



***Atti del Convegno Nazionale AIRP
di Radioprotezione***

**L'ottimizzazione della Radioprotezione
alla luce della nuova normativa**



Cagliari, 27 - 29 settembre 2023

T-Hotel, via dei Giudicati

**Atti del Convegno Nazionale Airp di Radioprotezione
L'ottimizzazione della Radioprotezione alla luce della nuova normativa**



INDICE



Convegno Nazionale Airp
Cagliari, 27 - 29 settembre 2023

Strumenti per stime standardizzate di conformità al livello di esenzione in termini di dose efficace per gli individui della popolazione nei casi di allontanamento di residui NORM in discarica

Gabriele Pratesi¹, Flavio Trotti², Silvia Bucci¹, Elena Caldognetto², Anna De Stena¹, Federica Leonardi³, Cristina Nuccetelli⁴, Ilaria Peroni¹, Rosabianca Trevisi³, Raffaella Ugolini², Gennaro Venoso⁴

¹ARPAT, via Ponte alle Mosse 211, 50144 Firenze

²ARPAV, via Dominutti 8, 37135 Verona

³INAIL – Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro – Via Fontana Candida 1, 00078 Monte Porzio Catone (RM)

⁴ISS - Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena 299, 00161 Roma

flavio.trotti@arpa.veneto.it

INTRODUZIONE

Il decreto legislativo 101/20 s.m.i. stabilisce i livelli di esenzione e allontanamento per i materiali NORM in termini di concentrazione di attività, come prima soglia per l'uscita dal sistema regolatorio. Nel caso di allontanamento di residui in discarica, prevede che tali livelli vengano dimezzati. Il decreto dà la possibilità, comunque, di restare in esenzione, pur essendo superati i valori di concentrazione di attività suddetti, ove sia rispettato il livello di esenzione in termini di dose efficace, pari a 1 mSv/anno per i lavoratori e 0.3 mSv/anno per gli individui della popolazione.

Non è infrequente che residui di lavorazioni NORM destinati in discarica eccedano i livelli di allontanamento in concentrazione di attività, e gli esperti di radioprotezione debbano quindi elaborare valutazioni di dose per la verifica di conformità agli 0.3 mSv/anno, con il rischio concreto di adottare approcci molteplici e non standardizzati, soprattutto utilizzando i modelli più sofisticati disponibili, come RESRAD-ONSITE (Argonne National Laboratory, 2016).

Il presente lavoro si basa sui Clearance Levels (CL) specifici per il destino ambientale dei residui in discarica, per i segmenti delle serie naturali di U-238 e Th-232 e per il K-40 del documento Radiation Protection 122 part II (EC, 2001). Vengono proposti semplici fattori di modulazione (percentuale di residui NORM sul totale, polverosità ambientale, ecc.) che consentano di ottenere CL meno restrittivi rispetto a quelli tabulati nel suddetto rapporto, a tenere conto di condizioni locali di impatto più limitato e maggiormente aderenti alla realtà.

L'applicazione della metodologia generale è illustrata attraverso più casi di studio.

METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLA DOSE PER LO SCENARIO DISCARICA IN RP 122 PARTE II

RP 122 parte II deriva dei CL (in kBq/kg) per ogni radionuclide/segmento delle catene dell'U-238 e del Th-232 e per il K-40, e per diversi tipi di materiale coinvolto (*rock, ash, sand slag*), sulla base di specifici scenari per l'esposizione di lavoratori e persone del pubblico, tali per cui la dose efficace individuale che ne risulta è pari a 0.3 mSv/anno. I singoli CL così calcolati sono mostrati nelle tabb. 27 – 30 (EC, 2001).



I GCL (livelli generali di allontanamento – cfr. tab. 2 del documento) sono i massimi valori dei CL, per ogni segmento di catena/radionuclide tra tutti gli scenari e i materiali considerati.

Per l'allontanamento in discarica, viene considerato lo scenario del lavoratore della discarica che riceve e sistema il residuo nel sito (4.2.5) e quello dei residenti in una casa prossima alla discarica (4.3.2).

