



**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE  
CUP C11J05000030001  
Lotto Costruttivo 1 - Opera anticipatoria propedeutica**

**Chantier Opérationnel 04 – Cantiere Operativo 04  
CIG Ze11ed230d**

**Travaux de réalisation des niches de retournement et d'aménagement intérieur de la galerie de La Maddalena, transport et mise en dépôt des matériaux excavés  
Lavori di realizzazione delle nicchie di interscambio e di sistemazione interna della galleria La Maddalena, trasporto e messa a deposito del materiale di scavo**

**Etudes D'exécution – Progetto Esecutivo  
Génie civil – Opere civili**

**Plan de travail typologique en présence de matières radioactives – Piano di lavoro tipologico in presenza di radiazioni ionizzanti**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	14.04.2020	Première diffusion/Prima emissione	S. RENIERO	M. GATTI	G. CASSANI
A	24.04.2020	Aggiornamento in seguito a richieste DL/Committenza	S. RENIERO	M. GATTI	G. CASSANI
B	29.05.2020	Aggiornamento a seguito richiesta TELT	M. ESPOSITO	M. GATTI	G. CASSANI
C	29.05.2020	Élaboré approuvé/Elaborato approvato	M. ESPOSITO	M. GATTI	G. CASSANI

0	4	A	1	7	3	5	7	0	0	0	0	-	-	0	Z
Cantiere Operativo Chantier Opérationnel			Contratto Contrat				Opera Ouvrage			Tratta Tronçon	Parte Partie				

E	R	E	A	M	0	2	1	4	C
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Oggetto Objet		Numero documento Numéro de document			Indice	

Consulenza Specialistica/Consultation spécialisée

Esperto Qualificato/Expert qualifié

**U-SERIES SRL**  
Via Ferrarese, 131 - 40128 BOLOGNA  
P. IVA e C.F. 02407591201  
Tel. 051-6312418 - Fax 051-368645  
www.u-series.com - info@u-series.com

-

Scala / Echelle

A	P
Stato / Statut	
Indirizzo / Adresse GED	

Il progettista / Le designer

L'appaltatore / L'entrepreneur

Il Direttore dei Lavori / Le Maître d'Oeuvre



## SOMMAIRE / INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	SORGENTI DI RADIAZIONI NELLE ATTIVITÀ DI REALIZZAZIONE DELLE NICCHIE .....	5
3	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
3.1	Radon.....	7
3.2	Smarino.....	7
3.3	Fanghi.....	10
3.4	Acque .....	10
3.5	Particolato.....	13
3.6	Misurazioni gamma nel tunnel .....	14
4	VALUTAZIONI DI DOSE.....	15
4.1	Radon.....	15
4.2	Misurazioni Gamma.....	16
4.3	Particolato.....	17
5	PROCEDURE IN CASO DI SUPERAMENTO DEI LIMITI DEL PGA.....	20
5.1	Procedure generali .....	20
5.1.1	Superamento del limite di Sorveglianza (A).....	20
5.1.2	Superamento del limite di Attenzione (AA) .....	20
5.1.3	Superamento del limite di Intervento (AAA) .....	20
5.2	Procedure specifiche .....	20
5.2.1	Radon .....	20
5.2.2	Smarino .....	21
5.2.3	Particolato.....	22
5.2.4	Cumuli e fanghi .....	24
5.2.5	Acque .....	29
1	PREMESSA.....	5
2	SORGENTI DI RADIAZIONI NELLE ATTIVITÀ DI REALIZZAZIONE DELLE NICCHIE .....	5
3	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
3.1	RADON .....	7
3.2	SMARINO .....	7
3.3	FANGHI.....	10
3.4	ACQUE.....	10
3.5	PARTICOLATO .....	13
3.6	MISURAZIONI GAMMA NEL TUNNEL.....	14
4	VALUTAZIONI DI DOSE.....	15
4.1	RADON .....	15

4.2	MISURAZIONI GAMMA .....	16
4.3	PARTICOLATO .....	17
5	PROCEDURE IN CASO DI SUPERAMENTO DEI LIMITI DEL PGA .....	20
5.1	PROCEDURE GENERALI .....	20
5.1.1	Superamento del limite di Sorveglianza (A) .....	20
5.1.2	Superamento del limite di Attenzione (AA).....	20
5.1.3	Superamento del limite di Intervento (AAA).....	20
5.2	PROCEDURE SPECIFICHE .....	20
5.2.1	Radon .....	20
5.2.2	Smarino .....	21
5.2.3	Particolato.....	22
5.2.4	Cumuli e fanghi .....	24
5.2.5	Acque .....	29

## RESUME / RIASSUNTO

Il presente documento, in accordo con quanto riportato nel Piano di Gestione Ambientale, consiste in uno studio in cui vengono valutate le dosi a cui sarebbero esposti i lavoratori nel caso di superamento dei limiti definiti nell'ambito dei monitoraggi sulla componente "radiazioni ionizzanti".

Vengono dunque definite le azioni generali da intraprendere a tutela dei lavoratori e dell'ambiente in caso di superamento delle soglie di sorveglianza (A) e di attenzione (AA). Nel caso di superamento delle soglie di intervento (AAA) sono indicate le procedure specifiche da adottare per ciascun elemento monitorato sia all'interno che all'esterno del cunicolo (gas radon, particolato, smarino, fanghi e acque).

## 1 Premessa

La società TELT di seguito indicata come "l' esercente", ha dato incarico di valutare la dose a cui sarebbero esposti i lavoratori nel caso di superamento dei limiti definiti nel Piano di Gestione Ambientale all'interno del Cantiere La Maddalena, e di definire delle linee guida da seguire in caso di superamento di uno dei limiti. Si ricorda che il D.Lgs 230/1995 esclude esplicitamente dal suo campo di applicazione le attività riguardanti scavi e costruzioni (Art. 1-bis) e tuttavia, poiché le sorgenti di radiazioni presenti non possono essere immediatamente trascurate, si è posto in essere uno specifico iter operativo a tutela della salute dei lavoratori e dell'ambiente circostante.

## 2 Sorgenti di radiazioni nelle attività di realizzazione delle nicchie

I lavoratori impegnati in attività all'interno del cunicolo possono essere esposti a tre principali sorgenti di radiazioni naturali:

1. inalazione di radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), gas nobile alfa emettitore;
2. inalazione di polveri aerosospese contenenti radionuclidi naturali appartenenti alle catene radioattive dell'uranio ( $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ ) e del torio ( $^{232}\text{Th}$ ), oltre a radionuclidi primordiali quali il potassio ( $^{40}\text{K}$ );
3. irraggiamento esterno in prossimità dei materiali estratti. Poiché tutti i materiali contengono isotopi radioattivi in quantità variabile, l'entità dell'esposizione esterna è strettamente dipendente dalla concentrazione di radioattività presente nei materiali e dalle modalità di lavoro.

