



Regione Toscana

**INAIL**  
provider ECM

Seminario

## *Elementi di radioprotezione delle industrie NORM*

19 giugno 2025

8.30-13.30

**INAIL**

# **Metodi di calcolo per la stima della dose Dose – Il calcolatore di dose nel Portale Agenti Fisici**

**Gennaro Venoso**

**ISS – Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica  
Computazionale**

# SOMMARIO

Stima della dose nei protocolli operativi

Stima della dose ai lavoratori e popolazione da di **materiali solidi**  
(RP-122 Part II)

Il calcolatore di dose del Portale Agenti Fisici (PAF)

Stima della dose alla popolazione da **effluenti** di industrie NORM (RP-135)

Conclusioni

# Stima della dose nei protocolli operativi



# Stima della dose nei protocolli operativi

**TABELLA IV: LAVORATORI – STIMA DELLA DOSE E VERIFICA ESENZIONE IN TERMINI DI DOSE EFFICACE**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Scenari specifici	Vie di esposizione	Livello di esenzione (dose efficace)
Materia prima	materia prima zirconifera di origine naturale	sabbia zirconifera da miniera	trasporto, cumuli di materie prime	irraggiamento, inalazione, radon	1 mSv/anno
	materia prima zirconifera di origine non naturale	prodotti industriali contenenti zirconio (da riprocessamento)			
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale				
Prodotto	refrattari	mattoni refrattari	finitura, confezionamento, stoccaggio, trasporto	Irraggiamento, inalazione, radon	
		altri refrattari			

**TABELLA V: INDIVIDUO RAPPRESENTATIVO – STIMA DELLA DOSE E VERIFICA ESENZIONE IN TERMINI DI DOSE EFFICACE**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Scenari specifici	Vie di esposizione	Livello di esenzione (dose efficace)
Materia prima	materia prima zirconifera di origine naturale	sabbia zirconifera da miniera	trasporto	irraggiamento, inalazione, radon	0.3 mSv/anno
	materia prima zirconifera di origine non naturale	prodotti industriali contenenti zirconio (da riprocessamento)			
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale				
Effluente (1)	aeriforme (1)	emissioni in atmosfera dai camini	rilascio di radionuclidi nelle polveri emesse dai camini	irraggiamento, inalazione, catena alimentare	
	liquido	acqua di scarico	rilascio di radionuclidi nell'effluente scaricato in corpo idrico o in fognatura		

# Livelli di esenzione (LE) in termini di concentrazione di attività

D.lgs. 101/2020

TABELLA II-2

Radionuclidi naturali della serie U-238	1 kBq kg <sup>-1</sup>
Radionuclidi naturali della serie Th-232	1 kBq kg <sup>-1</sup>
K-40	10 kBq kg <sup>-1</sup>

## Casi particolari:

Per il Po-210 o Pb-210 si utilizza il valore di 5 kBq kg<sup>-1</sup>

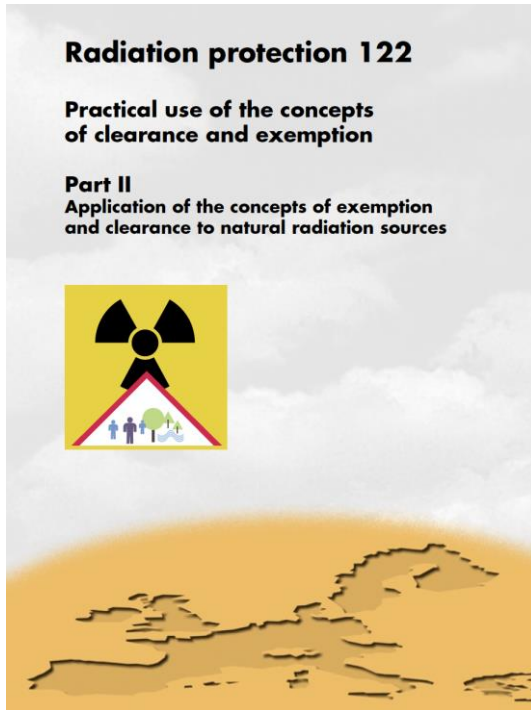
Per i residui **utilizzati in discarica** o riutilizzati per la **costruzione di strade**:  
**LE = 50%** dei valori in tabella II-2 a meno che non si dimostri che la dose all'Ind. Rap. < 0.3 mSv/y

Per i residui destinati all'**incenerimento**:

Dosi < **LE per l'Ind. Rap.** (0.3 mSv/y), anche se conc. attività < LE in tabella II-2

# Stima della dose: pubblicazioni di riferimento

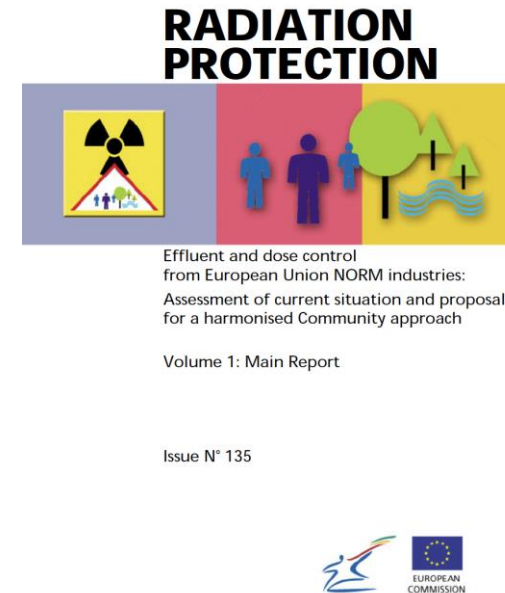
## Materiali solidi



This publication, adopted by the Group of Experts established under Article 31 of the Euratom Treaty, gives guidance on how Member States could use these concepts and on which general clearance levels would be appropriate (pag. 2)

The Commission **welcomes the guidance** provided by the Group of Experts and is confident that it will prove to be very useful to Member States [..]

## Effluenti



The views expressed in the current document are those of the contractor and the publication of this document **does not imply endorsement** by the Commission. (pag. ix)

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

**Scenari** per stimare la dose efficace ricevuta da lavoratori e popolazione

Scenari dipendono da:

## Destinazione

- Riciclo
- Discarica

## Gestione temporanea

- Trasporto
- Stoccaggio

## Individui esposti

- Lavoratori
- Popolazione

## Vie di esposizione

- Irraggiamento
- Inalazione
- Ingestione
- Inalazione al radon
- Groundwater pathway

Groundwater pathway: infiltrazioni d'acqua contaminata che viene usata per irrigazione

Per il radon, la concentrazione indoor viene stimata e confrontata con i livelli di riferimento

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Termine sorgente

- Quali radionuclidi?

