività industriali presenti sul territorio è cambiata: come riportato in tabella 1, alcuni settori hanno registrato un decremento, mentre altri sono rimasti invariati nella loro numerosità. I settori che hanno registrato una maggiore diminuzione nel numero di impianti sono la produzione di cemento (-33%) e le centrali a carbone (-54%). Anche il settore delle acciaierie ha subito una contrazione: in particolare le acciaierie con forni elettrici sono diminuite del 7% dal 2014 mentre le acciaierie a ciclo integrale ad oggi sono rappresentate da un solo impianto. Riguardo il settore dell'estrazione di petrolio e gas si registra una riduzione del 4% di pozzi, e risultano attualmente attivi 25 Impianti di estrazione del petrolio, 10 Raffinerie e 193 Impianti di estrazione del gas. Sono rimasti, invece, invariati il numero di impianti di produzione del biossido di titanio, della lavorazione della bauxite e di impianti geotermici.

Di contro, il settore dello zirconio e dello zirconio, che coinvolge la produzione di piastrelle e refrattari, ha registrato un aumento del 60% relativamente alla produzione di piastrelle e una riduzione del 16% nel campo dei refrattari; nel medesimo settore si aggiunge anche il censimento delle aziende produttrici di ceramica sanitaria (in numero pari a 30) e di smalti e coloranti per ceramica (15).

Infine, si segnala che, rispetto all'elenco di settori industriali riportato nella tabella II-1, ad oggi non risultano attive in Italia aziende che si occupano di:

- Estrazione delle terre rare da monazite

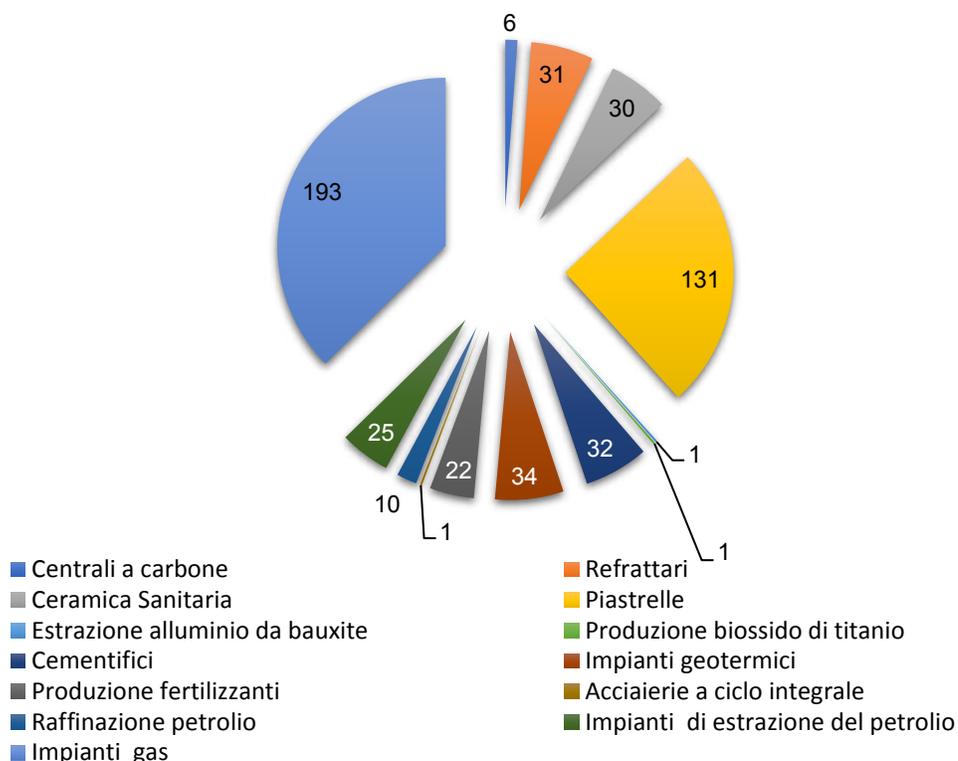
- Estrazione di stagno, piombo e rame
- Estrazione di ferro-niobio da pirocloro
- Lavorazione della niobite/tantalite