Nello scenario 4.2.5, il lavoratore opera su una discarica composta al 100% da residui NORM, procede allo scarico e alla sistemazione all'interno di un mezzo meccanico per tutto l'anno lavorativo (1800 h/anno), trattando un quantitativo annuo di residuo pari a 36000 t. Si assume che il materiale sia trattato alla rinfusa, ovvero non confezionato in contenitori. Le vie di esposizione sono l'irraggiamento esterno, con coefficiente di dose calcolato tramite il software Microshield (Groove software, 2023), l'inalazione e l'ingestione diretta, con coefficienti di dose tratti dalla direttiva Euratom 96/29 (Euratom, 1996): va segnalato che di recente i coefficienti di dose per i lavoratori da irraggiamento ed introduzione sono stati oggetto di aggiornamento (Nuccetelli, 2023). I valori dei CL coincidono per tutti i tipi di materiali considerati nel documento.

Nello scenario 4.3.2, si considera una discarica non ricoperta e riempita di residui NORM al 100%, con una casa posta a 25 m da essa (confine del terreno di pertinenza a 20 m dalla discarica). I quantitativi stoccati di residuo sono molto elevati, pari a 1 milione di m³ di materiale. Si ipotizzano tre sottoscenari: lo stazionamento direttamente sul cumulo di residui, la permanenza all'interno dell'abitazione, la permanenza e l'uso del terreno limitrofo all'abitazione. Le vie di esposizione esaminate sono l'irraggiamento esterno in ciascuno dei sottoscenari suddetti, l'inalazione di particolato risospeso e l'ingestione diretta sopra la discarica, l'inalazione della polvere depositata sul terreno intorno alla casa e l'ingestione secondaria dovuta alla deposizione della polvere su frutta e verdura coltivate in situ e dovuta all'uso irriguo di acqua di falda con infiltrazione di radioattività da parte del residuo NORM confinato nella discarica. Va evidenziato che viene assunto che la frazione di frutta e verdura consumata proveniente dal mercato, di produzione dunque non locale, è pari al 50%. Strumenti e fonti per il reperimento dei coefficienti di dose sono gli stessi dello scenario 4.2.5.

Tabella 1 – CL (kBq/kg) per allontanamento in discarica di residui NORM tratti da RP 122 parte II (EC, 2001) per lo scenario 4.2.5 (lavoratore in discarica) e 4.3.2. (individui della popolazione che vivono a ridosso della discarica)

Radionuclide/segmento	CL 4.2.5	CL 4.3.2 (rock)	CL 4.3.2 (ash)
U-238sec	0.68	0.75	1.2
U-nat	9.6	28	29
Th-230	17	27	44
Ra-226+	0.87	1.3	1.6
Pb-210+	22	4	24
Po-210	13	3	14
Th-232sec	0.49	0.56	0.87
Th-232	11	3.1 (*)	16 (*)
Ra-228+	1.5	1	2.5
Th-228+	0.78	1.4	1.4
K-40	9.9	18	18

(*) cfr. considerazioni specifiche sviluppate nel paragrafo seguente

Per ingestione e inalazione, nel calcolo delle dosi, sono state introdotte diverse fasce d'età dell'individuo della popolazione, selezionando quella che comportava il contributo maggiore. Per quanto riguarda i materiali, in questo lavoro si prendono in esame solo il *rock type* e l'*ash type*, essendo il primo più critico per l'ingestione secondaria dovuta all'acqua di falda irrigua contaminata, ed il secondo in relazione alla polverosità in aria; le vie di esposizione

dell'irraggiamento e dell'ingestione diretta son invece indipendenti dal tipo di materiale interessato.

Nella tab. 1 sono confrontati i CL di RP 122 (EC, 2001) parte II per gli scenari 4.2.5 e 4.3.2 (*rock* e *ash type*) per i segmenti/radionuclidi delle serie dell'U-238 e del Th-232 e per il K-40.

IPOTESI DI ADEGUAMENTO DEGLI SCENARI ESPOSITIVI A CONDIZIONI PIÙ REALISTICHE

Come ricordato al paragrafo precedente, i parametri che determinano i CL di RP 122 parte II (tab. 1) sono numerosi e tutti impostati al livello più conservativo, in modo da non dovere assumere informazioni di contesto della discarica per il primo confronto con il livello di concentrazione misurato nei residui; per ottenere CL meno conservativi, agire su tutti i parametri non rappresenta allo stato attuale una opzione percorribile, in quanto è difficile tenere sotto controllo l'effetto delle singole variabili.