Le principali azioni svolte ai fini delle valutazioni di dose efficace possono quindi essere così riassunte:

- valutazione della dose interna da inalazione di radon mediante strumentazione passiva o attiva nei punti di misura più significativi per verificare le eventuali differenze di concentrazione e derivare una valutazione di dose in relazione all'emissione di radon strettamente connessa all'attività lavorativa;
- valutazione della dose da inalazione di polveri aerosospese mediante misurazioni della concentrazione di radioattività nel particolato aerosospeso;
- misurazione della dose da irraggiamento esterno nei punti più significativi al fine di ottenere una valutazione dell'incremento dell'esposizione degli operatori. Per la misura della dose nel caso specifico è impiegata una strumentazione portatile che permette di ottenere risultati immediati.

## 3 Inquadramento normativo

La normativa vigente si applica alle attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, le persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei ed esclude esplicitamente dal suo campo di applicazione le attività riguardanti scavi e costruzioni (Art. 1-bis D.Lgs 230/1995). Tuttavia, poiché durante le attività di scavo in un

ambiente sotterraneo le sorgenti di radiazioni presenti non possono essere immediatamente trascurate ai fini della tutela della salute dei lavoratori, si ritiene opportuno tenere conto dei limiti indicati nella normativa vigente per situazioni assimilabili e dello stato dell'arte delle conoscenze tecniche e scientifiche.

Tutto il sistema di radioprotezione, di cui i D.Lgs. 230/1995 e 241/2000 fanno parte, si basa sui principi generali enunciati dall'art. 2 del D.Lgs. 230/1995:

- *giustificazione*: nuovi tipi o nuove categorie di pratiche che comportano un'esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere giustificati, anteriormente alla loro prima adozione o approvazione, dai loro vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare;
- *ottimizzazione*: qualsiasi pratica deve essere svolta in modo da mantenere l'esposizione al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali;
- *limitazione delle dosi*: la somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e gli individui della popolazione.

L'attuale legislazione italiana stima che il rischio a cui sono soggette le persone che svolgono attività lavorative implicanti la vicinanza o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, delle persone del pubblico, sia sufficientemente elevato da richiedere una specifica normativa in materia.

Relativamente agli obblighi (art. 10-ter) l' esercente, avvalendosi di un Esperto Qualificato iscritto nell'apposito elenco nominativo istituito dal Ministero del Lavoro (art. 78, comma 1) con grado almeno secondo (art. 78, comma 1, lettera b), valuta la dose cui sono esposti i lavoratori e, eventualmente, le persone del pubblico.

I livelli di azione previsti dalla normativa nel caso di sorgenti naturali sono i seguenti:

- 1 mSv all'anno per la dose efficace ai lavoratori, con esclusione del contributo dovuto alle caratteristiche geofisiche e costruttive del luogo di lavoro;
- 0,3 mSv all'anno per la dose efficace alle persone del pubblico;
- nel solo caso del radon, il livello d'azione per la dose efficace ai lavoratori è pari a 3 mSv all'anno, senza indicazioni per la dose efficace alle persone del pubblico.

Al termine delle indagini l'Esperto Qualificato comunica all' esercente, con relazione scritta, il risultato delle valutazioni effettuate, i livelli di esposizione dei lavoratori e del pubblico, le eventuali misure da adottare ai fini della sorveglianza delle esposizioni e le eventuali azioni correttive volte al controllo e, ove del caso, alla riduzione delle esposizioni medesime.

Se l'esposizione valutata non supera l'80% dei limiti sopra indicati l' esercente deve ripetere le valutazioni ogni 3 anni o nel caso di variazioni significative delle attività lavorative.

Quando risulta superato l'80% del livello d'azione in un qualsiasi ambiente cui le valutazioni si riferiscono, l' esercente è tenuto a ripeterle con cadenza annuale.

Se l'esposizione supera invece 1 mSv/anno, o 3 mSv/anno nel caso del radon, l' esercente deve adottare azioni di rimedio volte a ridurre le dosi al di sotto di detto valore. Le operazioni, aventi lo scopo di ridurre il valore delle grandezze misurate al di sotto dei livelli di azione, devono essere completate entro 3 anni dal rilascio della relazione tecnica. Se, nonostante le azioni di rimedio, l'esposizione risulta ancora superiore ai livelli di azione l' esercente deve porre in atto la sorveglianza fisica dei lavoratori.

### 3.1 Radon

#### D.lgs. 230/1995 e smi

L'attuale legislazione italiana stima che il rischio a cui sono soggetti gli individui che si trovano in locali ad alta concentrazione di radon sia abbastanza elevato da richiedere una specifica normativa in materia. In particolare il D. Lgs. 230/1995 e smi si applica (Art. 10-bis, comma 1, lettera a) alle attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, le persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolare luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei.

Per i luoghi di lavoro citati la concentrazione di attività di radon media in un anno non deve superare (Art. 10-quinquies, comma 1) il livello d'azione fissato in 500 Bq/mc (Allegato I-bis, comma 4, lettera a). Nel caso in cui le concentrazioni registrate fossero superiori a tale livello, l'esercente, avvalendosi dell'Esperto Qualificato sarà tenuto a valutare la dose a cui sono esposti tutti i lavoratori e, nel caso questa sia superiore a 3 mSv/anno (Allegato I-bis, comma 4, lettera d), egli avrà l'obbligo di porre in essere azioni di rimedio al fine di riportare la concentrazione di attività di radon al di sotto del livello d'azione.

#### Piano Di Gestione Ambientale

Seguendo le prescrizioni contenute nel D.lgs 230/1995 e smi e consultando gli Enti di Controllo sono stati fissati i limiti, riportati in tabella, per quanto concerne le concentrazioni di radon.

**Tabella 1: Limiti fissati nel piano di gestione ambientale per il Radon**

Componente	A Limite di sorveglianza	AA Limite di Attenzione	AAA Limite di intervento
CO-04A-RAD-04	200 Bq/mc	300 Bq/mc	400 Bq/mc

### 3.2 Smarino

L'attuale legislazione italiana stima che il rischio cui sono soggette le persone che svolgono attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione di persone del pubblico e, eventualmente, dei lavoratori sia sufficientemente elevato da richiedere una specifica normativa in materia. A tali attività lavorative in particolare si applica il D. Lgs. 230/1995 e smi (Art. 10-bis, comma 1, lettera a).