Tabella 1 Confronto censimento attività NORM 2022: confronto con il censimento ISPRA del 2014 (Cappai M. 2014)

Settore industriale	N. Impianti 2014	N. Impianti 2022	Informazioni sul processo
Produzione di cemento	81	54	Ciclo integrale (32) Macinazione (22)
Impianti geotermici	34	34	Alta e media entalpia
Sabbie zirconifere	82 37	131 31 30 15	Piastrelle Refrattari Sanitari Smalti e coloranti per ceramica
Centrali a carbone	13	6	Estrazione Combustione manutenzione caldaie
Produzione del biossido di titanio	1	1	Gestione e manutenzione dell'impianto
Acciaierie	2 40	1 37	Ciclo integrale Forni elettrici
Petrolio & gas	1642 (pozzi)	1581 (pozzi) in 25 Impianti per il petrolio 193 Impianti di gas 10 Raffinerie	Estrazione e lavorazione
Lavorazione della bauxite (estrazione dell'allumina da bauxite)	1	1	Fanghi rossi

Il grafico in figura 1 riassume il numero di impianti industriali NORM attivi in Italia in base ai risultati del nuovo censimento.

Figura 1 Numerosità degli impianti di settori NORM aggiornati al 2022



Anche sulla base dei risultati del nuovo censimento, ai fini dell'attività svolta nell'ambito del progetto, sono stati selezionati alcuni settori industriali da investigare secondo la metodologia elaborata e di seguito descritta. Essi sono:

- produzione di cemento
- industria dello zirconio e dello zirconio
- produzione di energia geotermica
- produzione del pigmento TiO_2

Le informazioni che si stanno collezionando sono in linea con la raccolta di dati relativi alle industrie con presenza di NORM in Unione Europea, attualmente nell'ambito WP2 del progetto europeo "RadoNorm", finanziato dall'Unione Europea nel programma EURATOM Horizon 2020 (<https://www.radonorm.eu/workpackages/wp2-tasks/>).

SVILUPPO DI UN APPROCCIO METODOLOGICO ALL'APPLICAZIONE DEL TITOLO IV D.LGS.101/2020 PER SETTORI INDUSTRIALI NORM

Il D.lgs.101/2020, così come la Direttiva Europea 2013/59/Euratom (Direttiva 2013/59/EURATOM 2013), nel Titolo IV prevede che l'esercente delle industrie NORM assolvere agli obblighi, descritti nell'articolo 22.

Per assolvere a tali obblighi, è stato sviluppato un approccio metodologico che integra studi del passato con nuovi approfondimenti, nuove analisi, visite in industrie NORM e interazioni con gli *stakeholders*.

La metodologia elaborata ha affrontato alcuni aspetti radioprotezionistici, in particolare:

- Identificazione delle matrici di interesse da sottoporre ad analisi di laboratorio e dei radionuclidi da misurare;
- Individuazione dei metodi di analisi da utilizzare;
- Messa a punto di metodi semplificati per la stima della dose efficace per lavoratori e per l'individuo rappresentativo della popolazione.

La metodologia elaborata, rappresentata nella figura 2, consiste in una sequenza di valutazioni, che, mediante un approccio graduale, portano l'esercente ad individuare le situazioni di esposizione più critiche dal punto di vista radioprotezionistico e a verificarne l'impatto rispetto ai livelli di esenzione.

La metodologia si compone, pertanto di due fasi entrambe articolate in "step" successivi secondo un "graded approach":

- La fase 1 parte dalla identificazione della pratica oggetto di attenzione ovvero, - laddove la norma indichi soltanto l'intero processo industriale – dall' identificare le situazioni espositive più critiche all'interno di esso.
In relazione alla pratica, si procede quindi alla identificazione delle matrici solide di interesse ed ai radionuclidi da misurare. I valori di concentrazione di attività di tali radionuclidi presenti nelle suddette matrici vanno confrontati con i livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività della tabella II-2 dell'allegato II del D.Lgs.101/2020. Nel caso in cui i risultati delle misure di concentrazioni di attività dei nuclidi presenti nelle matrici solide siano non inferiori ai livelli di esenzione, si procede all'applicazione della fase 2, che prevede la verifica dei livelli di esenzione in termini di dose.
- La fase 2, al fine della verifica dei livelli di esenzione in termini di dose, delinea un percorso che conduce alla identificazione degli scenari espositivi più significativi. Per ciascuno di essi, a seconda che si intenda procedere alla stima delle dosi efficaci derivanti dalla pratica per i lavoratori e/o per l'individuo di riferimento, vengono identificate le matrici di interesse e le conseguenti modalità di esposizione.
In fig. 3, in relazione ad una generica pratica/settore industriale con presenza di NORM, per la stima dell'esposizione dei lavoratori sono schematizzate le matrici da considerare e, per ciascuna di esse, gli scenari espositivi più significativi; analogamente, è schematizzato quanto concerne la valutazione dell'esposizione della popolazione.