<sup>238</sup> U series		<sup>235</sup> U series		<sup>232</sup> Th series	
Nuclide	Half-life	Nuclide	Half-life	Nuclide	Half-life
<i>Segmento catena</i>	<i>Nuclidi considerati in equilibrio secolare</i>				
U-238+	U-238, Th-234, Pa-234m				
U-234	U-234				
Th-230	Th-230				
Ra-226+	Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214				
Pb-210+	Pb-210, Bi-210				
Po-210	Po-210				
Th-232	Th-232				
Ra-228+	Ra-228, Ac-228				
Th-228+	Th-228, Ra-224, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 (dir.), Tl-208 (dir)				
<i>Catena intera</i>	<i>Segmenti di catena in equilibrio secolare</i>				
U-238sec	U-238+, U-234, Th-230, Ra-226+, Pb-210+, Po-210				
Th-232sec	Th-232, Ra-228+, Th-228+				
<sup>210</sup> Po	138.4 d				
<sup>206</sup> Pb	Stable				

- <sup>40</sup>K solo per irraggiamento esterno
- I nuclidi a vita media breve sono in equilibrio con i padri a vita media più lunga
- Valutazioni di dose vengono effettuate per **segmenti di catena** radioattiva
- Solo per le **materie prime** si può considerare una condizione di **equilibrio secolare** per tutti i radionuclidi di ciascuna serie

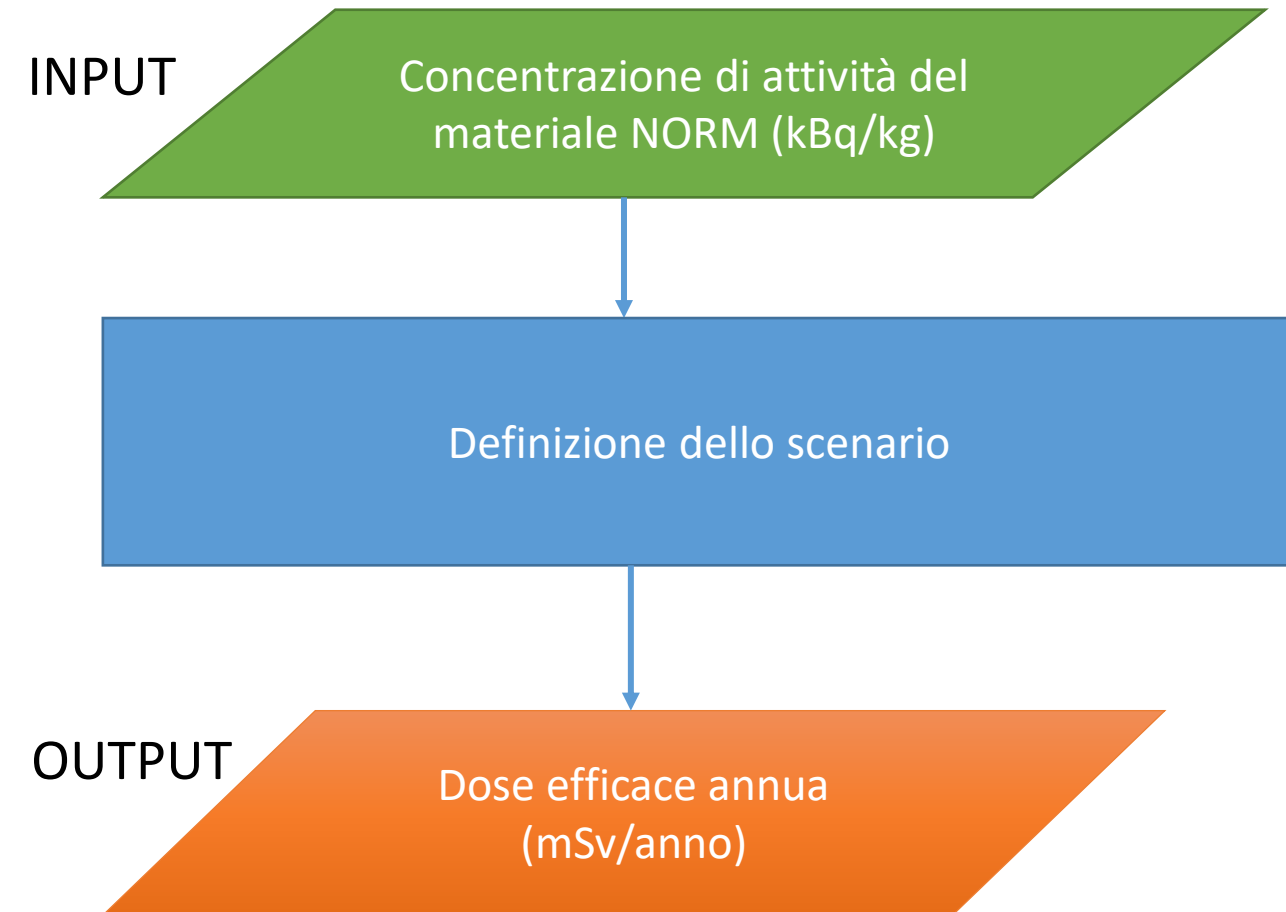
# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Termine sorgente

- **Disequilibrio radioattivo**
  - Volatilizzazione di alcuni radionuclidi
  - Altre reazioni fisico-chimiche

Per la **caratterizzazione del termine sorgente**, occorre prestare molta attenzione ai possibili disequilibri e prevedere pertanto un monitoraggio *ad hoc* dei radionuclidi per i quali ci si aspetta un maggiore contributo

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II



Caratterizzazione **termine sorgente** (materie prime, residui)

Parametrizzazione dello scenario  
Scelta dei valori dei parametri (conservativa)  
Individuazione delle vie di esposizione e dei gruppi di riferimento

Stima della dose per ciascuna **via di esposizione**

$$Dose\ efficace = E_{Ext} + E_{inh} + E_{ing}$$

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Vie di esposizione

## Irraggiamento esterno

$$H_{ext} = D_{ext} \cdot t_e \cdot f_d \cdot f_{dec} \left( \frac{\text{Sv/anno}}{\text{kBq/kg}} \right)$$

$$E_{Ext} = \sum_{\text{nuclide } i} H_{ext,i} \cdot C_{nuclide,i}$$

$H_{ext}$  Dose efficace annuale per concentrazione di attività unitaria

$D_{ext}$  Rateo di dose efficace durante l'anno di esposizione  $\left( \frac{\text{Sv/h}}{\text{kBq/kg}} \right)$

$t_e$  Tempo di esposizione  $\left( \text{h/a} \right)$

$f_d$  Fattore di diluizione

$f_{dec}$  Fattore che tiene conto del decadimento

$D_{ext}$  calcolato con software (es. Microshield) sulla base delle caratteristiche geometriche recettore-sorgente per ciascuno scenario

Nuclide	Transport	Small heap	Large heap	Disposal site	Road constr.
U 238sec	7.72E-08	3.19E-08	3.21E-08	4.31E-07	3.08E-07
U nat	7.13E-10	4.50E-10	4.44E-10	6.23E-09	4.23E-09
Th 230	1.06E-12	3.82E-12	3.40E-12	3.85E-11	2.78E-11
Ra 226+	7.61E-08	3.12E-08	3.14E-08	4.20E-07	3.01E-07
Pb 210+	6.08E-20	7.03E-12	2.14E-12	1.07E-10	9.29E-11
Po 210	3.54E-13	1.48E-13	1.48E-13	2.07E-12	1.41E-12

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Vie di esposizione

### Inalazione di polvere risospesa

$$H_{inh} = D_{inh} \cdot t_e \cdot B_r \cdot f_k \cdot C_{dust} \left( \frac{\text{Sv/anno}}{\text{kBq/kg}} \right)$$

$$E_{inh} = \sum_{\text{nuclide } i} H_{inh,i} \cdot C_{\text{nuclide},i}$$

$H_{inh}$  Dose efficace annuale per concentrazione di attività unitaria del materiale NORM

$D_{inh}$  Coefficiente di dose per inalazione  $\left( \frac{\text{Sv/Bq}}{\text{kg}} \right)$  usato il coefficiente di dose più restrittivo (AMAD = 5 micron)

$t_e$  Tempo di esposizione  $\left( \frac{\text{h}}{\text{a}} \right)$

$B_r$  rateo di respirazione  $\left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$  In accordo con ICRP 66 (varia per diverse fasce di età)

$f_k$  Fattore di concentrazione per l'attività contenuta nella frazione di polvere

$C_{dust}$  Concentrazione effettiva della polvere durante l'esposizione  $\left( \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right)$

