

## PROTOCOLLO OPERATIVO

### Settore industriale: *Industria dello zircone e dello zirconio*

### Classe o tipo di pratica o scenario critico: *Produzione di sanitari e piastrelle*

Il presente protocollo è stato elaborato nell'ambito del progetto di ricerca (BRIC2022 ID37) «NORMA: Naturally Occurring Radioactive Materials Activities. Attività per lo sviluppo di strategie tecnico-scientifiche e socioeconomiche per una efficace implementazione della normativa di radioprotezione»

R. Trevisi, S. Bucci, E. Caldognetto, D. Di Summa, L. Ferrara, F. Leonardi, G. La Verde, D. Lunesu, C. Nuccetelli, I. Peroni, G. Pratesi, R. Rusconi, F. Trotti, R. Ugolini, G. Venoso, M. Pugliese



# Struttura del protocollo operativo

Il presente protocollo operativo si articola in:

- una descrizione generale dei passaggi previsti nella **Fase 1** e nella **Fase 2** in cui si articola il protocollo;
- una sintesi delle principali matrici di interesse per il settore in esame;
- uno schema degli scenari espositivi e delle matrici di interesse ai fini della valutazione dell'esposizione dei lavoratori e dell'individuo rappresentativo(\*);
- 2 tabelle relative alle matrici da campionare con l'indicazione dei radionuclidi da determinare e il metodo di analisi più idoneo (**Fase 1**);
- 1 tabella relativa alle matrici aggiuntive e analisi da effettuare per poter completare la valutazione della dose (**Fase 2**);
- 2 tabelle relative alle metodologie per la valutazione di dose per i lavoratori e per l'individuo rappresentativo (**Fase 2**).

(\* ) individuo rappresentativo: la persona che riceve una dose rappresentativa di quella degli individui maggiormente esposti nella popolazione, escluse le persone che hanno abitudini estreme o rare.