Al fine di valutare l'impatto di ipotesi più vicine alla realtà sui CL per il conferimento di residui NORM in discarica, sono stati quindi riconsiderati gli scenari 4.3.2 e 4.2.5, modificando solo alcuni dei parametri e delle ipotesi; per lo scenario 4.3.2, i cui CL dipendono dal tipo di materiale, sono stati prese in considerazione le tipologie che producono CL più conservativi, ovvero *rock* e *ash type*.

In tale contesto, sono stati messi a punto dei fogli di calcolo con Microsoft Excel per la determinazione dei CL relativi ai suddetti scenari per l'esposizione di lavoratori e popolazione. I fogli di calcolo sono stati verificati utilizzando come parametri di ingresso i dati di RP 122 parte II. Per lo scenario 4.2.5 i CL ottenuti per tutti i radionuclidi/segmenti di catena tramite i fogli di calcolo sono inferiori ai dati riportati da RP 122 parte II del 10% e la causa di ciò non è attualmente chiarita. Per lo scenario 4.3.2 i CL ottenuti per tutti i radionuclidi/segmenti di catena sono in ottimo accordo con i dati tabulati dal citato documento, ad eccezione del Th-232 per il quale si riscontra una notevole differenza nelle tipologie di materiale *rock*, *ash*, *slag* (e non per la tipologia *sand*); anche in questo caso si rende necessario un approfondimento al riguardo.

SCENARIO 4.3.2

La prima considerazione parte dal fatto che le discariche sono costruite lontane da centri abitati e anche la distanza dai cosiddetti recettori sensibili è di norma di alcune centinaia di metri. Ciò comporta che per l'esposizione della popolazione l'irraggiamento diretto dai residui presenti in discarica sia sostanzialmente nullo.

Inoltre, le discariche devono procedere con una ricopertura giornaliera dei rifiuti conferiti e non sono accessibili a persone del pubblico che non svolgano le attività di movimentazione e messa a dimora dei residui; in conseguenza di ciò il contributo di inalazione e ingestione diretta delle polveri dovuto allo stazionamento sulla discarica non ancora ricoperta può essere considerato solo per il lavoratore (scenario 4.2.5).

Avendo annullato il contributo dell'irraggiamento diretto e dell'inalazione e ingestione di polveri per stazionamento sulla discarica, i contributi che restano sono l'ingestione secondaria e l'inalazione di polveri da parte delle persone che si trovano presso i recettori sensibili.

L'ingestione secondaria dipende fortemente dal rapporto fra il consumo di vegetali prodotti presso il recettore, contaminati per la deposizione di polveri provenienti dalla discarica e di acqua sotterranea contaminata, e di prodotti acquistati al mercato, che RP 122 stabilisce convenzionalmente nel 50%, ma anche dalla quantità di polvere contaminata.

L'analisi che segue è circoscritta ai radionuclidi Ra-226+, Pb-210+, Po-210, Ra-228+ e Th-228+ in quanto sono tra i più comuni nei residui di lavorazione NORM e, in particolare, oggetto dei casi di studio presentati in questo lavoro.

Nelle figg. 1 e 2 sono mostrati i CL per i radionuclidi di maggiore interesse, ricalcolati escludendo il contributo dell'irraggiamento diretto (recettore distante almeno 100 metri dalla discarica) e dell'inalazione e ingestione dovuti alla permanenza sulla discarica (non accessibile), rispettivamente per i materiali *rock* e *ash type*, e in funzione della quota di vegetali acquistata al mercato, ovvero non contaminata.

I risultati mostrano che, per i materiali di tipo *rock* e considerando la quota di frutta e verdura contaminata pari al 50%, mentre per il Th-228 il CL passa da 1,4 a oltre 10 kBq/kg, per il Ra-226 va da 1,3 a oltre 3 kBq/kg; per gli altri radionuclidi, il CL non è sostanzialmente modificato, in quanto la via prevalente di esposizione è l'ingestione secondaria, non modificata dal ricalcolo. Variando la quota di vegetali consumati ma non prodotti localmente, i CL di tali radionuclidi aumentano in modo significativo, ad esempio nel caso del Pb-210+ e Po-210 da alcune unità si arriva oltre 100 kBq/kg.