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Vie di esposizione Ingestione

$$H_{ing} = D_{ing} r_{ing} t_{exp} \left( \frac{\text{Sv/anno}}{\text{kBq/kg}} \right)$$

$$E_{ing} = \sum_{\text{nuclide } i} H_{ing,i} \cdot C_{nuclide,i}$$

$H_{ing}$  Dose efficace annuale per concentrazione di attività unitaria del materiale NORM

$D_{ing}$  Coefficiente di dose per ingestione  $\left( \text{Sv/Bq} \right)$

$r_{ing}$  rateo di ingestione  $\left( \text{g/h} \right)$

$t_{exp}$  Tempo di esposizione  $\left( \text{h/a} \right)$

Nuclide	<1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	> 17	worker
U 238sec	4.64E-05	1.43E-05	7.90E-06	5.83E-06	5.48E-06	2.57E-06	2.57E-06
U nat	7.71E-07	2.84E-07	1.87E-07	1.53E-07	1.49E-07	1.00E-07	1.00E-07
Th 230	4.10E-06	4.10E-07	3.10E-07	2.40E-07	2.20E-07	2.10E-07	2.10E-07
Ra 226+	4.70E-06	9.62E-07	6.21E-07	8.01E-07	1.50E-06	2.80E-07	2.80E-07
Pb 210+	8.42E-06	3.61E-06	2.20E-06	1.90E-06	1.90E-06	6.91E-07	6.91E-07
Po 210	2.60E-05	8.80E-06	4.40E-06	2.60E-06	1.60E-06	1.20E-06	1.20E-06

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Lista degli scenari trattati da RP 122-II

- **Trasporto** su lunghe e brevi distanze (lavoratori e **popolazione**)
- Stoccaggio di **moderate** quantità **indoor** (lavoratori)
- Stoccaggio di **grandi** quantità **outdoor** (lavoratori)
- Conferimento in discarica (lavoratori e **popolazione**)
- Residui usati per la realizzazione di sottofondo stradale (lavoratori)
- **Riutilizzo** di NORM in **materiali da costruzione** (lavoratori e **popolazione**)
- Livellamento del suolo in aree ricreative pubbliche (**popolazione**)

Incenerimento dei residui NORM non viene preso in considerazione

I lavoratori di industrie non NORM sono membri della popolazione

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

CLs (in kBq/kg) stimati con RP 122-II – *residuo roccioso* (criterio di dose: 0.3 mSv/a)

	Trasporto		Stoccaggio indoor e outdoor				Discarica lavoratore e popolazione		Costruzione strade
	4.2.1	4.2.2	4.2.3a	4.2.3b	4.2.4a	4.2.4b	4.2.5	4.3.2	4.2.6
U-238sec	3.8	2.7	1.3	2.2	1.8	2.6	0.7	0.8	0.7
Unat	130	41	5.2	18	10	37	9.6	28	12
Th-230	280	70	8.6	26	16	44	17	27	22
Ra-226+	4.1	3.5	4.2	4.7	4.5	4.8	0.9	1.3	0.8
Pb-210+	360	90	17	22	20	23	22	4.0	29
Po-210	200	51	9.6	13	11	13	13	3.0	16
Th-232sec	2.5	1.9	1.0	1.9	1.4	2.4	0.5	0.6	0.5
Th-232	180	45	5.4	18.0	10.0	32.0	11	3.1	14
Ra-228+	7.7	6.3	6.0	6.8	6.5	7.0	1.5	1.0	1.4
Th 228+	3.8	2.9	1.4	3.1	2.3	4.1	0.8	1.4	0.7
K-40	41	36	58	58	58	58	9.9	18.0	8.3

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

**Scenario**    Lavoratore in discarica (4.2.5 di RP 122-II)

## Descrizione generale dello scenario

Attività di conferimento dei rifiuti e livellamento degli stessi in discarica

Operatore che staziona sopra la discarica all'interno di una macchina operatrice



Due tipi di discarica:      dedicata ai NORM: grandi quantità (nessuna diluizione)

non dedicata ai NORM: piccole quantità



Diluizione = 10%  
(=1% per i fanghi oil & gas)

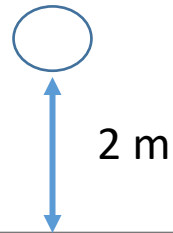
Numero di ore di lavoro all'anno : 1800 h/anno

# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

**Scenario** Lavoratore in discarica (4.2.5 di RP 122-II)

## Parametri usati

### Irraggiamento esterno



Densità: 1500 kg m<sup>-3</sup>

Volume semi-infinito (Microshield)

Recettore all'interno di un veicolo  
(fattore di schermatura: 2)