# Approccio metodologico graduale generale

## Fase 1

**Analisi del processo industriale - identificazione della pratica**

**Identificazione delle matrici solide di interesse**

**Caratterizzazione radiologica delle matrici di interesse**

**Confronto dei risultati con i LdE in termini di conc. di attività generali e/o specifici**

## Fase 2

**Identificazione degli effluenti liquidi/gassosi di interesse e di altre matrici solide**

**Caratterizzazione radiologica di altre matrici identificate e misure in campo**

**Selezione degli scenari espositivi e stima della dose al lavoratore e all'individuo rappresentativo**

**Confronto dei risultati con i LdE in termini di dose efficace**

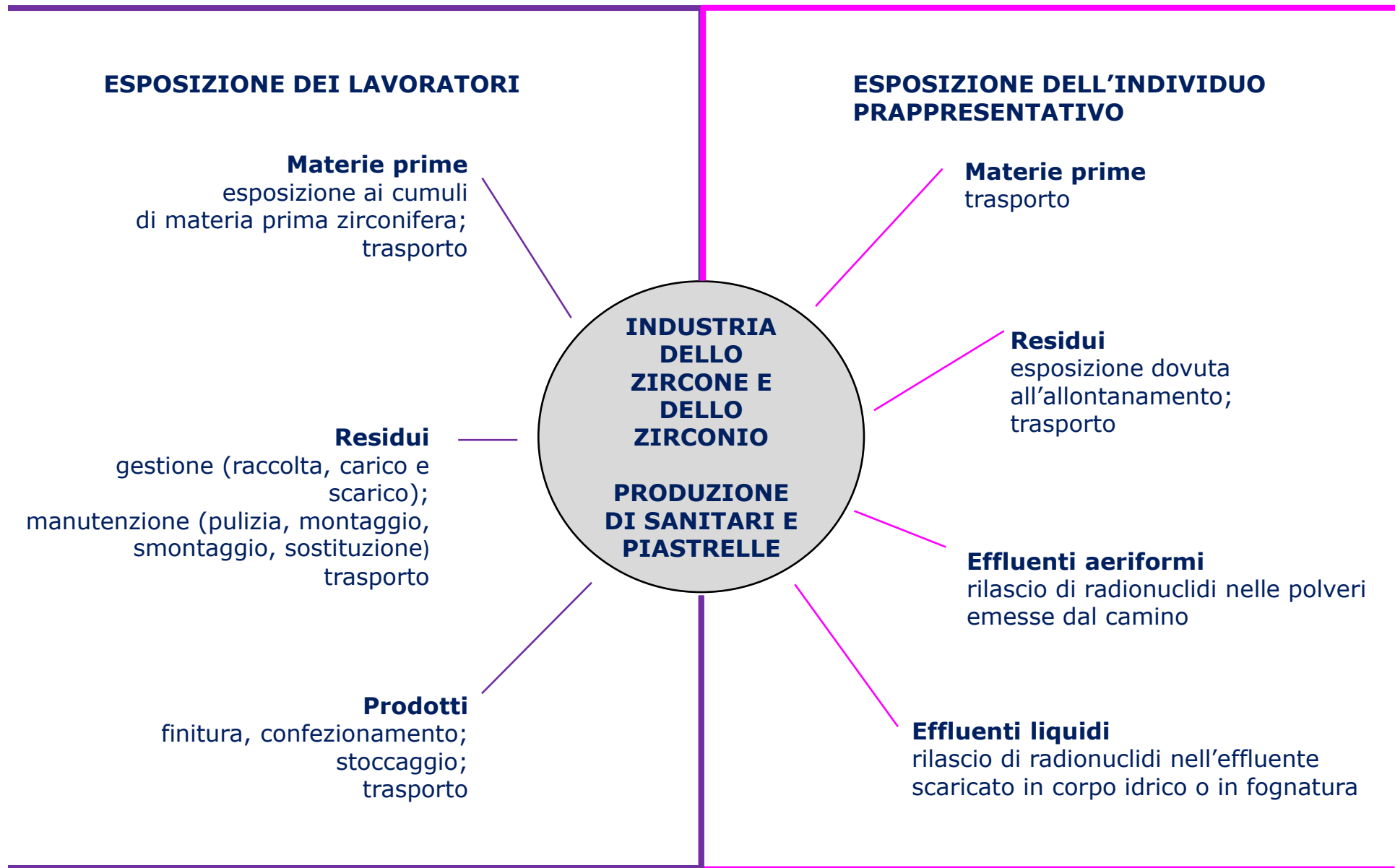
# Sintesi delle matrici presenti nel ciclo produttivo

**industria dello  
zircone e dello  
zirconio**

**produzione di  
sanitari e  
piastrelle**

- **Materie prime**  
Materia prima zirconifere di origine naturale, materia prima zirconifere di origine non naturale, altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale
- **Residui**  
polveri di abbattimento, scarti di lavorazione, fanghi, materiale filtrante esausto, incrostazioni, parti di impianto
- **Intermedi di processo**  
materiali ottenuti da processi di lavorazione intermedi
- **Effluenti aeriformi**  
Emissioni dal camino
- **Effluenti liquidi**  
scarico in corpo idrico o in fognatura
- **Prodotti**  
Ceramiche monocottura, ceramiche bicottura, gres porcellanato

# Scenari espositivi e matrici di interesse nella produzione di sanitari e piastrelle



# Fase 1



**TABELLA I: MATRICI DI INTERESSE E CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi
Materia prima	materia prima zirconifera di origine naturale (1)	sabbie zirconifere da miniera	spettrometria gamma	K-40, catene U-238 e Th-232
	materia prima zirconifera di origine non naturale	prodotti industriali contenenti zirconio (da recupero/riprocessamento)	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale		spettrometria gamma	K-40, catene U-238 e Th-232, segmenti di catena U-238 e Th-232
Intermedio di processo	materiale ottenuto da processi di lavorazione intermedi	gres bianco non cotto	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
		smalto		

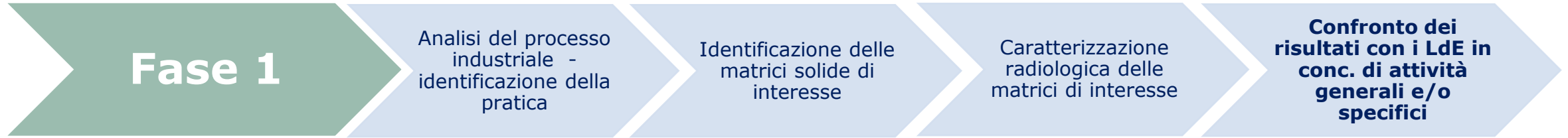
**Note alla Tabella I:**

1. Equilibrio radioattivo nelle catene dell'U-238 e del Th-232 è ipotizzabile a priori per le materie prime di origine naturale.
2. In assenza di processo termico ad alta temperatura, la concentrazione di attività nelle polveri di abbattimento derivanti da processi di macinazione si può assumere pari a quella dei materiali macinati.
3. Alternativamente, la concentrazione di attività nelle polveri di abbattimento derivanti da processi di macinazione si può assumere pari a quella dei materiali macinati.