Per quanto riguarda i materiali di tipo *ash*, ricordando che in generale i CL di tutti i radionuclidi sono più elevati in partenza (vedi tab 1) per la minore frazione di rilascio rispetto al materiale di tipo *rock* (vedi Tabella 18 RP 122, parte II), si evidenzia che per il Pb-210+ il CL passa da 4 a 24 kBq/kg, e per il Po-210 da 3 a 14 kBq/kg, mentre per il Ra-226+ resta praticamente lo stesso (da 1,3 a 1,6 kBq/kg), come per il Th-228+.

Figura 1 – CL (kBq/kg) per allontanamento di residui NORM in discarica per lo scenario 4.3.2 (abitazione presso discarica), per alcuni radionuclidi/segmenti, in assenza di irraggiamento esterno, di stazionamento sulla discarica e al variare della quota di frutta e verdura comprata al mercato. Le linee orizzontali corrispondono ai CL tabulati da RP 122 parte II. Materiale residuo: *rock type*.

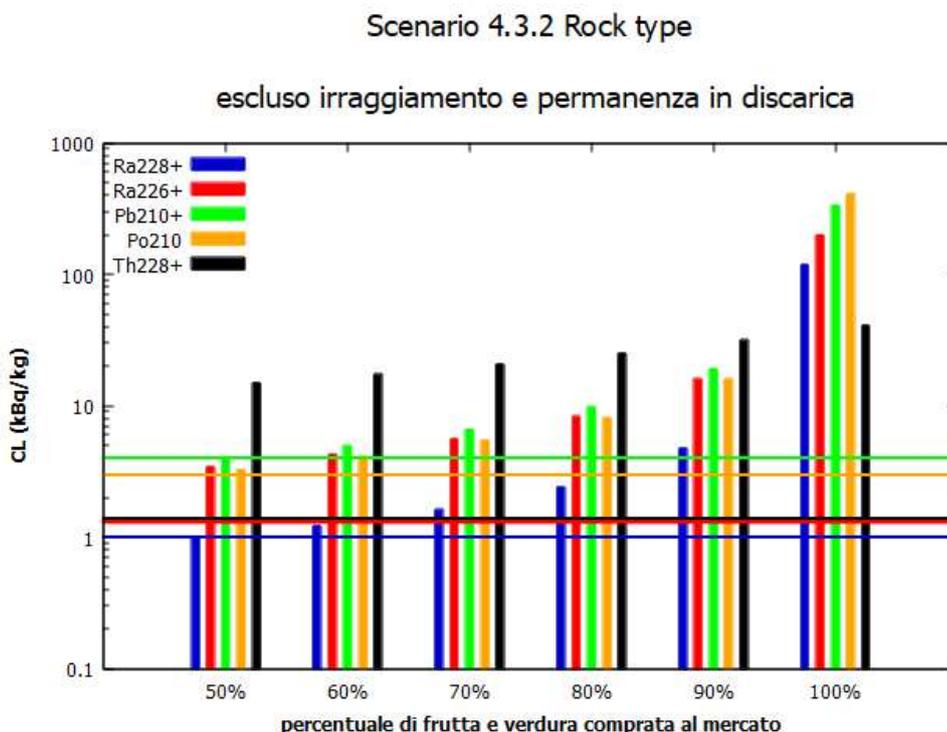
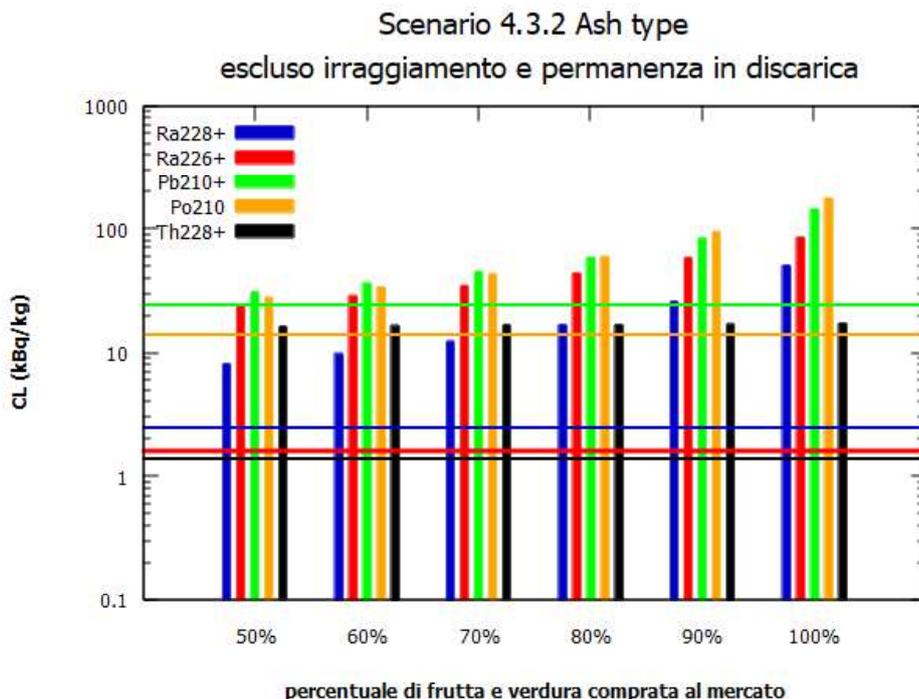