### Inalazione di polvere

Rateo di respirazione = 1.2 m<sup>3</sup>/h

Concentrazione polvere = 1 mg/m<sup>3</sup>

### Ingestione accidentale

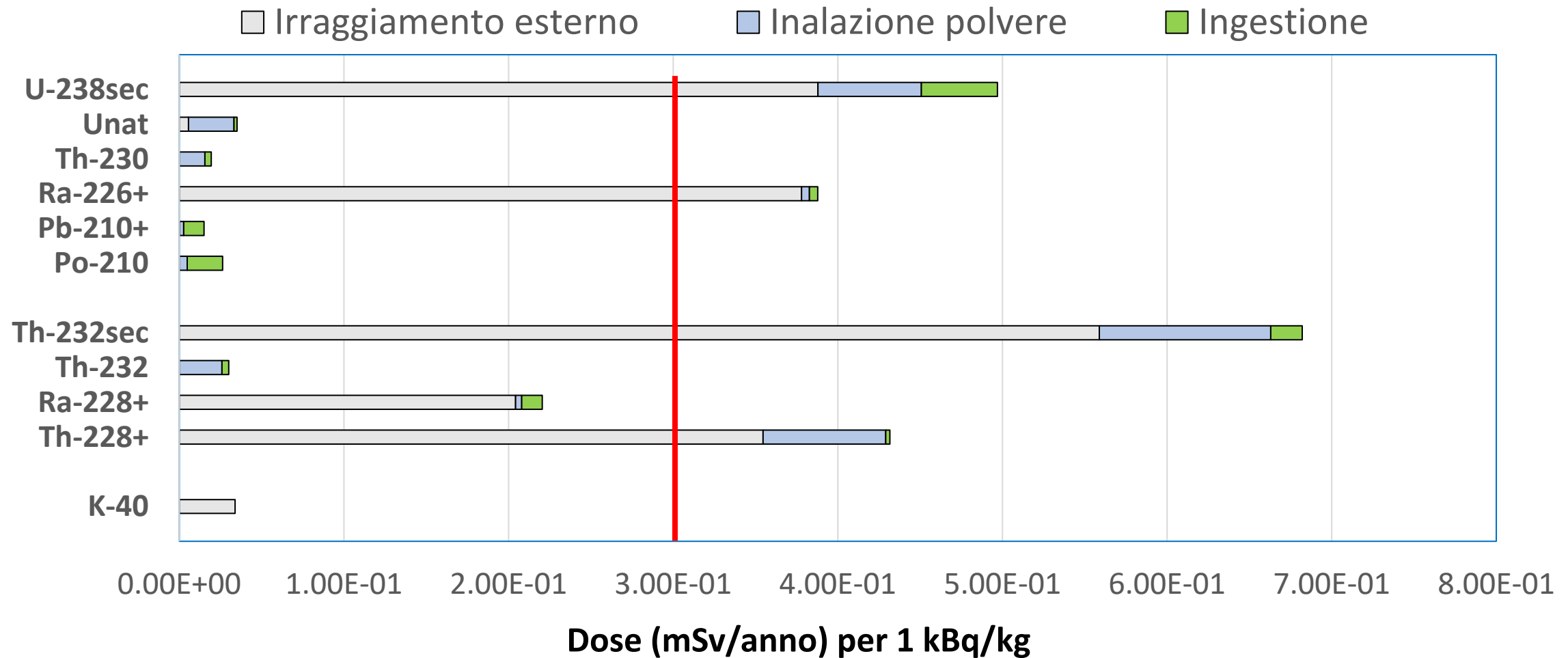
Rateo di ingestione = 10 mg/h



# Dose alla popolazione da materiali solidi – RP 122-II

## Scenario

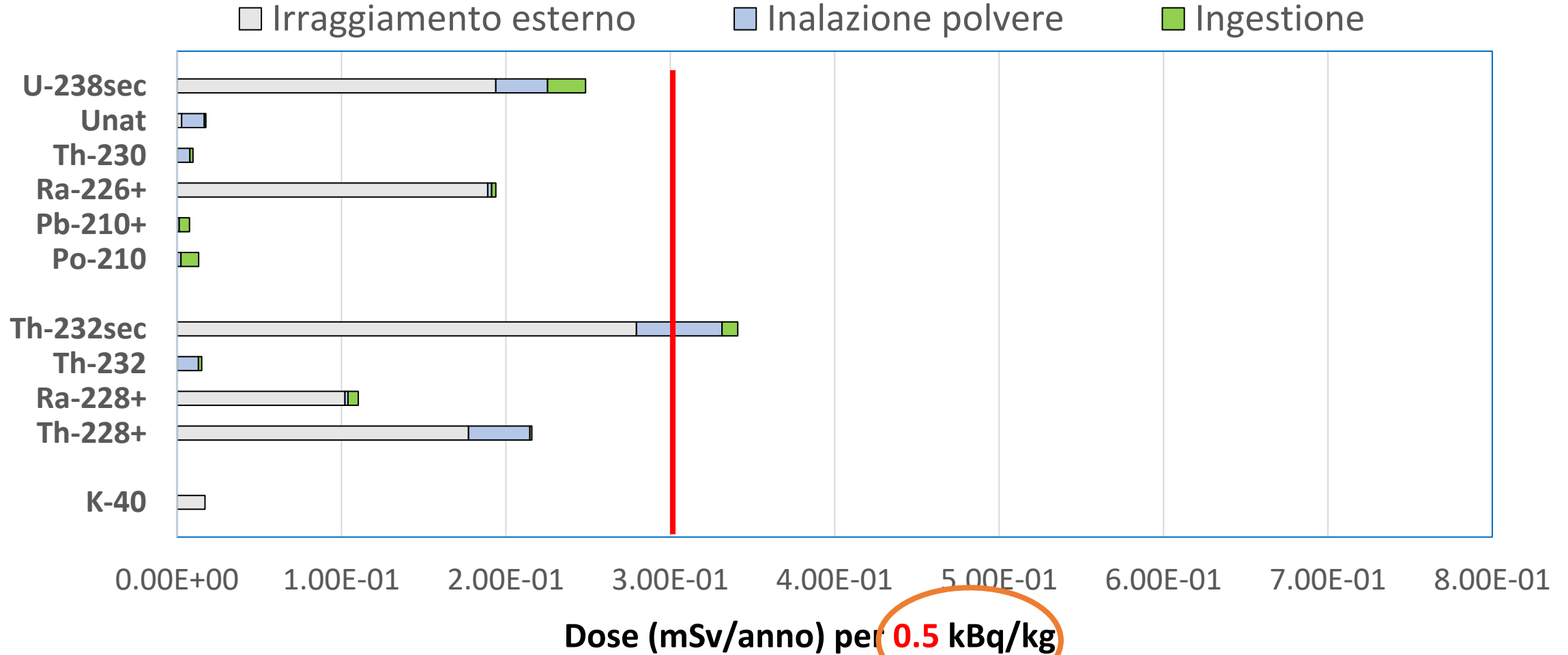
Lavoratore in discarica (4.2.5 di RP 122-II)



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Scenario

Lavoratore in discarica (4.2.5 di RP 122-II)



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

**Scenario** Costruzione di **strade** (4.2.6 di RP 122-II)

## Descrizione generale dello scenario

Riciclo di **residui NORM** (da **centrali a carbone** e industrie per la **produzione di ferro**) per la costruzione di strade

Operatori che maneggiano residui NORM come materiali da costruzione per il livellamento di strade

**L'impatto radiologico** è prevalentemente dovuto alla **fase di costruzione** rispetto ai lavori fatti per il riparo e la demolizione delle strade

Numero di ore di lavoro all'anno : 1800 h/anno



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

**Scenario** Costruzione di strade (4.2.6 di RP 122-II)

## Parametri usati

### Irraggiamento esterno

100 m

10 m

Spessore: 0.4 m

Geometria: piana

Densità:  $2000 \text{ kg m}^{-3}$

### Inalazione di polvere

Rateo di respirazione =  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$

Concentrazione polvere =  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$

### Ingestione accidentale

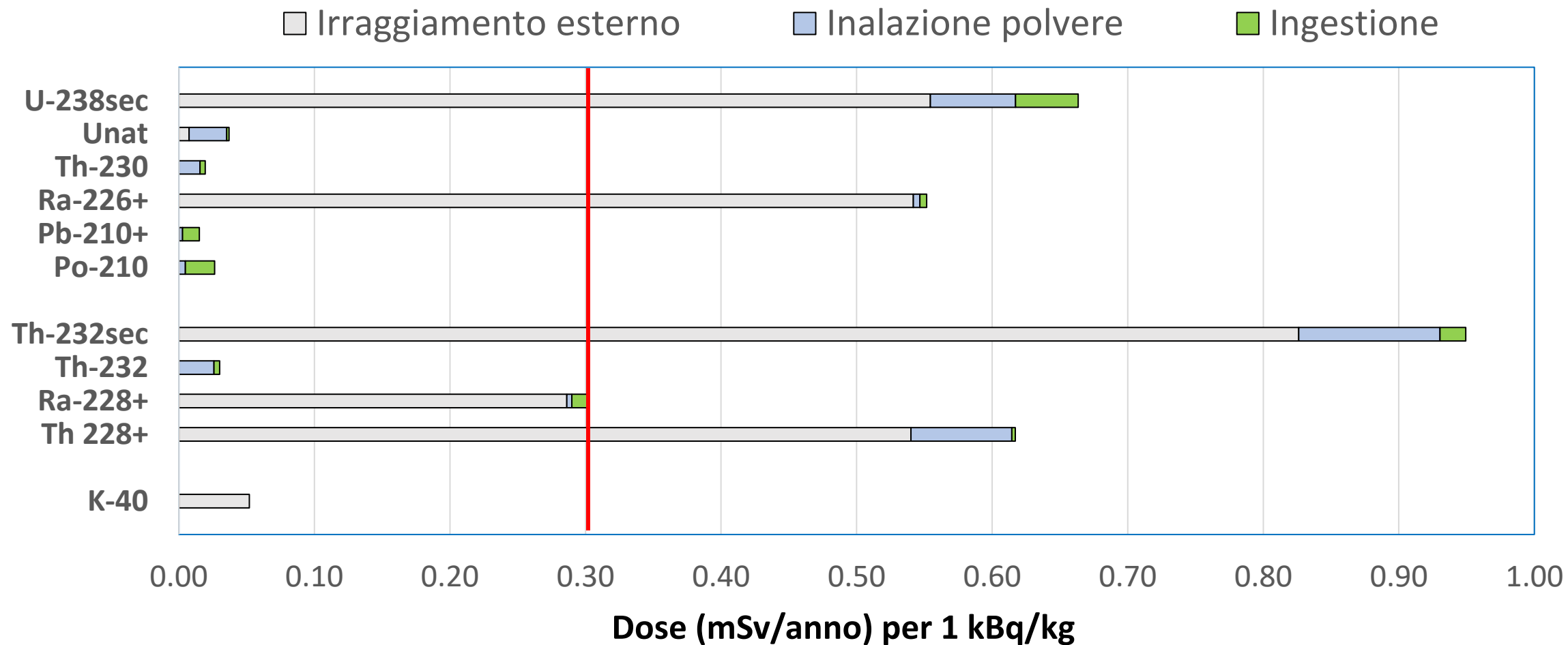
Rateo di ingestione =  $10 \text{ mg}/\text{h}$