I residui degli scavi del tunnel contengono normalmente radionuclidi naturali che tuttavia non derivano da materie radioattive naturali che siano o siano state trattate per le loro proprietà radioattive, fissili o fertili di cui all'articolo 1, comma 1, lettera b. Si tratta quindi di residui e non di rifiuti radioattivi.

In attesa del recepimento della direttiva europea 2013/59/EURATOM del 5/12/13, l'attuale quadro normativo prevede, per i residui di lavorazione derivanti da attività con radionuclidi naturali, gli stessi livelli d'azione previsti per l'attività stessa, senza indicazioni di limiti derivati. Nella gestione dei residui va quindi considerato il criterio di dose ai lavoratori e alle persone del pubblico, senza vincoli specifici sulla concentrazione di radioattività. Nel caso tuttavia di rilasci in ambiente, non previsti dall'attuale normativa, è utile riferirsi ai documenti predisposti dalla Commissione Europea [1], dall'IAEA [9] e ISPRA [10] all'interno

dei quali vengono definiti tre diversi gruppi di classificazione al fine di definire una pratica: esclusione (solo per le radiazioni naturali), esenzione e allontanamento.

**Esclusione:** alcune categorie di esposizione non sono facilmente assoggettabili al controllo e, pertanto, sono escluse dall'ambito di applicazione della Direttiva Euratom sugli Standard Essenziali di Sicurezza dell'IAEA (BSS). In particolare, lo sono alcune esposizioni a sorgenti naturali, il cui contributo di esposizione non deve essere sommato al totale della dose che viene confrontato con i limiti di dose [10].

Esempi delle suddette categorie sono l'esposizione da K-40 nel corpo umano, dalla radiazione cosmica sulla superficie della terra, dall'esposizione in superficie ai radionuclidi presenti nella crosta terrestre non perturbata [9];

**Esenzione:** il concetto di esenzione viene applicato a priori per le pratiche, oppure per sorgenti all'interno di pratiche, da escludere dai requisiti altrimenti previsti, in particolare l'organo di regolamentazione può decidere l'esenzione di una pratica qualora l'esposizione conseguente sia troppo bassa per richiedere l'applicazione delle procedure stesse. Affinché una determinata attività sia esentata dagli obblighi normalmente previsti nei confronti dell'organo di regolamentazione è necessario che l'esposizione sia giustificata tenendo conto dei benefici sociali, economici e altri fattori di rilevanza. In particolare una pratica può essere considerata, senza ulteriori motivazioni, priva di rilevanza radiologica purché i seguenti criteri siano congiuntamente soddisfatti in tutte le possibili situazioni:

- la dose efficace cui si prevede sia esposto un qualsiasi individuo della popolazione a causa della pratica esente è pari o inferiore a 10  $\mu\text{Sv}$  all'anno;
- la dose collettiva efficace impegnata nell'arco di un anno di esecuzione della pratica non è superiore a circa 1 Sv-persona, oppure una valutazione relativa all'ottimizzazione della protezione mostra che l'esenzione è l'opzione ottimale.

I valori tengono conto dell'attività specifica e della quantità totale di radioattività specificata nell'allegato I del BSS (recepiti a livello nazionale nel D. Lgs. 230/1995 e smi - Allegato I) e sono stati derivati da scenari di esposizione rappresentativi e calcolati secondo un contributo di dose idoneo per il gruppo di riferimento della popolazione. All'interno dell'allegato I, inoltre, viene inoltre specificato che le pratiche per cui è prevista l'esenzione potrebbero eventualmente essere prese in esame da parte dell'organo di regolamentazione.

Il concetto di esenzione, infine, si applica sia ai radionuclidi di origine naturale che artificiale.

**Allontanamento:** il concetto di allontanamento si applica ai materiali già oggetto di regolamentazione per i quali è possibile richiedere esonero dal suddetto controllo. Come per l'esenzione possono essere individuati dei valori derivati di concentrazione di attività il cui rispetto implica automaticamente anche il rispetto dei criteri senza ulteriori controlli radioprotezionistici. Tale livello permette di stabilire quale materiale, soggetto a controllo di radioprotezione, può essere dispensato dalla procedura di controllo.

I livelli di *allontanamento* per i radionuclidi di origine naturale (catene di decadimento del  $^{232}\text{Th}$ , del  $^{238}\text{U}$  e del  $^{40}\text{K}$ ) vengono riportati in tabella.

**Tabella 2: Livelli di allontanamento per radionuclidi di origine naturale**

Radionuclidi naturali della serie $^{238}\text{U}$	1 $\text{Bq g}^{-1}$
Radionuclidi naturali della serie $^{232}\text{Th}$	1 $\text{Bq g}^{-1}$



$^{40}\text{K}$	$10 \text{ Bq g}^{-1}$
-----------------	------------------------

Nei casi di autorizzazione dalle autorità competenti è possibile effettuare diluizione dei materiali radioattivi al fine di renderli esonerabili. Tale procedura però deve essere autorizzata di caso in caso.

Sentiti gli organi di vigilanza, nel Piano di Gestione Ambientale sono stati fissati i limiti da applicare al monitoraggio delle concentrazioni gamma sullo smarino come riportato in tabella.

**Tabella 3: Limiti fissati nel piano di gestione ambientale per le analisi CO-04A-RAD-01 -02 -03**

Componente	A Limite di sorveglianza	AA Limite di Attenzione	AAA Limite di intervento
CO-04A-RAD-01 CO-04A-RAD-03	0,25 $\mu\text{Gy/h}$	0,5 $\mu\text{Gy/h}$	1,0 $\mu\text{Gy/h}$
CO-04A-RAD-02	100 Bq/kg	200 Bq/kg	400 Bq/kg

I limiti di attività sopra riportati sono riferiti alle concentrazioni di attività dei capostipiti  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , considerati separatamente e ipotizzati all'equilibrio secolare con i discendenti e, se presenti, di eventuali radionuclidi artificiali.

La normativa nazionale di radioprotezione, inoltre, non indica un livello di riferimento specifico per la concentrazione di attività al di sotto della quale sia consentito, senza alcuna restrizione ai fini della radioprotezione, l'allontanamento dei materiali dal sito di produzione per il riuso, il riciclo o lo smaltimento dei materiali solidi, residui o rifiuti.

