

## PROTOCOLLO OPERATIVO

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

### Classe o tipo di pratica o scenario critico: *Produzione di refrattari*

Il presente protocollo è stato elaborato nell'ambito del progetto di ricerca (BRIC2019 ID30) «Protocolli operativi e metodologie di calcolo per l'attuazione della nuova normativa di radioprotezione, recepimento della direttiva 59/2013/Euratom, in settori industriali NORM di particolare impatto radiologico»

R. Trevisi, A. Bogi, S. Bucci, E. Caldognetto, A. De Stena, F. Leonardi, G. La Verde, L. Luzzi, C. Nuccetelli, I. Peroni, F. Picciolo, G. Pratesi, 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

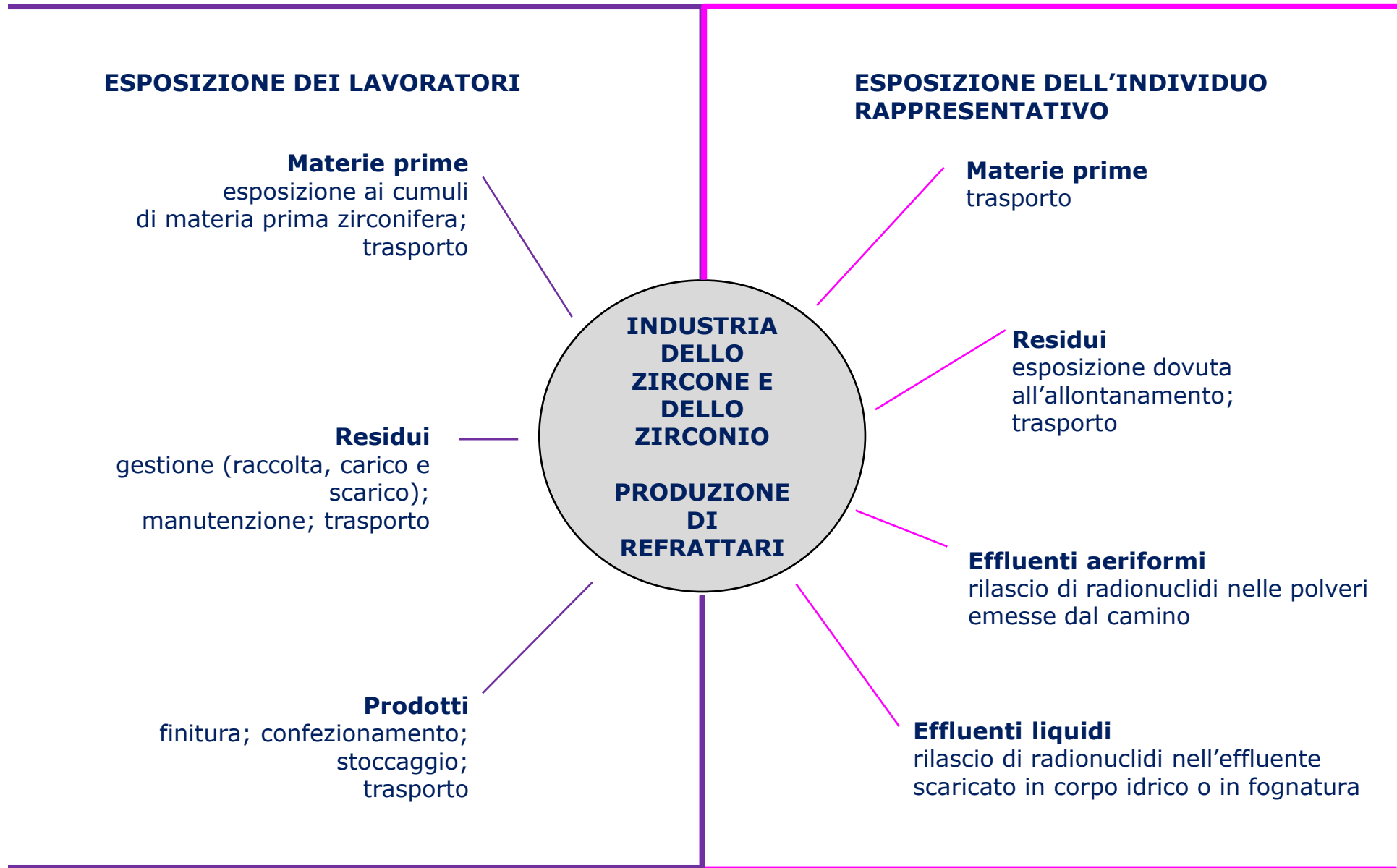


**industria dello  
zircone e dello  
zirconio**

**produzione di  
refrattari**

- **Materie prime**  
Materia prima zirconifere di origine naturale, materia prima zirconifere di origine non naturale
- **Residui**  
Polveri di abbattimento, scarti di lavorazione, fanghi, materiale filtrante esausto, incrostazioni, parti di impianto, materiali di processo esausti
- **Effluenti aeriformi**  
Emissioni dal camino
- **Effluenti liquidi**  
Acqua di scarico
- **Prodotti**  
Sabbie zirconifere macinata

# Scenari espositivi e matrici di interesse nella produzione di refrattari



# Fase 1



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

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi
<b>Materia prima</b>	materia prima zirconifera di origine naturale (1)	sabbia zirconifera da miniera	spettrometria gamma	K-40, catene U-238 e Th-232
	materia prima zirconifera di origine non naturale	prodotti industriali contenenti zirconio (da riprocessamento)	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale			K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232 o catene U-238 e Th-232