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Scenario

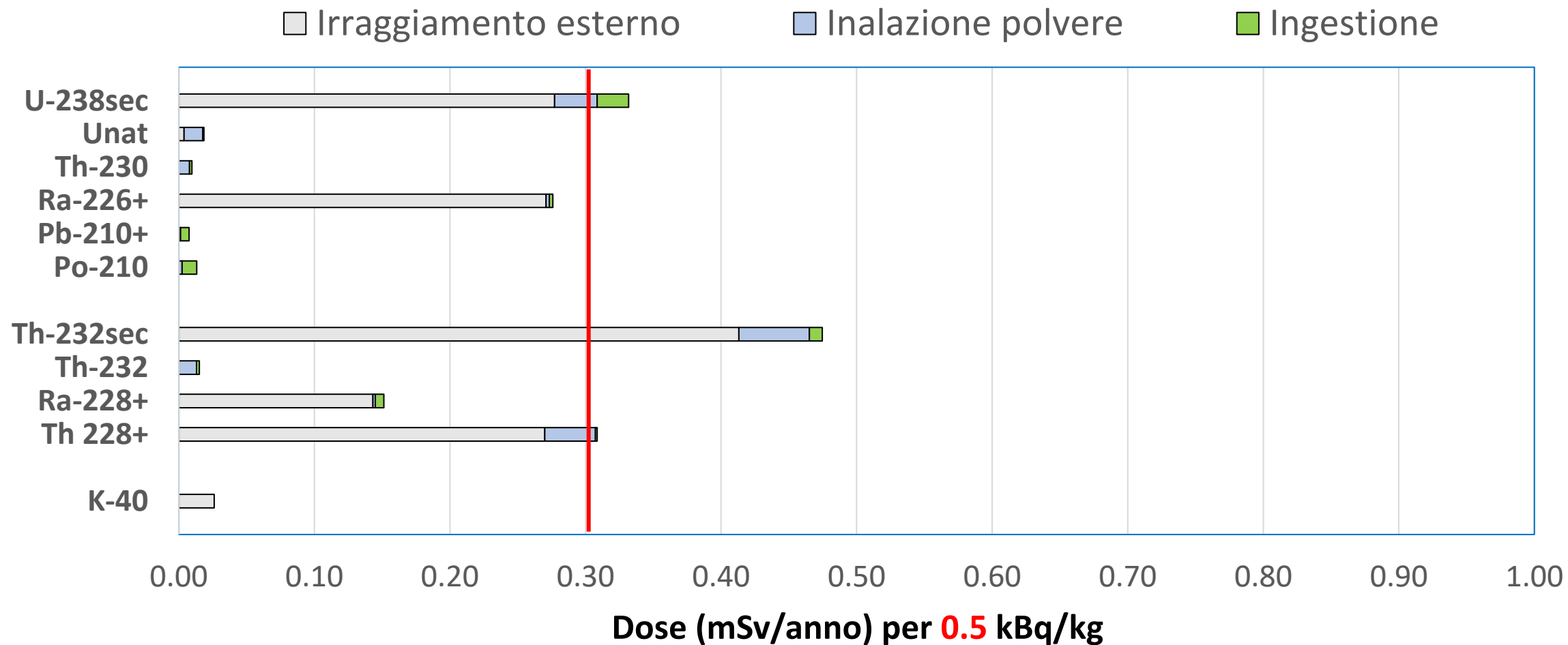
Costruzione di strade (4.2.6 di RP 122-II)



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Scenario

Costruzione di strade (4.2.6 di RP 122-II)



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Aggiornamento dei coefficienti di dose da ingestione e inalazione

### DCs inalazione:

#### ➤ **Lavoratori:**

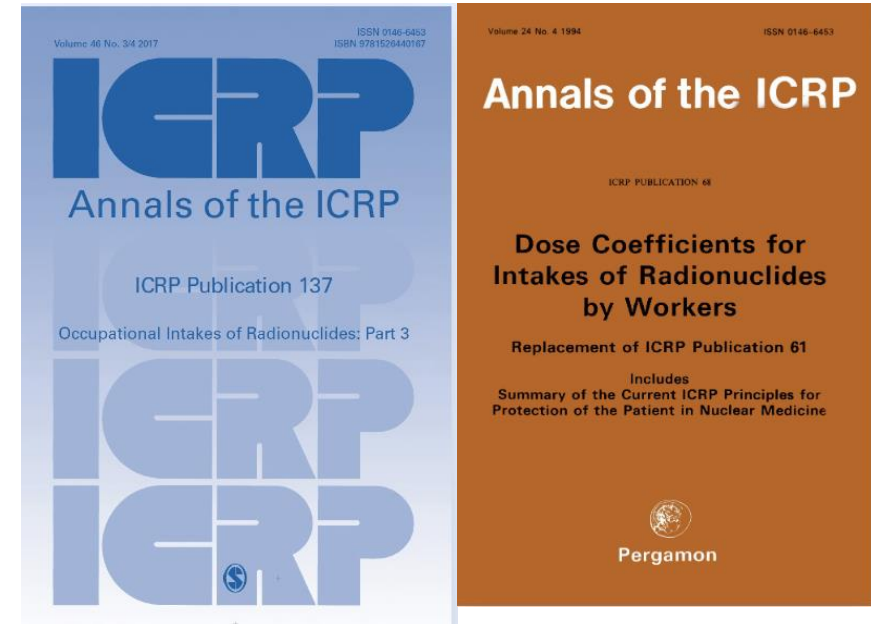
- ICRP guidelines (ICRP 137, 141, 151) for occupational intake (ICRP-OIR)
- 5  $\mu\text{m}$  AMAD
- Lung clearance class = S (generalmente la più conservativa)

#### ➤ **Popolazione:**

- ICRP 72 (1995)
- 1  $\mu\text{m}$  AMAD, in accordo con RP 122 Part 2.

### DCs ingestione:

- **Lavoratori:** ICRP-OIR
- **Popolazione:** ICRP 72 (1995)



# Stima della dose da materiali solidi – RP 122-II

## Aggiornamento dei coefficienti di dose per irraggiamento esterno

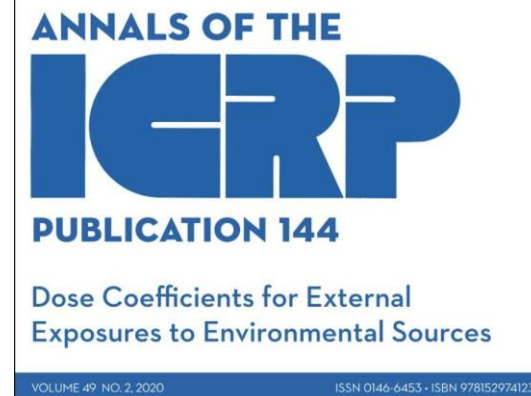
RP 122-II

ICRP 74 (coefficienti di dose)  
ICRP 60 (fattori ponderazione organo)  
ICRP 38 (dati nucleari)



ICRP 144

ICRP 116 (coefficienti di dose)  
ICRP 103 (fattori ponderazione organo)  
ICRP 107 (dati nucleari)



ICRP 144 riporta DCs geometria di suolo contaminato (non inclusa tra quelle di ICRP 116)

Stime (**per la prima volta**) for differenti classi di età:

Newborn, 1-year-old, 5-y-old, 10-y old, 15-y old, adult (males and females)