A tal fine un utile riferimento è rappresentato dal documento RP122 [1]. Esso riporta i "livelli di clearance" (CL), da intendersi quali livelli di Riferimento - rispetto alla rilevanza radiologica - per il riuso, il riciclo, lo smaltimento dei materiali solidi, residui o rifiuti (esclusi gli effluenti liquidi o gassosi) contenenti Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM). Tali CL sono calcolati considerando vari scenari di esposizione (trasporto, immagazzinamento, smaltimento in discarica, uso di materiali edili contenenti residui con NORM, ecc.), vari gruppi di individui esposti (lavoratori, pubblico) e varie tipologie di materiale (ceneri, sabbia, scarti lapidei, ecc.); i CL riportati nella tabella 3 rappresentano le concentrazioni di attività dei singoli radionuclidi che comportano, nello scenario più conservativo, un contributo alla dose efficace per gli individui pari a 0,3 mSv/anno che coincide con il livello d'azione stabilito per gli individui dei gruppi di riferimento della popolazione nel paragrafo 4 dell'Allegato I-bis del D. Lgs. 230/1995 smi. In caso di più radionuclidi va calcolato il SI (Sum Index), ovvero la somma delle concentrazioni di attività normalizzate ai rispettivi CL, che deve essere < 1 per la conformità. Lo stesso principio è previsto anche dalla normativa vigente per situazioni simili.

**Tabella 4: Livelli generali di Riferimento ("livelli di clearance") per i NORM (RP 122 part II) espressi in Bq/g**

Nuclides	All materials	Wet sludges from oil and gas industry
<i>U 238sec incl</i> <i>U 235 sec</i>	0.5	5
U nat	5	100
Th 230	10	100
Ra 226+	0.5	5

Nuclides	All materials	Wet sludges from oil and gas industry
Pb 210+	5	100
Po 210	5	100
<i>U235sec</i>	1	10
U 235+	5	50
Pa 231	5	50
Ac 227+	1	10
<i>Th 232sec</i>	0.5	5
Th 232	5	100
Ra 228+	1	10
Th 228+	0.5	5
<i>K-40</i>	5	100

Il mancato rispetto dei suddetti CL richiede specifici e adeguati adempimenti di sorveglianza fisica della radioprotezione ai sensi del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.

### 3.3 Fanghi

Per quanto concerne le misure effettuate sui fanghi, come richiesto dagli organi di vigilanza nel Piano di Gestione Ambientale viene sostituita la misura sistematica della radiazione gamma con la misura semestrale di concentrazione di radionuclidi con le modalità di analisi e i limiti del CO-04A-RAD-02. Tali limiti vengono riportati in tabella.

Componente	A Limite di sorveglianza	AA Limite di Attenzione	AAA Limite di intervento
CO-04A-RAD-06	100 Bq/kg	200 Bq/kg	400 Bq/kg

I limiti di attività sopra riportati sono riferiti alle concentrazioni di attività dei capostipiti  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , considerati separatamente e ipotizzati all'equilibrio secolare con i discendenti e, se presenti, di eventuali radionuclidi artificiali.

Come per lo smarino, anche per i fanghi la normativa nazionale di radioprotezione non indica un livello di riferimento specifico per la concentrazione di attività al di sotto del quale sia consentito, senza alcuna restrizione ai fini della radioprotezione, l'allontanamento dei materiali dal sito di produzione per il riuso, il riciclo o lo smaltimento dei materiali solidi, residui o rifiuti. A tal fine si consideri il documento RP122 [1] menzionato nel precedente paragrafo.

### 3.4 Acque

#### D.lgs. 230/1995 e smi

Per quanto riguarda le acque non è possibile applicare direttamente il D.Lgs 230/1995 e smi in quanto rientrano nel campo di applicazione le sole acque di miniera ottenute dall'estrazione di minerali uraniferi.

#### Piano di gestione ambientale

Nel PGA vengono stabiliti dei controlli periodici sulle acque reflue presenti all'interno del cantiere fissando dei limiti per le componenti alfa e beta totale che possono essere presenti nelle acque. In particolare si stabilisce un limite di 0,5 Bq/l per la concentrazione beta totale e di 0,1 Bq/l per la concentrazione alfa totale.

Nello stesso punto viene prescritto, al superamento di uno dei limiti, di effettuare ulteriori analisi di determinazione di isotopi radioattivi degli elementi radio e uranio, in parziale analogia con quanto previsto dal D. Lgs. 28/2016 sulle acque destinate al consumo umano. Sono dunque definiti i limiti riportati in Tabella.

**Tabella 5: Limiti fissati nel piano di gestione ambientale per le analisi sulle acque**

Componente	A Limite di sorveglianza	AA Limite di Attenzione	AAA Limite di intervento
CO-04A-ACQ-RAD-01 - Alfa	0,25 Bq/l	0,5 Bq/l	5 Bq/l
CO-04A-ACQ-RAD-01 - Beta	0,5 Bq/l	1 Bq/l	10 Bq/l

Si evidenzia che il D.Lgs 28/2016 non è applicabile al caso in parola poiché l'acqua reflua del cantiere non è una fonte d'acqua destinata al consumo umano.

Per la metodologia di screening relativa al rilascio da parte della lavorazione NORM di effluenti liquidi e gassosi, un valido supporto è il documento RP 135 [2] e il documento derivato emesso da ISPRA e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare [3]. Esso fornisce le dosi efficaci individuali annue per unità di attività rilasciata (ovvero i livelli di attività annua scaricata corrispondenti al criterio di dose efficace di 0,3 mSv/anno) per le emissioni in atmosfera (per diverse altezze efficaci dei camini), in fiume (per diverse portate del corpo idrico), in mare (aperto o costiero).

La metodologia utilizzata per derivare i livelli di screening consiste nell'applicazione della modellistica di dispersione ambientale al dato di sorgente (la quantità di radionuclide immessa in atmosfera/corpo idrico in un anno) per calcolare le dosi agli individui dei gruppi di riferimento della popolazione. Gli scenari considerati sono le immissioni in atmosfera per diverse altezze del camino (10, 50, 100 e 200 m), in fiume per diverse portate del medesimo (2.5, 100, 500 m<sup>3</sup>/s), in mare (lungo la costa o in mare aperto). Il risultato della stima è un coefficiente di dose di screening, ovvero la dose efficace individuale annua per unità di attività annua rilasciata, per singolo radionuclide (o meglio per segmento di catena del <sup>238</sup>U, del <sup>232</sup>Th e del <sup>235</sup>U, ovvero per la catena nel suo complesso in condizioni di equilibrio secolare) e per singolo scenario; normalizzando questo valore al criterio di dose efficace di 0,3 mSv/anno vengono ricavati i livelli di screening veri e propri. Nella tabella 6 sono riportati i livelli di screening (attività annua rilasciata che comporta per l'individuo del gruppo di riferimento una dose efficace pari a 0.3 mSv/anno) per i singoli radionuclidi (segmenti di catene/catene intere di U-238, Th-232 e U-235 - ove pertinente) e per scenario emissivo (fiume piccolo, medio e grande).