Per favorire l'applicazione dell'approccio generale, ed in particolare a supporto delle fasi 1 e 2, sono stati sviluppati degli schemi riassuntivi in forma di tabella. Ad esempio, nella tabella 2 si propone uno schema di supporto 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. Analogamente, le tabelle 3 e 4 presentano due schemi di supporto rispettivamente alla stima della dose per i lavoratori e per l'individuo rappresentativo, oggetto della fase 2, descrivendo per ciascuno scenario specifico la matrice di interesse e la modalità di esposizione da considerare.

Quanto sinteticamente descritto è un metodo generale, che ha il vantaggio di poter essere applicato ai diversi settori industriali utilizzando opportuni adattamenti.

Si evidenzia che nella elaborazione della metodologia generale, molta attenzione è stata posta alla identificazione delle matrici di interesse, tenuto conto della definizione riportata nell'art. 7 del D. Lgs.101/2020, ove si definisce "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". Partendo da questa 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 (fig. 4).

Figura 2 Art.22 del D.lgs.101/2020: Le due fasi del “graded approach”

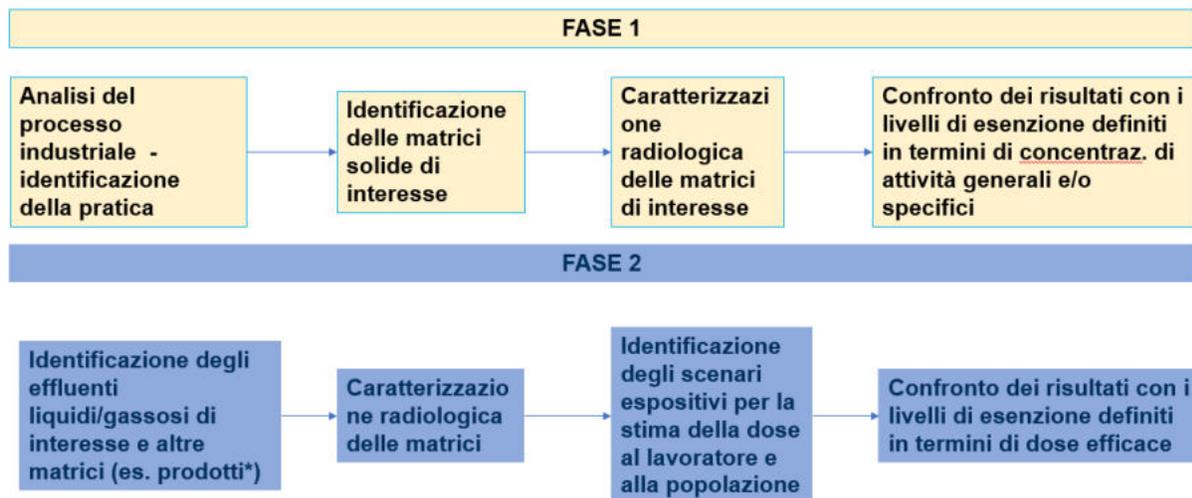


Figura 3 schematizzazione della metodologia per l'individuazione delle fonti di esposizione



Tabella 2 –schema di supporto alla fase 1

Matrice (materiali solidi)		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	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
Residui	Residuo secco 1	Spettrometria gamma Spettrometria alfa	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232, Po-210
	Residuo secco 2	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
	Residuo umido (fango)	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232

Figura 4 Schematizzazione della metodologia per l'individuazione delle matrici da analizzare