**TABELLA I: MATRICI DI INTERESSE E CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA (cont.)**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi
Residuo	polveri di abbattimento(2,3)	polveri da impianto di depolverazione	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
		polvere di abbattimento di altri camini	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
	scarti di lavorazione	scarti di ceramica cotti	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
		scarti di ceramica non cotti	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
		calce esausta da depurazione fumi	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
	residui derivanti dalla produzione degli smalti	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		spettrometria alfa	Po-210	
	scarti da taglio prodotti finiti		spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		spettrometria gamma nd in situ	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		spettrometria alfa	Po-210	
incrostazioni	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		spettrometria gamma nd in situ	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		spettrometria alfa	Po-210	
parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		spettrometria gamma nd in situ	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	

# Fase 1



**TABELLA II: VERIFICA DEI LIVELLI DI ESENZIONE E DI ALLONTANAMENTO  
(art. 22 e All. 2 D.Lgs. 101/2020 e s.m.i.)**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Destinazione	Livelli di esenzione e livelli di allontanamento
Materia prima	materia prima zirconifera di origine naturale	sabbie zirconifere da miniera	-	Tabella II-2
	materia prima zirconifera di origine non naturale	prodotti industriali contenenti zirconio (da recupero/riprocessamento)	-	Tabella II-2 con l'eccezione di Pb-210; Po-210 = 5 kBq/kg
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale		-	
Intermedio di processo	materiale ottenuto da processi di lavorazione intermedi	gres bianco non cotto	-	
		smalto	-	



**TABELLA II: VERIFICA DEI LIVELLI DI ESEZIONE E DI ALLONTANAMENTO  
(art. 22 e All. 2 D.Lgs. 101/2020 e s.m.i.)**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Destinazione	Livelli di esenzione e livelli di allontanamento
<b>Residuo</b>	polveri di abbattimento	polveri da impianto di depolverazione	allontanamento, riutilizzo	Tabella II-2 con l'eccezione di Pb-210; Po-210 = 5 kBq/kg, tranne per lo smaltimento in discarica e per il riutilizzo nella costruzione di strade per i quali vale l'Allegato II, sezione II paragrafo 4 punto 4)
		polvere di abbattimento di altri camini		
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque		
	scarti di lavorazione	scarti di ceramica cotti		
		scarti di ceramica non cotti		
		calce esausta da depurazione fumi		
		residui derivanti dalla produzione degli smalti		
		scarti da taglio prodotti finiti		
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie		
	incrostazioni	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto		
parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...			

## Fase 2

### Fase 2

Identificazione degli effluenti liquidi/gassosi di interesse e di altre matrici solide

Caratterizzazione radiologica di altre matrici identificate e misure in campo

Selezione degli scenari espositivi e stima della dose al lavoratore e all'individuo rappresentativo

Confronto dei risultati con i LdE in termini di dose efficace

**TABELLA III: CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DI ALTRE MATRICI DI INTERESSE E MISURE IN CAMPO**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi
Effluente	aeriforme (1)	emissioni in atmosfera dai camini	spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
	liquido	scarico in corpo idrico o in fognatura	scintillazione liquida	concentrazione di attività alfa totale e beta totale
			ICP/MS	concentrazione di uranio
			spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
Acqua	acqua di processo (2)	acqua da pozzo, acqua potabile, acqua industriale	scintillazione liquida	concentrazione di attività alfa totale e beta totale
			ICP/MS	concentrazione di uranio
			spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210

**Note alla Tabella III:**

1. Per l'effluente aeriforme si può dedurre la concentrazione di attività dei radionuclidi con opportune assunzioni dalle concentrazioni di attività misurate nelle polveri di abbattimento dei camini.
2. La misura della concentrazione di attività nell'acqua in ingresso all'impianto è richiesta qualora l'attività misurata nell'effluente liquido sia superiore alla MAR.

**TABELLA III: CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA E IN CAMPO DI ALTRE MATRICI DI INTERESSE (cont.)**

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi
Residuo	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...	rateo di dose	-
Intermedi di processo	materiale ottenuto da processi di lavorazione intermedi	gres bianco non cotto	rateo di dose	-
		smalto		
Prodotto	Piastrille	ceramica monocottura	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			rateo di dose	-
		ceramica bicottura	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			rateo di dose	-
	altri materiali ceramici	gres porcellanato	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			rateo di dose	-
		altri materiali ceramici	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			rateo di dose	-

**Note alla Tabella III:**

1. Per l'effluente aeriforme si può dedurre la concentrazione di attività dei radionuclidi con opportune assunzioni dalle concentrazioni di attività misurate nelle polveri di abbattimento dei camini.
2. La misura della concentrazione di attività nell'acqua in ingresso all'impianto è richiesta qualora l'attività misurata nell'effluente liquido sia superiore alla MAR.