Figura 2 – CL (kBq/kg) per allontanamento di residui NORM in discarica per lo scenario 4.3.2 (abitazione presso discarica), per alcuni radionuclidi/segmenti, in assenza di irraggiamento esterno, di stazionamento sulla discarica e al variare della quota di frutta e verdura comprata al mercato. Le linee orizzontali corrispondono ai CL tabulati da RP 122 parte II. Materiale residuo: *ash type*.



SCENARIO 4.2.5

Come detto, la riproduzione dei calcoli per lo scenario di esposizione del lavoratore della discarica porta a uno scostamento sistematico dei risultati del 10%, in difetto rispetto alle dosi stimate di RP 122. Le valutazioni che seguono non tengono conto per semplicità di questa differenza, per cui i CL sono sovrastimati della stessa percentuale (cfr. tab.2).

L'ipotesi su cui si fonda la valutazione contenuta nel documento RP 122 parte II (EC, 2001), è quella di un sito ove la lavorazione dei residui NORM è molto intensa, facendo intuire, pur senza esplicitare i quantitativi totali presenti, che si tratti di una discarica ove tali residui vengono conferiti in modo massiccio. Il dato del totale annuo trattato dal lavoratore, richiamato nel precedente paragrafo, ovvero 36000 t/anno è infatti assai elevato rispetto a quanto riscontrabile in altre situazioni. Si è dunque assunto che il tempo dedicato alla sistemazione dei residui NORM sia il 10% (180 ore/anno).

Un'altra ipotesi molto conservativa contenuta nel documento si riferisce al fatto che i residui siano trasferiti nella discarica alla 'rinfusa', con conseguente dispersione aerea di parte del materiale e possibilità di ingestione diretta dello stesso. Tipicamente i residui sono conferiti in big bag con eliminazione o riduzione consistente dei suddetti contributi di esposizione del lavoratore. Si è dunque immaginato, in relazione a ciò, di abbattere di un fattore 10 il dato del rateo di ingestione diretta di residuo NORM da parte del lavoratore e la concentrazione aerodispersa del residuo medesimo. I CL del documento, aumentati del 10% rispetto a quelli tabulati da RP 122 parte II, sono confrontati nella tab. 2 con quelli ricalcolati tramite le suddette assunzioni.

Tabella 2 – CL (kBq/kg) per allontanamento in discarica di residui NORM per lo scenario 4.2.5 (lavoratore in discarica) di RP 122 parte II (EC, 2001): parametrizzazione come da documento e con riduzione del tempo di lavoro a 180 ore/anno e conferimento residuo in big bag

Radionuclide/segmento	CL 4.2.5	CL (180 ore/anno)	CL (residui in big bag)	CL (180 ore/anno e residui in big bag)
U-238sec	0,75	7,50	0,94	9,4
U-nat	11	106	44	436
Th-230	19	192	190	1895
Ra-226+	0,96	9,6	0,98	9,8
Pb-210+	25	248	235	2344
Po-210	14	141	141	1414
Th-232sec	0,55	5,5	0,65	6,5
Th-232	12	124	123	1232
Ra-228+	1,7	17	1,8	18
Th-228+	0,86	8,6	1,0	10
K-40	11	110	11	110

Si può osservare che, chiaramente, la riduzione del tempo di lavoro dedicato ai NORM al 10% comporta un innalzamento proporzionale dei CL per tutti i radionuclidi/segmenti di catena. Si nota, inoltre, che l'intervento di attenuazione delle esposizioni per introduzione (residuo conferito in big bag), agisce in modo significativo su quei radionuclidi/segmenti per i quali tale modalità di esposizione è rilevante (U-nat, Th-230, Pb-210+, Po-210, Th-232), assai meno sui restanti.