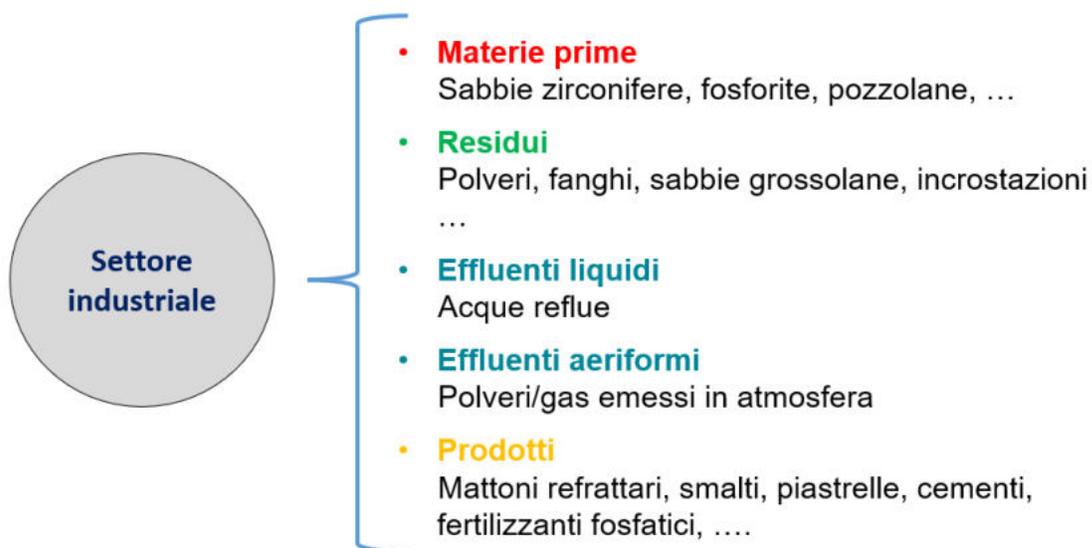


Tabella 3 – Schema di supporto alla fase 2 – stima della dose per i lavoratori

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

Tabella 4 Schema di supporto alla fase 2 – stima della dose per l'individuo rappresentativo

Scenari specifici	Matrice	Vie di esposizione
Trasporto	Materie prime	Irraggiamento, inalazione, radon
Rilascio dal camino	Effluente aeriforme	Irraggiamento, inalazione, ingestione tramite catena alimentare
Rilascio in corpo idrico o in fognatura	Effluente liquido (acqua reflua)	Irraggiamento, inalazione, catena alimentare
Esposizione ai residui con c.a. > livelli di allontanamento, nel caso di allontanamento	Fango, scarto di macinazione, polvere abbattimento macinazione, ecc.	Irraggiamento, inalazione, radon

Da quanto rappresentato nella tabella 4 è evidente che nella stima della dose all'individuo rappresentativo, sono da considerarsi anche gli scenari espositivi legati alla presenza di effluenti liquidi e/o gassosi, che non erano stati oggetto di campionamento e misurazione nella Fase 1. Questo significa che la figura chiamata a fare le valutazioni di dose, l'esperto di radioprotezione, potrebbe non trovare, nella documentazione elaborata nella Fase 1, tutte le informazioni necessarie per una corretta ed accurata stima della dose ed avere quindi la necessità di richiedere

una integrazione delle caratterizzazioni radiometriche effettuate che includa anche le matrici non solide.

La verifica con i livelli di esenzione in termini di dose efficace si può realizzare una volta che tutte le matrici coinvolte sono state caratterizzate, che sono stati individuati gli scenari espositivi, e che per ciascuno scenario sono stati valutati i contributi derivanti dalle diverse modalità di esposizione (irraggiamento esterno, inalazione, ingestione).

Come già detto, la metodologia generale appena descritta è stata adattata ad alcuni settori industriali con presenza di NORM. I dettagli relativi alle applicazioni sono trattati nell'articolo dal titolo "Sviluppo di protocolli di campionamento e valutazione della dose per settori industriali NORM", pubblicato in questo volume (Ugolini R. 2022). Analogamente, dettagli inerenti alle problematiche connesse al campionamento e alla misurazione sono discusse nel lavoro dal titolo "Verifica delle condizioni di applicabilità della norma UNI EN ISO 11665:2017 a campioni derivanti da pratiche NORM diverse" (Peroni I. 2022).