## Fase 2

### Fase 2

Identificazione degli effluenti liquidi/gassosi di interesse e di altre matrici solide

Caratterizzazione radiologica di altre matrici identificate e misure in campo

Selezione degli scenari espositivi e stima della dose al lavoratore e all'individuo rappresentativo

Confronto dei risultati con i LdE in termini di dose efficace

**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 (1)	sabbie zirconifere 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 recupero/riprocessamento)			
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale				
Intermedio di processo	materiale ottenuto da processi di lavorazione intermedi	gres bianco non cotto	attività lavorative svolte a contatto o molto vicino al materiale		
		smalto			

**Note alla Tabella IV:**

1. La gestione dei residui comprende le operazioni di raccolta, carico e scarico...
2. La manutenzione comprende le operazioni di pulizia, montaggio, smontaggio, ecc.
3. Nella valutazione della dose efficace per i lavoratori vanno considerate anche le lavorazioni sui prodotti come finitura, confezionamento, stoccaggio, trasporto ossia tutte quelle lavorazioni che comportano esposizione per i lavoratori prima della commercializzazione dei prodotti.

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

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Scenari specifici	Vie di esposizione	Livello di esenzione (dose efficace)
Residuo	polveri di abbattimento	polveri da impianto di depolverazione	trasporto, gestione (1)	irraggiamento, inalazione, radon	1 mSv/anno
		polvere di abbattimento di altri camini			
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque	trasporto, gestione (1)	irraggiamento, radon	
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie	sostituzione, gestione (1), trasporto		
	scarti di lavorazione	scarti di ceramica cotti	trasporto, gestione (1)	irraggiamento, inalazione, radon	
		scarti di ceramica non cotti			
		calce esausta da depurazione fumi			
	incrostazioni	residui derivanti dalla produzione degli smalti	manutenzione (2), gestione (1), trasporto	irraggiamento, radon	
scarti da taglio prodotti finiti					
parti di impianto	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto	manutenzione (2), sostituzione, gestione (1), trasporto	irraggiamento, radon		
Prodotto(3)	piastrelle	ceramica monocottura	finitura, confezionamento, stoccaggio, trasporto	irraggiamento, inalazione, radon	
		ceramica bicottura			
		gres porcellanato			
	altri materiali ceramici				

## Fase 2

### Fase 2

Identificazione degli effluenti liquidi/gassosi di interesse e di altre matrici solide

Caratterizzazione radiologica di altre matrici identificate e misure in campo

Selezione degli scenari espositivi e stima della dose al lavoratore e all'individuo rappresentativo

Confronto dei risultati con i LdE in termini di dose efficace

**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 recupero/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	0.3 mSv/anno
	liquido	scarico in corpo idrico o in fognatura	rilascio di radionuclidi nell'effluente scaricato in corpo idrico o in fognatura		

#### Note alla Tabella V:

1. La valutazione della dose efficace all'individuo rappresentativo dovuta all'effluente aeriforme può essere calcolata con modelli semplificati (pubblicazione ISPRA "Valutazione da impatti radiologici da NORM, RP 135), oppure con modelli più sofisticati.
2. Nella valutazione della dose efficace all'individuo rappresentativo derivante dall'esposizione ai residui, va considerata la destinazione specifica di ciascun residuo.
3. Tra tutti i residui, vanno considerati nelle stime di dose efficace all'individuo rappresentativo solo quelli con concentrazione di attività superiore al livello di esenzione/livello di allontanamento in termini di concentrazione di attività.

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

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Scenari specifici	Vie di esposizione	Livello di esenzione (dose efficace)
<b>Residuo</b>	polveri di abbattimento	polveri da impianto di depolverazione	dipendono dalla destinazione dei residui (2,3)	irraggiamento, inalazione, radon	0,3 mSv/anno
		polvere di abbattimento di altri camini			
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque			
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie			
	scarti di lavorazione	scarti di ceramica cotti			
		scarti di ceramica non cotti			
		calce esausta da depurazione fumi			
	incrostazioni	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto			
	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...			