Sulla base delle valutazioni fin qui condotte, si sono selezionati dei CL che rappresentassero delle condizioni maggiormente aderenti alla realtà, per l'esposizione dei lavoratori e della popolazione. In particolare, per lo scenario 4.2.5 sono stati considerati i valori relativi ad un sito che non tratti in modo massivo i residui NORM e che dunque impegni l'operatore per un 10% del proprio tempo di lavoro (cfr. tab. 2). Analogamente, per lo scenario 4.3.2 si è adottato un fattore 10 di riduzione della dose, con proporzionale aumento dei CL, a tenere conto del fatto che i quantitativi di residuo NORM conferiti sono solo una quota del totale dei rifiuti; inoltre sono state utilizzate le stime con annullamento dei contributi dell'irraggiamento esterno e di quelli relativi allo stazionamento diretto sulla discarica aperta (figg. 1 e 2).

I CL così derivati per i due scenari sono mostrati in tab. 3: sono presentati i dati per i soli radionuclidi su cui, nel paragrafo che segue, vengono sviluppati i casi di studio, e per lo scenario 4.3.2 ci si è limitati al solo materiale di tipo *rock*, essendo il più cautelativo rispetto ai restanti.

Nella tabella è evidenziato, tra i due scenari messi a confronto, quello che per il singolo radionuclide/segmento risulta più restrittivo. In generale si osserva un innalzamento di un fattore circa 10 per tali valori più restrittivi rispetto all'analogo dato tabulato da RP 122 parte II (EC, 2001) e riportato nella tab. 1. Va anche sottolineato che i CL della tab. 3 relativi allo scenario 4.3.2 non tengono conto dell'eventuale aumento della quota di frutta e verdura comprata al mercato rispetto al 50% ipotizzato da RP 122 parte II (EC, 2001) che, ove considerato, comporterebbe incrementi anche significativi dei valori specificamente di Pb-210+ e Po-210 (cfr. figg. 1 e 2).

Tabella 3 – CL (kBq/kg) per allontanamento di residui NORM in discarica per i seguenti scenari: a) 4.2.5 (lavoratore in discarica) con riduzione del tempo di lavoro a 180 ore/anno, b) 4.3.2 (abitazione presso discarica) con riduzione del volume di residui norm al 10%, assenza di irraggiamento esterno e di stazionamento sulla discarica

<i>Radionuclide/segmento</i>	<i>CL 4.2.5 (180 ore/anno)</i>	<i>CL 4.3.2 esclusi irraggiamento e presenza sulla discarica e con 10% di residui norm (rock type)</i>
Ra-226+	9,6	34
Pb-210+	248	40
Po-210	141	33
Ra-228+	17	10
Th-228+	8,6	150

APPLICAZIONI A CASI STUDIO

A titolo esemplificativo, si è provato a confrontare i CL adattati come da tab. 3 con casi di studio, ovvero a range di valori di concentrazione di attività nei residui di alcune lavorazioni NORM. I risultati sono riportati nelle tabb. 4, 5, 6: in verde sono evidenziati i valori dei CL che vengono superati dall'estremo superiore degli intervalli di concentrazione di attività misurata.

Il primo caso (tab. 4) riguarda la produzione di biossido di titanio e le misure si riferiscono a dati reperiti nell'ambito di un progetto di ricerca nazionale (BRiC, 2019).

Nella tab. 5 i CL proposti in questo lavoro sono applicati ai dati di concentrazione di attività delle ceneri leggere prodotte nella combustione di carbone. I dati si riferiscono a misure effettuate in passato da ARPA Liguria (APAT, 2004), dove per Pb-210+ e Po-210 si è adottato il fattore di arricchimento rispetto al valore di U-238 e Ra-226 (rispettivamente pari a 3 e 5 volte) indicato dalla letteratura internazionale (Unsclear, 1988), e a concentrazioni di attività misurate in diversi Paesi nelle ceneri leggere raccolte dai sistemi di filtrazione, come riportate nel compendio delle Nazioni Unite (Unsclear, 1982).