TRASFERIBILITÀ DEI PRODOTTI DEL PROGETTO

Al fine di garantire ricadute applicative, in conformità all'obiettivo stesso del progetto, è necessario che tutti i risultati siano fruibili da una platea di *stakeholders* più ampia possibile. Per questo motivo, gli elaborati redatti nell'ambito del progetto saranno resi disponibili nei siti istituzionali degli Enti centrali, delle Regioni partner del progetto e delle istituzioni di settore.

L'attività di disseminazione oltre a seguire i tradizionali canali di trasferimento (convegni nazionali e internazionali, manifestazioni scientifiche, pubblicazioni su riviste nazionali e internazionali peer-reviewed, report sui siti web,) prevede la realizzazione di moduli formativi indirizzati alle figure professionali, il primo dei quali è stato realizzato nel 2022, e infine, strumenti informativi per i diversi *stakeholders*. Uno strumento molto efficace ai fini della trasferibilità, è il Portale Agenti Fisici (www.portaleagentifisici.it), nel quale oltre ai prodotti del progetto, è prevista la realizzazione di una banca dati consultabile online, che raccoglierà dalla letteratura nazionale ed internazionale, i dati radiologici (contenuto di U-238, Th-232, K-40 e altri radionuclidi di particolare rilevanza radiologica) delle materie prime, dei residui e dei prodotti delle industrie NORM. La piattaforma offrirà inoltre la possibilità di utilizzare un *tool* dedicato per stimare le dosi al lavoratore e agli individui della popolazione a partire dai contenuti medi dei radionuclidi di interesse per ciascuna matrice NORM, nell'ambito di alcuni scenari espositivi.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati discussi i nuovi risultati di un progetto di ricerca sulle industrie con presenza di NORM. In particolare sono descritti gli esiti del censimento aggiornato degli insediamenti industriali con presenza di NORM attualmente attivi in Italia e della elaborazione di una metodologia per l'individuazione di situazioni di particolare interesse dal punto di vista della radioprotezione, che fornisce metodologie operative e di calcolo.

Bibliografia

Cappai M., Gaidolfi L., Vitucci L., Pantalone C. *Task 03.01.01 Censimento attività/siti con NORM e raccolta delle analisi di rischio*. Report elaborato nell'ambito della Convenzione del 29.12.2014 MATTM-ISPRA, 2014.

«Decreto legislativo 31 luglio 2020 n.101.» *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,...* Roma: Suppl.ordinario alla "Gazzetta ufficiale" n.201 del 12 agosto 2020, 31 luglio 2020.

«Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n.230.» *Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti.* Gazzetta Ufficiale, 17 marzo 1995.

«Direttiva 2013/59/EURATOM .» *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,...* Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, 5 dicembre 2013.

Luzzi L, Leonardi F., Bucci S., Caldognetto E., La Verde G., Nuccetelli C., Peroni I., Picciolo F., Pratesi G., Pugliese M., Trotti F., Ugolini R., Venoso G., Trevisi R. «*Nuovo censimento attività NORM in Italia: primi dati.*» Atti del Convegno Nazionale Airp di Radioprotezione. La radioprotezione: novità e sfide tra innovazione normativa e tecnologica. Roma, 2021.

Peroni I., Caldognetto E., De Stena A., Leonardi F., Nuccetelli C., Pugliese M., Trotti F., Ugolini R., Venoso G., Bucci S. «*Verifica delle condizioni di applicabilità della norma UNI EN ISO 11665:2017 a campioni derivanti da pratiche NORM diverse.*» XXXVIII Congresso Nazionale AIRP di Radioprotezione. Milano, 2022.

Ugolini R., Trotti F., Caldognetto E., Bucci S., Peroni I., De Stena A., Pratesi G., Nuccetelli C., Venoso G., Bogi A., Picciolo F., Leonardi F., Luzzi L., La Verde G., Trevisi R., Pugliese M. «*Sviluppo di protocolli di campionamento e valutazione della dose per settori industriali NORM.*» XXXVIII Congresso Nazionale AIRP di Radioprotezione. Milano, 2022.