**Tabella 6: Livelli di screening (GBq/anno), comportanti per gli individui del gruppo di riferimento una dose efficace annua pari a 0,3 mSv, per emissioni in fiume in funzione della portata (tabella 50, 51 e 52 RP 135)**

Radionuclide	Fiume piccolo (2.5 m <sup>3</sup> /s)	Fiume medio (100 m <sup>3</sup> /s)	Fiume grande (500 m <sup>3</sup> /s)
U-238+	8.3 x 10 <sup>2</sup>	2.3 x 10 <sup>4</sup>	1.2 x 10 <sup>5</sup>
U-234	7.7 x 10 <sup>2</sup>	2.1 x 10 <sup>4</sup>	1.1 x 10 <sup>5</sup>
Th-232	4.8 x 10 <sup>3</sup>	1.6 x 10 <sup>5</sup>	8.1 x 10 <sup>5</sup>

Radionuclide	Fiume piccolo (2.5 m <sup>3</sup> /s)	Fiume medio (TOO m <sup>3</sup> /s)	Fiume grande (500 m <sup>3</sup> /s)
Th-230	4.3 x 10 <sup>3</sup>	1.5 x 10 <sup>5</sup>	7.4 x 10 <sup>5</sup>
Th-228+	4.9 x 10 <sup>0</sup>	2.0 x 10 <sup>2</sup>	9.8 x 10 <sup>2</sup>
Ra-228+	4.2 x 10 <sup>1</sup>	6.4 x 10 <sup>2</sup>	3.2 x 10 <sup>3</sup>
Ra-226+	7.5 x 10 <sup>1</sup>	1.4 x 10 <sup>3</sup>	6.9 x 10 <sup>3</sup>
Pb-210+	3.2 x 10 <sup>1</sup>	2.0 x 10 <sup>2</sup>	1.0 x 10 <sup>3</sup>
Po-210	3.7 x 10 <sup>1</sup>	5.3 x 10 <sup>2</sup>	2.6 x 10 <sup>3</sup>
Serie U-238 eq. Sec.	1.3 x 10 <sup>1</sup>	1.3 x 10 <sup>2</sup>	6.5 x 10 <sup>2</sup>
Serie Th-232 eq. Sec.	4.4 x 10 <sup>0</sup>	1.5 x 10 <sup>2</sup>	7.4 x 10 <sup>2</sup>

Oltre alla portata del fiume le caratteristiche generali del corso d'acqua possono essere verificate nella seguente tabella:

**Tabella 7: Caratteristiche corso d'acqua (Tabella 38 RP 135)**

River characteristic	River 1 - large	River 2 - medium	River 3 - small
<i>River section</i>			
Length m	1000	1000	1 000
Width m	200	50	5
Water depth m	3	3	1
Water volume m <sup>3</sup>	600 000	150 000	5 000
Bed sediment depth m	1	1	0.3
Dry sediment density kg m <sup>-3</sup>	1 500	1500	1500
River suspended sediment load kg m <sup>-1</sup>	0.04	0.04	0.04
<i>River water flows</i>			
Velocity m s <sup>-1</sup>	0.83	0.67	0.5
Volumetric flow m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	500	100	2.5
<i>Bed sediment flow</i>			
Velocity ms <sup>-1</sup>	0.0001	0.0001	0.000 0317
Volumetric flow m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	0.02	0.005	0.000 0476

In Tabella 8, inoltre, sono riportati i livelli di screening per i singoli radionuclidi nel caso di emissione in mare (costa/mare aperto)

**Tabella 8: Livelli di screening (GBq/anno), comportanti per gli individui del gruppo di riferimento una dose efficace annua pari a 0,3 mSv, per emissioni in mare (tabella 53 RP 135)**

Radionuclide	Costa	Mare aperto
U-238+	9.2 x 10 <sup>6</sup>	8.1 x 10 <sup>7</sup>
U-234	1.6 x 10 <sup>7</sup>	6.2 x 10 <sup>8</sup>
Th-232	5.4 x 10 <sup>3</sup>	6.6 x 10 <sup>5</sup>
Th-230	2.4 x 10 <sup>5</sup>	1.6 x 10 <sup>7</sup>
Th-228+	9.3 x 10 <sup>4</sup>	2.0 x 10 <sup>7</sup>
Ra-228+	1.2 x 10 <sup>4</sup>	1.1 x 10 <sup>6</sup>
Ra-226+	2.2 x 10 <sup>4</sup>	1.0 x 10 <sup>6</sup>
Pb-2101	3.0 x 10 <sup>4</sup>	1.5 x 10 <sup>6</sup>
Po-210	8.9 x 10 <sup>4</sup>	4.8 x 10 <sup>6</sup>
Serie U-238 eq. Sec.	1.1 x 10 <sup>4</sup>	5.1 x 10 <sup>5</sup>
Serie Th-232 eq. Sec.	3.5 x 10 <sup>3</sup>	4.1 x 10 <sup>5</sup>

Come per i materiali, anche nei rilasci può accadere di avere a che fare con diversi radionuclidi (segmenti delle tre catene di decadimento), ovvero le catene naturali in equilibrio secolare. La RP 135, analogamente alla RP 122 part II, indica di procedere a una verifica complessiva di conformità dell'effluente.

La conformità dell'effluente risulta se

$$\sum_i(a_i/a_{i}) \leq 1$$

$a_i$  = attività rilasciata del radionuclide  $i$ -esimo (GBq/anno)

$a_{i}$  = livello di screening del radionuclide  $i$ -esimo (GBq/anno)

### 3.5 Particolato

Consultando gli Enti di Controllo al fine di redigere il Piano di Gestione Ambientale sono stati fissati i limiti da applicare al monitoraggio dell'attività Alfa, Beta e Gamma sulle PTS.