DCs riportate in ICRP 144 sono state recentemente stimate anche geometria di semispazio infinito (Satoh and Petoussi-Henss, 2024)

➤ Geometria di riferimento usata dal software RESRAD

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Dose-rate coefficients for external exposure to radionuclides uniformly distributed in soil to an infinite depth

Daiki Satoh<sup>1\*</sup>, Nina Petoussi-Henss<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nuclear Science and Engineering Center, Japan Atomic Energy Agency, Ibaraki, Japan, <sup>2</sup> External and Internal Dosimetry, Biokinetics, German Federal Office for Radiation Protection, Oberschleifheim, Germany

# Stima della dose da materiali solidi – il calcolatore del PAF

- **Cosa contiene il calcolatore del PAF (ad oggi):**
  - ✓ Tutti gli scenari di RP 122-II per i **lavoratori** (inclusi lavoratori non esposti)
  - ✓ Parametri di default usati per la stima del CLs di RP 122-II
  - ✓ Possibilità di cambiare il valore di alcuni di questi parametri
  - ✓ Coefficienti di dose aggiornati

# Stima della dose da materiali solidi – il calcolatore del PAF



[PAF](#) > [IONIZZANTI NORM](#) > [CALCOLATORE NORM](#)

## Calcolatori di dose da attività NORM

Le procedure per il calcolo dell'esposizione dei lavoratori alle radiazioni ionizzanti da sorgenti naturali (NORM) riportate consentono di valutare la dose al lavoratore e/o all'individuo rappresentativo in determinati scenari espositivi, ai fini della valutazione del rischio prevista dal D.lgvo 101/20 e smi Titolo IV, Capo III.

Scenario

Segmento di catena

Concentrazione attività  Bq/g

Fattore di diluizione  %

Esposizione esterna		
Parametro	Valore	Unità
Tempo di esposizione	<input type="text" value="1100"/>	(ore/anno)
Fattore di decadimento	<input type="text" value="1"/>	
Fattore di schermatura	<input type="text" value="1"/>	
DCF	<input type="text" value="4e-8"/>	(Sv/a)/(Bq/g)
Fonte del DCF	<input type="text" value="RP 122-II"/>	
Dose efficace	<input type="text" value="0,308"/>	(mSv/a)

Inalazione		
Parametro	Valore	Unità
Tempo di esposizione	<input type="text" value="400"/>	(ore/anno)
Frequenza respiratoria	<input type="text" value="1,2"/>	(m3/h)
Fattore di conc. (fk)	<input type="text" value="1"/>	
Cpolvere	<input type="text" value="0,001"/>	(g/m3)
DCF inalazione	<input type="text" value="2.2e-5"/>	(Sv/a)/(Bq/g)
Fonte del DCF	<input type="text" value="ICRP 137"/>	
Dose efficace	<input type="text" value="0,074"/>	(mSv/a)

Ingestione		
Parametro	Valore	Unità
Tempo di esposizione	<input type="text" value="400"/>	(ore/anno)
Rateo di ingestione	<input type="text" value="0,01"/>	(g/h)
DCF ingestione	<input type="text" value="3e-7"/>	(Sv/Bq)
Fonte del DCF	<input type="text" value="ICRP 137"/>	
Dose efficace	<input type="text" value="0,01"/>	(mSv/a)

[Home](#)

[Corsi, Webinar, Eventi PAF](#)

[Podcast](#)

[Rumore](#)

[Vibrazioni Mano-Braccio](#)

[Vibrazioni Corpo Intero](#)

[Campi Elettromagnetici](#)

[Radiazioni Ottiche Artificiali](#)

[Radiazioni Ottiche Naturali](#)

[Radiazioni Ionizzanti Naturali](#)

[Radiazioni Ionizzanti Naturali - NORM](#)

[Banca Dati NORM](#)

[Descrizione](#)

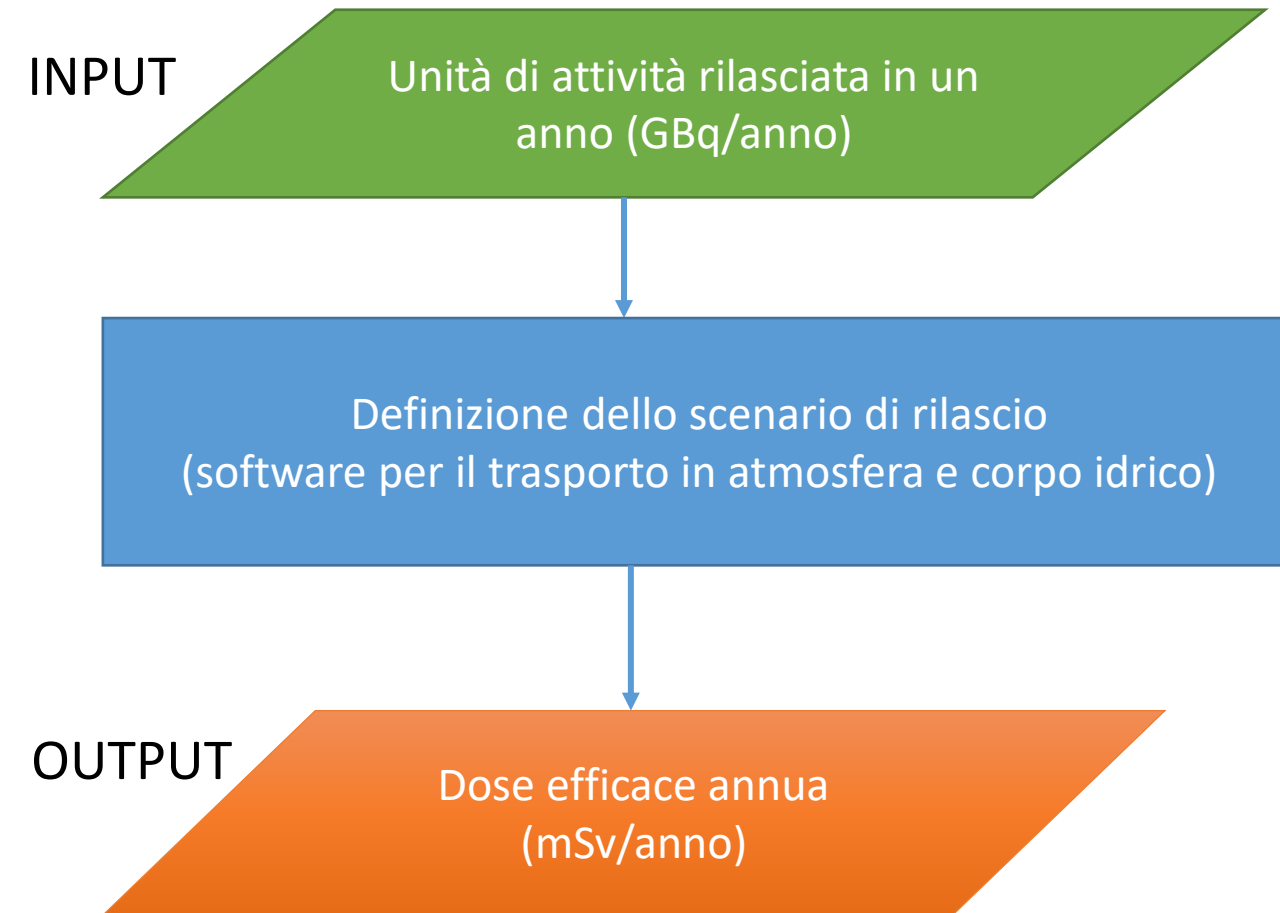
[Normativa](#)

[Calcolatore](#)