Infine (tab. 6), l'esercizio è stato ripetuto con residui che provengono dai sistemi di abbattimento nei processi termici di lavorazioni con impiego di sabbie zirconifere, con ricorso a dati rilevati nel progetto nazionale sopra citato (BRiC, 2019) e in indagini pregresse (ISPRA, 2015).

Tabella 4 - Caso 1. Produzione di biossido di titanio. Residuo: materiale filtrante

<i>Radionuclide/segmento</i>	<i>C_{misurata} (kBq/kg)</i>	CL	
		<i>Il più cautelativo fra gli scenari 4.2.5 + 4.3.2 (esclusi irraggiamento e permanenza sulla discarica – rock type)</i>	
		<i>100% residui NORM</i>	<i>10% residui NORM</i>
Ra-226+	0.05 - 100	0.96	9,6
Pb-210+	0.01-- 20	4.0	40
Po-210	0.01-- 20	3.3	33
Ra-228+	0.08 – 230	1.0	10
Th-228+	0.07 – 80	0.86	8,6

Tabella 5 - Caso 2. Centrali elettriche a carbone. Residuo: ceneri leggere

Radionuclide/segmento	$C_{misurata}$ (kBq/kg)	CL	
		<i>Il più cautelativo fra gli scenari 4.2.5 + 4.3.2 (esclusi irraggiamento e permanenza sulla discarica – rock type)</i>	
		100% residui NORM	10% residui NORM
Ra-226+	0.12 – 0.20	0.96	9,6
Pb-210+	0.36 – 2.0	4.0	40
Po-210	0.60 – 2.0	3.3	33
Ra-228+	0.10 – 0.30	1.0	10
Th-228+	0.10 - 0.30	0.86	8,6

Tabella 6 - Caso 3. Lavorazione di sabbie zirconifere. Residui da processi termici

Radionuclide/segmento	$C_{misurata}$ (kBq/kg)	CL	
		<i>Il più cautelativo fra gli scenari 4.2.5 + 4.3.2 (esclusi irraggiamento e permanenza sulla discarica –rock type)</i>	
		100% residui NORM	10% residui NORM
Ra-226+	0.01 – 0.31	0.96	9,6
Pb-210+	0.03 – 30.6	4.0	40
Po-210	4.7 – 126	3.3	33
Ra-228+	0.001 – 0.06	1.0	10
Th-228+	0.001 – 0.06	0.86	8,6

Come commento generale, si può affermare che la rimodulazione degli scenari di RP 122 parte II relativi all'allontanamento in discarica (4.2.5 per i lavoratori e 4.3.2 per la popolazione) con l'introduzione di ipotesi e parametrizzazioni maggiormente aderenti alla realtà, consente di ottenere dei CL tali da ricomprendere residui con concentrazioni di attività che eccedono in modo significativo i livelli di allontanamento del decreto legislativo 101/20 s.m.i., nel rispetto del valore di 0.3 mSv/anno di dose efficace all'individuo della popolazione previsto dalla normativa.

Le tabelle mostrano, tuttavia, che i valori di concentrazione di attività dei radionuclidi/segmenti di alcuni residui assai elevate, sono tali da superare anche i CL rivalutati. Questo tipo di situazioni si registra, nell'ambito dei casi studio qui trattati, relativamente alle tele filtranti dell'industria della produzione del biossido di titanio (tab. 4) e per i fumi/polveri di abbattimento generati nei processi termici che si rinvergono nelle lavorazioni delle sabbie zirconifere (tab. 6). Al contrario, mediamente, il contenuto di radionuclidi naturali delle ceneri leggere (abbattute) nel processo di combustione delle centrali a carbone resta al di sotto dei CL rivalutati, anche nell'ipotesi più restrittiva di discarica con 100% di presenza di residui NORM (tab. 5).

CONCLUSIONI

I CL di RP 122 parte II per i residui in discarica negli scenari di esposizione dei lavoratori (4.2.5) e del pubblico (4.3.2), ricalcolati a tenere conto di parametrizzazioni più realistiche, possono essere uno strumento agile, standardizzato e scientificamente solido per valutare il rispetto del livello di esenzione in dose efficace per l'individuo della popolazione, senza modificare in modo significativo l'impianto generale del documento.