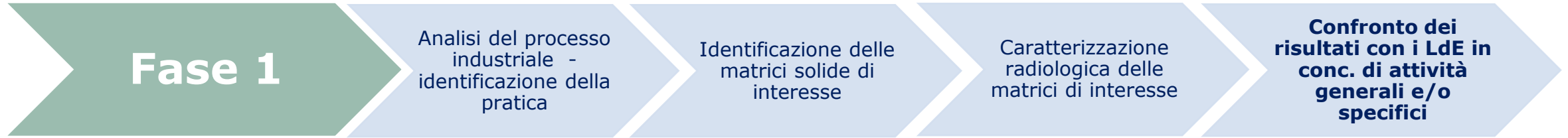
**Note alla Tabella I:**

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. Nei processi termici ad alta temperatura può avvenire la volatilizzazione del Po-210 e del Pb-210, pertanto può essere richiesta la spettrometria alfa per le matrici coinvolte in tali processi per la completa caratterizzazione radiologica.

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

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi	
Residuo (2, 3)	polveri di abbattimento	polvere di abbattimento del forno fusorio	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
			spettrometria alfa	Po-218	
		polvere di abbattimento del camino di macinazione	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
		polvere di abbattimento di altri camini	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
			spettrometria alfa	Po-218	
	scarti di lavorazione	scarto di macinazione	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
					residui dal raffreddamento di mattoni refrattari
					altri scarti
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque			
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
			spettrometria alfa	Po-218	
			spettrometria gamma nd in situ	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
	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		
			spettrometria alfa	Po-218	
	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232	
spettrometria gamma nd in situ					
materiali di processo esausti	sabbie per sabbiature, materiali per fresature, ecc.	spettrometria gamma			

# 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
<b>Materia prima</b>	materia prima zirconifera di origine naturale	sabbia zirconifera da miniera	-	Tabella II-2
	materia prima zirconifera di origine non naturale	prodotti industriali contenenti zirconio (da riprocessamento)	-	Tabella II-2 con l'eccezione di Pb-210; Po-210 = 5 kBq/kg
	altri materiali contenenti radionuclidi di origine naturale			Tabella II-2 con l'eccezione di Pb-210; Po-210 = 5 kBq/kg, da valutare a seconda del materiale



**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
<b>Residuo</b>	polveri di abbattimento	polvere di abbattimento del forno fusorio	allontanamento - riutilizzo	Tabella II-2 con l'eccezione 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 del camino di macinazione		
		polvere di abbattimento di altri camini		
	scarti di lavorazione	scarto di macinazione		
		residui dal raffreddamento di mattoni refrattari		
		altri scarti		
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque		
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie		
	incrostazioni	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto		
	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...		
materiali di processo esausti	sabbie per sabbiature, materiali per fresature, ecc.			

## 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 dal camino del forno fusorio (1)	spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232	
			spettrometria alfa	Po-210	
		emissioni in atmosfera dal camino dell'impianto di macinazione (1)	spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232	
			spettrometria alfa	Po-210	
	liquido	acqua di scarico	emissioni in atmosfera da altri camini (1)	spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232
				spettrometria alfa	Po-210
			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		

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

Tipologia Matrice	Matrice	Descrizione Campione	Tecnica di analisi	Radionuclidi
Acqua	acqua in ingresso (2)	Acqua di pozzo, acqua potabile, acqua industriale, ecc.	scintillazione liquida	concentrazione di attività alfa totale e beta totale
			ICP/MS	determinazione della concentrazione di uranio
			spettrometria gamma	K-40, radionuclidi delle catene U-238 e Th-232
			spettrometria alfa	Po-210
Residuo	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...	rateo di dose	-
	materiali di processo esausti	sabbie per sabbiature, materiali per fresature...		
Prodotto	refrattari	mattoni refrattari	spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
			rateo di dose	-
		altri refrattari	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	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			

**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)	
<b>Residuo</b>	polveri di abbattimento	polvere di abbattimento del forno fusorio	trasporto, gestione (1)	irraggiamento, inalazione, radon	1 mSv/anno	
		polvere di abbattimento del camino di macinazione				
		polvere di abbattimento di altri camini				
	scarti di lavorazione	scarto di macinazione				
		residui dal raffreddamento di mattoni refrattari				
		altri scarti				
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque		irraggiamento, radon		
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie		manutenzione (2), sostituzione, gestione (1), trasporto		irraggiamento, inalazione, radon
	incrostazioni	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto		manutenzione (2), gestione (1), trasporto		irraggiamento, radon
	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...		manutenzione (2), sostituzione, gestione (1), trasporto		
materiali di processo esausti	sabbie per sabbature, materiali per fresature, ecc.	sostituzione, gestione (1), trasporto	Irraggiamento, inalazione, radon			

## 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 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		

#### 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	polvere di abbattimento del forno fusorio	dipendono dalla destinazione dei residui (2,3)	irraggiamento, inalazione, radon	0,3 mSv/anno
		polvere di abbattimento del camino di macinazione			
		polvere di abbattimento di altri camini			
	scarti di lavorazione	scarto di macinazione			
		residui dal raffreddamento di mattoni refrattari			
		altri scarti			
	fanghi	fango da sistemi interni di trattamento acque			
	materiale filtrante esausto	filtri a maniche, altre tipologie			
	incrostazioni	residui derivanti dalla manutenzione di parti di impianto			
	parti di impianto	raccordi, valvole, tubi...			
materiali di processo esausti	sabbie per sabbiature, materiali per fresature, ecc.				