# Dose alla popolazione – il calcolatore del PAF

- Cosa contiene il calcolatore del PAF (ad oggi):
  - ✓ Tutti gli scenari di RP 122-II per i **lavoratori** (inclusi lavoratori non esposti)
  - ✓ Parametri di default usati per la stima del CLs di RP 122-II
  - ✓ Possibilità di cambiare il valore di alcuni di questi parametri
  - ✓ Coefficienti di dose aggiornati
- Cosa conterrà:
  - ✓ Tutti gli scenari di RP 122-II per la **popolazione** (es. nei pressi della discarica)
  - ✓ Nuovi scenari (non inclusi in RP 122-II). Ad es. manutenzione forno clinker, uso di fertilizzanti in agricoltura contenenti NORM.
  - ✓ Possibilità di valutare la dose alla popolazione da effluenti liquidi e aeriformi (approccio RP 135 + altri scenari: scarico in fogna, incenerimento)

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)



Caratterizzazione **termine sorgente**  
(effluenti liquidi e gassosi)

Parametrizzazione dello scenario  
Scelta dei valori dei parametri (conservativa)  
Individuazione delle vie di esposizione e dei gruppi di riferimento

Stima della dose per ciascuna **via di esposizione**

$$Dose\ efficace = E_{Ext} + E_{inh} + E_{ing}$$

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)

## Rilasci presi in considerazione nel documento RP 135



Per le industrie NORM, generalmente **non** ci sono rilasci in fogna per via dei (grandi) volumi in gioco. Ma ci sono alcune **eccezioni...**

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)

## Assunzioni per valutazioni di screening

- Tipo di rilascio: **continuo**

Per le industrie NORM, la probabilità di rilasci accidentali può considerarsi trascurabile

Si stima la dose ricevuta (dai gruppi di riferimento) per **rilasci annuali** per un totale di 50 anni

- Gruppi di riferimento: **adulti**
- Coefficienti di dose per inalazione: **AMAD** = 5 micron
- Il contributo del **K-40** è considerato trascurabile
- Non viene definito livello di screening per l'**U-235**

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)

## Vie di esposizione

### RILASCI IN ATMOSFERA DA CAMINO

- **Inalazione** dei radionuclidi in atmosfera provenienti dalla nube e del particolato risospeso a seguito della deposizione al suolo
- **Ingestione** degli alimenti prodotti sul terreno contaminato (latte, carne, vegetali e frutta)
- **Irraggiamento** dei radionuclidi depositati al suolo

*Trascurabile:*

- **Irraggiamento** dei radionuclidi presenti nella nube

### RILASCI IN CORPO IDRICO

- **Ingestione** di acqua e pesce,
- **Irraggiamento** dai sedimenti lungo le rive (fiume)
- **Ingestione** di pesce e frutti di mare
- **Irraggiamento** dai sedimenti della spiaggia (mare).

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)

## Risultati: Rilasci in atmosfera da camino

Radionuclide	Altezza del camino									
	10 m		50 m		100 m		200 m			
	Dose (Sv/y)	CP	Dose (Sv/y)	CP	Dose (Sv/y)	CP	Dose (Sv/y)	CP	Dose (Sv/y)	CP
U-238+	2.20E-06	I 97%	1.30E-07	I 95%	2.50E-08	I 83%	1.30E-08	I 92%		
U-235+	2.40E-06	I 95%	1.40E-07	I 89%	3.20E-08	I 71%	1.50E-08	I 83%		
U-234	2.60E-06	I 98%	1.50E-07	I 96%	2.90E-08	I 88%	1.50E-08	I 96%		
Th-232	2.10E-05	I 88%	1.40E-06	I 73%	4.10E-07	E 54%	1.60E-07	I 65%		
Th-230	1.10E-05	I 99%	5.90E-07	I 97%	1.10E-07	I 91%	6.00E-08	I 95%		
Th-228+	3.20E-05	I 100%	1.80E-06	I 99%	3.20E-07	I 99%	1.80E-07	I 98%		
Pa-231+	1.10E-04	I 97%	6.30E-06	I 91%	1.30E-06	I 76%	6.60E-07	I 86%		
Ra-228+	2.60E-06	I 76%	2.00E-07	I 55%	7.30E-08	C 48%	2.40E-08	I 45%		
Ra-226+	4.60E-06	I 58%	4.10E-07	I 35%	1.90E-07	E 45%	5.50E-08	E 39%		
Ac-227+	4.20E-04	I 100%	2.30E-05	I 100%	4.10E-06	I 99%	2.30E-06	I 99%		
Rn-222	2.00E-09	I 100%	1.10E-10	I 100%	1.90E-11	I 100%	1.10E-11	I 100%		
Rn-220	1.50E-07	I 100%	8.20E-09	I 100%	1.40E-09	I 100%	8.20E-10	I 100%		
Pb-210+	1.90E-06	C 53%	1.90E-07	C 74%	9.60E-08	C 91%	2.70E-08	C 81%		
Po-210	4.30E-06	I 58%	3.80E-07	C 65%	1.80E-07	C 86%	5.20E-08	C 74%		

CP = Critical Pathway

I = inalazione

C = ingestione (consumo di cibo)

E = irraggiamento esterno

**Dosi annue (Sv/anno) per unità di attività rilasciata in un anno (in GBq/anno)**

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)

## Risultati: Rilasci in fiume

Radionuclide	Fiume piccolo		Fiume medio		Fiume grande	
	Dose (Sv/y)	CP	Dose (Sv/y)	CP	Dose (Sv/y)	CP
U-238+	3.60E-07	W 94%	1.30E-08	W 66%	2.60E-09	W 66%
U-234	3.90E-07	W 95%	1.40E-08	W 65%	2.80E-09	W 67%
Th-232	6.30E-08	E 84%	1.90E-09	E 71%	3.70E-10	E 71%
Th-230	7.00E-08	E 87%	2.00E-09	E 75%	4.10E-10	E 75%
Th-228+	6.10E-05	E 100%	1.50E-06	E 100%	3.10E-07	E 100%
Ra-228+	7.20E-06	W 72%	4.70E-07	F 69%	9.40E-08	F 69%
Ra-226+	4.00E-06	W 52%	2.20E-07	F 60%	4.30E-08	F 60%
Pb-210+	9.50E-06	F 60%	1.50E-06	F 94%	3.00E-07	F 94%
Po-210	8.10E-06	W 80%	5.70E-07	F 72%	1.10E-07	F 72%

CP = Critical Pathway

W = ingestione acqua

F = consumo di pesce

E = irraggiamento esterno

**Dosi annue (Sv/anno) per unità di attività rilasciata in un anno (in GBq/anno)**

# Stima della dose alla popolazione da effluenti (RP 135)

## Risultati: Rilasci in mare

Radionuclide	Costa			Mare aperto		
	Dose (Sv/y)	CP		Dose (Sv/y)	CP	
U-238+	3.30E-11	C	32%	3.70E-12	F	59%
U-234	1.90E-11	C	42%	4.90E-13	C	42%
Th-232	5.60E-08	E	52%	4.60E-10	F	79%
Th-230	1.20E-09	F	49%	1.80E-11	F	47%
Th-228+	3.20E-09	E	72%	1.50E-11	E	72%
Ra-228+	2.60E-08	F	80%	2.60E-10	F	70%
Ra-226+	1.30E-08	F	67%	3.00E-10	F	66%
Pb-210+	9.90E-09	C	54%	2.00E-10	C	81%
Po-210	3.40E-09	C	82%	6.30E-11	C	82%