Un parametro che, in prima battuta, risulta particolarmente efficace nella rielaborazione delle stime è quello legato al quantitativo di residuo NORM lavorato in discarica: limitando, ad esempio, al 10% del tempo le ore di lavoro annue dell'operatore della discarica (scenario 4.2.5) e la quota di residuo NORM rispetto al rifiuto complessivamente presente in discarica (4.3.2), le dosi individuali si riducono sensibilmente e proporzionalmente si incrementano i CL.

Una considerazione specifica va fatta in relazione alla quota di frutta e verdura di produzione locale consumata dall'abitante nei pressi della discarica (4.3.2), contaminata a seguito dell'uso irriguo di acqua di falda ove avviene rilascio di radioattività da parte del residuo NORM confinato nella discarica. RP 122 parte II assume che tale quota sia del 50%: aumentando tale valore i CL di alcuni radionuclidi/segmenti, quali il Pb-210+ e il Po-210, crescono significativamente, essendo per essi l'ingestione la via di esposizione prevalente.

Da un punto di vista metodologico, l'aver predisposto dei fogli di calcolo che riproducono gli algoritmi di RP 122 parte II per gli scenari di allontanamento residui in discarica (lavoratori e popolazione), appare assai utile: possono essere, infatti, sviluppate simulazioni rapidamente e agevolmente in tutte le situazioni per le quali si richieda stime al variare dei parametri d'interesse. In termini applicativi, infine, la possibilità di utilizzare CL meno restrittivi rispetto a quelli tabulati da RP 122 parte II, riferiti a contesti più specifici e realistici, va valutata e approfondita. I valori presentati nella tab. 3 costituiscono una base valida che va comunque testata con altri esempi e fattispecie di lavorazioni NORM. Potrebbe risultare, peraltro, opportuno che l'individuazione di CL meno conservativi, basati su condizioni più realistiche, sia condivisa con i soggetti deputati al ritiro del residuo. Analogamente, all'interno del PMC della discarica, potrebbero essere inseriti elementi a supporto delle previsioni modellistiche sottostanti la formulazione dei CL rivalutati.

Un ulteriore contributo nella direzione tracciata da questo lavoro potrà derivare dall'attività che verrà svolta all'interno del progetto nazionale BRiC 2 (BRiC, 2022).

Bibliografia

APAT, *Attività lavorative con materiali ad elevato contenuto di radioattività naturale (NORM: Naturally Occurring Radioactive Materials)*, RTI CTN_AGF 3/2004

BRiC 2019, *Elaborazione di strumenti tecnici e operativi per una efficace protezione dei lavoratori e della popolazione dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti emesse dai radionuclidi naturali contenuti nei materiali utilizzati nelle industrie NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)*, INAIL, Università di Napoli, ISS, ARPA Toscana e ARPA Veneto, Az. USL Toscana sud est Siena (2020 – 2023)

BRiC 2022, *Messa a punto di procedure per la caratterizzazione radiologica di materie NOR e per la stima della dose per una efficace protezione dei lavoratori e della popolazione dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti emesse dai radionuclidi naturali contenuti nei materiali utilizzati in alcuni settori industriali NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)*, INAIL, Università di Napoli, ISS, ARPA Lombardia, ARPA Toscana e ARPA Veneto, Az. USL Toscana sud est Siena, Politecnico di Milano (2022 – 2024)

Euratom, *Direttiva 96/29 Euratom del Consiglio del 13.05.96, che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti*, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L. 159/96 del 29.06.96



Convegno Nazionale Airp
Cagliari, 27 - 29 settembre 2023

European Commission *Radiation Protection n. 122 parte II "Practical use of the concepts of clearance and exemption – Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources"*, 2002

Groove software, *Microshield v. 13*, 2023

ISPRA, *Task n 03.02.01 Valutazione di impatti radiologici da NORM*, 2015

Nucetelli C., Venoso G., Bucci S., Peroni I., Pratesi G., Trotti F., Ugolini R., Leonardi F., Trevisi R., *Aggiornamento dei coefficienti di dose e loro impatto sui livelli di allontanamento e di esenzione dei residui NORM*, abstract Convegno AIRP di Cagliari 27 – 29 settembre 2023

RESRAD-ONSITE, Argonne National Laboratory, version 7.2, 2016

UNSCEAR, *Ionizing radiations: sources and biological effects*, 1982 Report

UNSCEAR, *Sources, effects and risks of ionizing radiations*, 1