**Tabella 9: Limiti fissati nel piano di gestione ambientale per le analisi sui filtri**

Componente	A Limite di sorveglianza	AA Limite di Attenzione	AAA Limite di intervento
CO-04A-RAD-01 - Alfa	0,4 mBq/mc	0,6 mBq/mc	0,8 mBq/mc
CO-04A-RAD-01 - beta	1,5 mBq/mc	4 mBq/mc	5 mBq/mc
CO-04A-RAD-01 - gamma	1,5 mBq/mc	4 mBq/mc	5 mBq/mc

Nel PGA è definito che l'iter operativo previsto in caso di superamento dei limiti di intervento sia applicato solo in caso di superamento simultaneo dei limiti di entrambe le componenti alfa e beta.

Nel PGA, inoltre, viene indicato per la componente gamma verrà formalizzato il superamento della soglia di intervento a seguito del confronto fra il valore misurato e il limite a prescindere dai valori misurati per l'attività alfa e beta. Per tale componente, inoltre, si procederà al confronto dei valori misurati con i limiti solo per alcuni radionuclidi significativi, dei quali per alcuni si considereranno i limiti indicati mentre per altri verrà considerato un limite unico di attenzione, come da tabella seguente.

**Tabella 10: Limiti fissati nel piano di gestione ambientale per le analisi sui filtri**

Radionuclidi	Energia (keV)	(A) Sorveglianza (mBq/mc)	(AA) Attenzione (mBq/mc)	(AAA) Intervento (mBq/mc)
144Ce	133,52	-	-	-
141Ce	145,44	-	-	-
212Pb	238,63	-	5	-
214Pb	295,22	1,5	4	5
140La	328,76	-	-	-
228Ac	338,40	-	-	-

Radionuclidi	Energia (keV)	(A) Sorveglianza (mBq/mc)	(AA) Attenzione (mBq/mc)	(AAA) Intervento (mBq/mc)
214Pb	351,99	1,5	4	5
131I	364,49	-	-	-
125Sb	427,87	-	-	-
7Be	477,60	-	-	-
140La	487,02	-	-	-
140Ba	537,26	-	-	-
208Tl	583,10	-	5	-
134Cs	569,33	-	-	-
125Sb	600,60	-	-	-
134Cs	604,72	-	-	-
214Bi	609,32	1,5	4	5
131I	636,99	-	-	-
137Cs	661,66	-	-	-
95Zr	724,19	-	-	-
99Mo	739,50	-	-	-
95Nb	765,80	-	-	-
134Cs	795,86	-	-	-
140La	815,77	-	-	-
228Ac	911,07	-	5	-
228Ac	968,90	-	-	-
214Bi	1120,28	-	-	-
40K	1460,80	-	-	-
140La	1596,21	-	-	-
214Bi	1764,51	-	-	-

Per quanto riguarda la componente pulviscolare presente all'interno del tunnel sono stati presi in considerazione il limite fissato dall'ACGIH nel 2015 dove è stato segnalato il TVL per il PM10 pari a 3 mg/mc e un limite pari al 75% di tale valore pari a 2,3 mg/mc.

### 3.6 Misurazioni gamma nel tunnel

Consultando gli Enti di Controllo al fine di redigere il piano di Gestione Ambientale sono stati fissati i limiti da applicare al monitoraggio dell'irraggiamento gamma presente all'interno della galleria.

Tabella 11: Limiti fissati nel piano di gestione ambientale per le analisi sui filtri

Componente	A Limite di sorveglianza	AA Limite di Attenzione	AAA Limite di intervento
CO-04A-RAD-04	0,25 $\mu\text{Gy/h}$	0,5 $\mu\text{Gy/h}$	1,0 $\mu\text{Gy/h}$

## 4 Valutazioni di dose

Nei successivi paragrafi saranno riportate le valutazioni di dose, oltre a considerazioni e analisi di ognuno dei rispettivi limiti sopra riportati e di seguito riassunti per comodità:

- Misure Radon (CO-04A-RAD-05)
- Misure di irraggiamento gamma (CO-04A-RAD-03, CO-04A-RAD-04)
- Misure particolato (CO-04A-RAD-01)

Ai soli fini delle valutazioni di dose le misurazioni sulle acque (CO-04A-ACQ-RAD-01), sui fanghi (CO-04A-RAD-06) e sullo smarino (CO-04A-RAD-02) possono essere trascurate in prima approssimazione in quanto non sono causa di un'esposizione diretta dei lavoratori oppure, come nel caso della componente CO-04A-RAD-05, sono già implicitamente considerate nella componente CO-04A-RAD-01 e CO-04A-RAD-03.

Il superamento di uno qualsiasi dei limiti per tali componenti non è causa di esposizione diretta dei lavoratori.

### 4.1 Radon

Il radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) è un gas naturale radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio ( $^{238}\text{U}$ ) presente all'interno della crosta terrestre ed è inserito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità fra gli agenti sicuramente cancerogeni.

Data l'elevata variabilità nelle concentrazioni di radon, il D.Lgs 230/1995 e smi impone che il livello d'azione, pari a 500 Bq/mc, sia confrontato con la media annua delle concentrazioni misurate.

Sebbene le concentrazioni di radon giornaliere siano insufficienti ai fini della valutazione del rischio a cui sono soggetti i lavoratori, tuttavia esse forniscono le informazioni necessarie per poter intervenire nel più breve tempo possibile in caso di anomalie radiometriche. Poiché all'interno del PGA non viene individuato esplicitamente il periodo di campionamento da prendere in considerazione per il confronto con i livelli indicati, tenendo anche conto dei dati storici sulle concentrazioni di radon che hanno mostrato valori normalmente inferiori a qualche decina di Bq/mc, si propone di confrontare le medie settimanali con i limiti definiti nel PGA e sopra richiamati.

Per ulteriore informazione, in Tabella 12 sono state valutate le dosi efficaci a cui sarebbero esposti i lavoratori nel caso ipotetico di concentrazione di radon costante sull'anno e pari ai limiti. In particolare sono state assunte le seguenti ipotesi:

- un *fattore di occupazione*, per i lavoratori, pari a 8 ore/giorno per 220 giorni/anno, pari a 1760 ore/anno;
- *fattore convenzionale di conversione*, di cui all'Allegato I bis, comma 6 del D.Lgs 230/1995 e smi, indicato in  $3 \times 10^{-9}$  Sv di dose efficace per unità di esposizione espressa in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  e ore di esposizione.

**Tabella 12: Limiti di concentrazione e dose efficace calcolata**

Limiti	Concentrazioni	Dose efficace
A Limite di sorveglianza	200 Bq/mc	1,06 mSv/anno
AA Limite di Attenzione	300 Bq/mc	1,58 mSv/anno
AAA Limite di intervento	400 Bq/mc	2,11 mSv/anno

Come si può osservare in nessun caso la dose a cui sono soggetti i lavoratori considerando i soli limiti del radon è superiore a 3 mSv/anno, livello d'azione individuato dal D. Lgs. 230/1995 smi per i lavoratori non esposti. I lavoratori potrebbero continuare le attività, senza alcun intervento e con un fattore di sicurezza pari al 10%, anche qualora la concentrazione media annua di radon sia pari a 500 Bq/mc.