CP = Critical Pathway

C = consumo di crostacei

F = consumo di pesce

E = irraggiamento esterno

**Dosi annue (Sv/anno) per unità di attività rilasciata in un anno (in GBq/anno)**

# Stime di dose alla popolazione da effluenti – NRPB 13/2 (2002)

## Isotopi

- Uranio
- Radio
- Piombo
- Polonio

## Rilasci in:

- Atmosfera
- Fiume
- Fogna

## Vie di esposizione

- Irraggiamento dalla nube
- Irraggiamento a seguito della deposizione al suolo
- Inalazione dalla nube
- Inalazione del particolato risospeso
- Ingestione del cibo prodotto sul suolo contaminato (atmosfera)
- Ingestione di acqua e pesce di fiume (fiume)
- irradiazione e inalazione dal sedimento sulle sponde
- ingestione di cibo prodotto sul suolo irrigato con acqua di fiume
- **Esposizione degli agricoltori che vivono su terre trattate con fanghi del depuratore che ha raccolto gli effluenti NORM**

Volume 13 No.2 2002

Documents  
of the NRPB

*Generalised Derived Constraints  
for Radioisotopes of Polonium, Lead,  
Radium and Uranium*



Unità di attività rilasciata  
(Bq/anno)

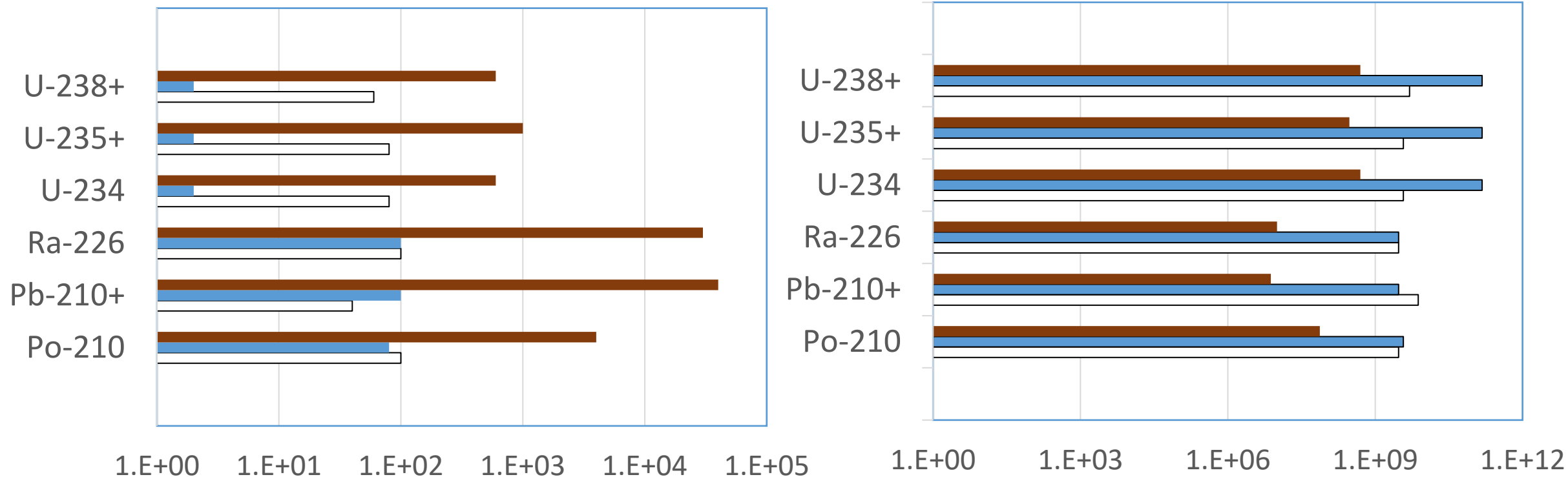
Modello misto  
algoritmi e codici di computer

Dose efficace annua  
( $\mu$ Sv/anno)

# Stime di dose alla popolazione da effluenti – NRPB 13/2 (2002)

## Risultati

■ Fogna ■ Fiume □ Atmosfera



Dose efficace annua per attività rilasciata all'anno  
( $\mu\text{Sv anno}^{-1}$ )/(GBq  $\text{anno}^{-1}$ )

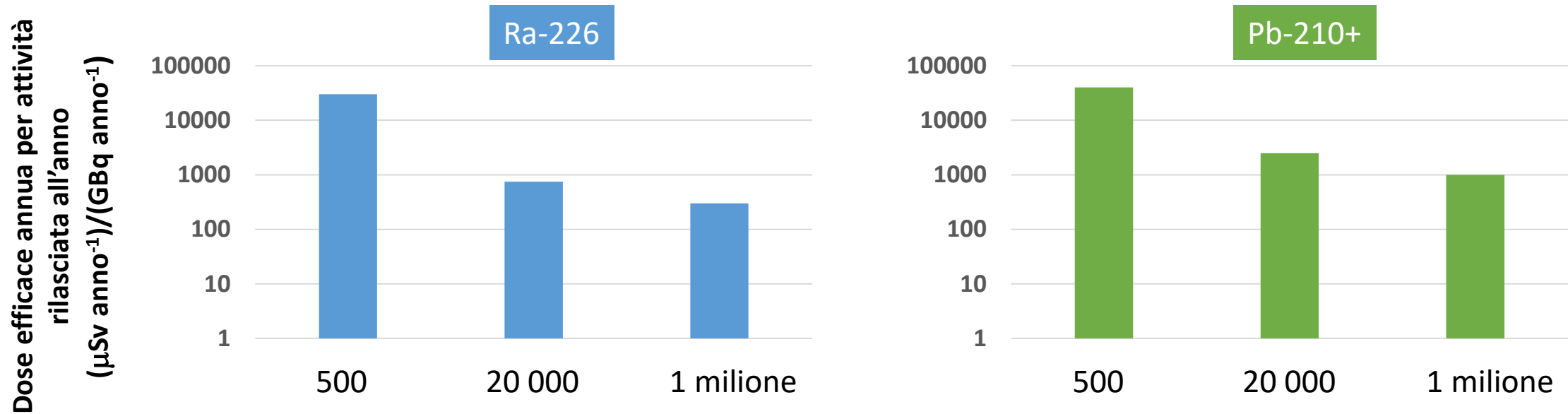
Livelli di screening (GDC) comportanti dose di 0.3 mSv/anno  
Per emissioni in atmosfera e corpo idrico (Bq/anno)

Lo scenario più critico è quello dell'uso dei fanghi di depurazione in agricoltura!

# Stime di dose alla popolazione da effluenti – NRPB 13/2 (2002)

## Risultati: impatto delle dimensione del depuratore

Depuratore di riferimento NRPB 13/2 ha solo **500 abitanti serviti**



**Abitanti serviti dal depuratore di dimensione maggiore rispetto a quello di riferimento**

I depuratori con un numero maggiore di abitanti serviti producono una **maggiore diluizione** dei radionuclidi

# Conclusioni

- Nel caso in cui, in una industria NORM, ci sia un **superamento del livello di esenzione/allontanamento** in un residuo solido in termini di concentrazione di attività, occorre fare delle **valutazioni di dose efficace** (per il lavoratore e la popolazione generale)
- Il **calcolatore del PAF** consente (o consentirà) di fare tali valutazioni di dose per gli scenari di esposizione individuati nei protocolli operativi di settore:
  - ✓ Sia per i lavoratori che per la popolazione
  - ✓ Utilizzando scenari di RP 122-II e RP 135 con coefficienti di dose aggiornati
  - ✓ Prevedendo anche «nuovi» scenari di esposizione
- Il calcolatore del PAF sarà continuamente aggiornato alla luce di:
  - ✓ Nuovi coefficienti di dose da ingestione e inalazione (per la popolazione) in corso di pubblicazione da ICRP
  - ✓ Nuovi scenari di esposizione (nuove geometrie di esposizione) che prendono in considerazione altre tipologie di riciclo dei residui non incluse in RP 122

**Grazie per l'attenzione!**

Gennaro Venoso

E-mail: [gennaro.venoso@iss.it](mailto:gennaro.venoso@iss.it)