#### 4.2 Misurazioni Gamma

I limiti di dose fissati dal piano di gestione ambientale per quanto concerne le misure gamma, sia all'interno del tunnel che sui cumuli di smarino prodotto, sono di seguito riepilogate per facilità di lettura.

**Tabella 13: Limiti di dose**

Limiti	Dosi orarie	Dose annuali
A Limite di sorveglianza	0,25 $\mu$ Gy/h	0,44 mSv/anno
AA Limite di attenzione	0,5 $\mu$ Gy/h	0,88 mSv/anno
AAA Limite di intervento	1,0 $\mu$ Gy/h	1,76 mSv/anno

Se evidenzia che in caso di superamento costante per un anno del limite di intervento la dose annua a cui sono esposti i lavoratori, considerando 8 ore lavorative per 220 giorni annui pari a 1760 ore/anno, risulterebbe superiore al livello d'azione, individuato in 1 mSv/anno in analogia con le disposizioni di cui al D. Lgs. 230/1995 smi.

Poiché tuttavia il monitoraggio dell'irraggiamento gamma è effettuato con campionamento orario, in caso di superamento di uno dei limiti sopra riportati si avrebbe il tempo sufficiente per procedere con ulteriori attività di prevenzione.





Figura 1: Misura di CO-04A-RAD-01

### 4.3 Particolato

Al fine di valutare la dose a cui sono esposti i lavoratori a causa dell'inalazione di particolato si prendono in considerazione le componenti alfa totale, beta totale e gamma.



Figura 2: Raccolta di particolato

In particolare in Tabella vengono riportati gli isotopi delle tre catene di decadimento naturali e le rispettive emissioni alfa o beta all'atto del decadimento.

Tabella 14: Emissione associata a ciascun radionuclide delle 3 catene naturali (U-238, Th-232 e K-40)

radionuclide	emissione		radionuclide	emissione
$^{238}\text{U}$	alfa		Th 232	alfa
$^{234}\text{Th}$	beta		Ra 228	beta
$^{234}\text{Pa}$	beta		Ac 228	beta
$^{234}\text{U}$	alfa		Th 228	alfa

radionuclide	emissione		radionuclide	emissione
<sup>230</sup> Th	alfa		Ra 224	alfa
<sup>226</sup> Ra	alfa		Rn 220	alfa
<sup>222</sup> Rn	alfa		Po 216	alfa
<sup>218</sup> Po	alfa		Pb 212	beta
<sup>214</sup> Pb	beta		Bi 212	beta e alfa
<sup>214</sup> Bi	beta		Tl 208	beta
<sup>214</sup> Po	alfa		Po 212	alfa
<sup>210</sup> Pb	beta		Pb 208	
<sup>210</sup> Bi	beta	<b>Catena K-40</b>		
<sup>210</sup> Po	alfa		radionuclide	emissione
<sup>206</sup> Pb	--		K-40	beta

Considerando i seguenti fattori:

- fattore di occupazione, per i lavoratori, pari a 8 ore/giorno per 220 giorni/anno, pari a 1760 ore/anno;
- rateo di ventilazione del lavoratore di riferimento considerato uguale a 1,2 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> come individuato dall'ICRP (International Commission on Radiological Protection);

e ipotizzando:

- condizione di equilibrio secolare fra i capostipiti delle famiglie naturali ed i loro discendenti anche per le particelle aero-sospese;
- comportamento di rimozione dal tratto respiratorio simile a quello dei composti di tipo S (Tabella IV.6 D. Lgs. 230/1995 e smi);
- comportamento di tutti i radionuclidi all'interno dell'individuo identici a quelli dei rispettivi capostipiti,

la dose efficace impegnata per inalazione a seguito di introduzione di radionuclidi nell'organismo umano può essere calcolata usando la relazione prevista nel D. Lgs. 230/1995 smi, Allegato IV, paragrafo 4.4 opportunamente modificata:

$$E = \sum_j h(g)_{j,ina} J_{j,ina}$$

dove:

E è la dose efficace impegnata;

$h(g)_{j,ina}$  rappresenta la dose efficace impegnata per unità di introduzione del radionuclide j (Sv/Bq) inalato da un individuo;

$J_{j,ina}$  rappresenta l'introduzione tramite inalazione del radionuclide j (Bq).

I coefficienti di dose efficace impegnata per unità di introduzione tramite inalazione per i lavoratori possono essere dedotti dalla Tabella IV.1 dell'Allegato IV del D. Lgs. 230/1995 e smi e, in assenza di informazioni specifiche, sono riferiti al valore di 5 micron dell'AMAD ( $h(g)_{5\mu m}$ ).

Ai fini della valutazione della dose ai lavoratori che si trovino *all'interno del cantiere ma all'esterno del tunnel*, nella tabella seguente vengono riportati i limiti alfa e beta individuati dal piano di Gestione Ambientale e la dose a cui sarebbero soggetti i lavoratori nei casi in cui entrambi i limiti siano raggiunti. Per quanto concerne i limiti gamma, nelle valutazioni che seguono si ritengono trascurabili in quanto già considerati nei coefficienti di dose da inalazione previsti dal D. Lgs. 230/1995 smi e sopra richiamati.

**Tabella 15: Limiti di concentrazione della componente alfa e beta nel particolato e relativa dose.**

Limiti	Componente	Concentrazioni	Dose
A Limite di sorveglianza	Alfa	0,4 mBq/mc	0,07 mSv/anno
	Beta	1,5 mBq/mc	
AA Limite di Attenzione	Alfa	0,6 mBq/mc	0,11 mSv/anno
	Beta	4 mBq/mc	
AAA Limite di intervento	Alfa	0,8 mBq/mc	0,15 mSv/anno
	Beta	5 mBq/mc	

Alla luce di tali risultati è possibile osservare che anche qualora entrambe le componenti raggiungano il limite di intervento la dose a cui sarebbero esposti i lavoratori, anche senza utilizzo di DPI, sarebbe inferiore al livello d'azione fissato dal D. Lgs. 230/1995 smi per i lavoratori non esposti, e pari a 1 mSv/anno. Il livello d'azione sarebbe raggiunto nel caso specifico:

- Alfa 5,7 mBq/mc
- Beta 23,5 mBq/mc

In tal caso si fa riferimento alle azioni di rimedio riportate nel § 5.2 (Procedure specifiche). Per valutare la dose a cui sono soggetti i lavoratori che si trovino *all'interno del tunnel*, non essendo disponibili misurazioni specifiche per le componenti alfa e beta del particolato presente all'interno del tunnel, durante l'esecuzione del tunnel è stato effettuato uno studio statistico per verificare l'esistenza di una correlazione tra la concentrazione di particolato e le componenti alfa e beta su due centraline vicine fra loro e situate sul piazzale. In tale studio è possibile individuare una correlazione statisticamente significativa fra la componente alfa totale e la concentrazione di PM10. Poiché la maggior parte delle misurazioni ha mostrato un'attività beta totale inferiore alla minima attività rivelabile, non è possibile verificare una correlazione fra componente beta totale e concentrazione di particolato.

Nel mese di aprile 2016 sono state condotte misurazioni di concentrazione di particolato all'interno del tunnel; i risultati ottenuti hanno mostrato una concentrazione media di polveri respirabili pari a 0,8 mg/mc. Applicando la correlazione empirica riportata precedentemente si ottiene una concentrazione di alfa totale pari a 10 mBq/mc. Nel caso specifico bisogna precisare che lo studio sulla correlazione risulta parziale poiché è stato fatto tra la componente alfa totale e il particolato di diametro < 10 µm (PM10), all'interno del tunnel invece è stato campionato particolato di diametro < 4 µm (frazione respirabile).

E' tuttavia da evidenziare che i lavoratori sono obbligati all'utilizzo di DPI specifici (un facciale filtrante per polveri con classe di protezione FFP3 idoneo per proteggere da polveri nocive) per rendere la dose inferiore a 1 mSv/anno.

## **5 Procedure in caso di superamento dei limiti del PGA**

### **5.1 Procedure generali**

#### **5.1.1 Superamento del limite di Sorveglianza (A)**

Nel caso di superamento del limite di Sorveglianza (A) non si ritiene necessario effettuare nessuna azione di tipo tecnologica od organizzativa poiché le dosi a cui sarebbero esposti i lavoratori sono significativamente inferiori ai limiti di dose fissati dalla normativa. E' tuttavia opportuno segnalare il superamento del limite di sorveglianza per evidenziare eventuali anomalie o malfunzionamenti degli impianti.

#### **5.1.2 Superamento del limite di Attenzione (AA)**

Nel caso di superamento del limite di attenzione (AA) si ritiene necessario seguire le indicazioni riportate nel piano di Gestione Ambientale, e in particolare:

- Verificare se il superamento è episodico o sistematico. Qualora il superamento sia sistematico è necessario individuare la causa di tale superamento e porre specifiche azioni di rimedio (vedi § 5.2). Nel caso di superamento sistematico, inoltre, si raccomanda di realizzare un registro dei lavoratori in cui riportare i tempi di permanenza all'interno del tunnel.
- Comunicare la criticità a Responsabile Ambientale (RA), Direzione Cantiere (DC), Direzione Lavori (DL) e il Responsabile del Servizio Prevenzione e Protezione (RSPP).

#### **5.1.3 Superamento del limite di Intervento (AAA)**

Per le procedure da seguire in caso di superamento del limite di intervento (AAA) si rimanda a procedure operative specifiche da tenersi qualora fosse superato uno dei limiti di intervento (AAA) per le misure radon, per le misure di irraggiamento gamma e per le misure del Particolato. Verranno inoltre riportate le valutazioni relative al superamento dei limiti su acque e fanghi.

### **5.2 Procedure specifiche**

#### **5.2.1 Radon**

Nelle valutazioni successive verranno utilizzati gli stessi parametri (i.e. fattore di occupazione e fattore convenzionale di conversione) già utilizzati in precedenza.

In caso di concentrazione settimanale di radon superiore al limite (AAA) si procede alle attività già previste in caso di superamento dei limiti A e AA e inoltre:

- si precisa il quadro radiologico con ulteriori misurazioni di radon sulla base del piano di campionamento che verrà definito dall'Esperto Qualificato;
- si procede a misurazioni del fattore di equilibrio fra radon e discendenti;
- si redige, a cura dell'Esperto Qualificato, una specifica valutazione di dose comprensiva delle altre componenti;

- si procede, avvalendosi dell'Esperto Qualificato, a porre in essere nel minor tempo possibile specifiche azioni di rimedio volte a ridurre l'esposizione dei lavoratori al disotto del livello d'azione di 3 mSv/anno: tecniche di mitigazione facilmente applicabili consistono in semplici accorgimenti agli impianti di ricambio dell'aria oppure all'introduzione dei turni di lavoro per ridurre la presenza del personale all'interno del luogo di lavoro;
- qualora, nonostante le azioni di rimedio, la dose che i lavoratori sono suscettibili di ricevere sia compresa fra 3 e 6 mSv/anno (concentrazioni di radon indicative comprese fra circa 500 e circa 1000 Bq/mc, senza azioni di tipo organizzativo), si procede alla classificazione dei lavoratori in categoria B e a dar seguito ai conseguenti obblighi previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 230/1995 e smi): obbligo di indossare un dosimetro a termoluminescenza, ad eseguire una visita medica all'anno da parte del medico competente con rilascio dell'idoneità a svolgere la mansione e ad istituire una scheda dosimetrica; qualora la dose efficace impegnata per i lavoratori sia compresa fra 6 e 20 mSv/anno (concentrazioni di radon indicative comprese fra circa 1000 e circa 3500 Bq/mc, senza azioni di tipo organizzativo), si procede alla classificazione dei lavoratori in categoria A e a dar seguito ai conseguenti obblighi previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 230/1995 e smi): obbligo di indossare un dosimetro a termoluminescenza, ad eseguire due visite all'anno da parte del medico autorizzato con rilascio dell'idoneità a svolgere la mansione e ad istituire una scheda dosimetrica;
- qualora la dose efficace impegnata per i lavoratori sia superiore a 20 mSv/anno (concentrazioni di radon indicative superiori a 3500 Bq/mc, senza azioni di tipo organizzativo), la pratica è non giustificata e ogni attività lavorativa all'interno del tunnel dovrà cessare fino all'adozione di specifiche azioni di rimedio concordate con l'Esperto Qualificato. Tali azioni, inoltre, saranno definite al sopraggiungere della criticità in quanto suscettibili di specifiche variabilità.

### 5.2.2 Smarino

Per facilità di comprensione si riportano nella tabella seguente le intensità di dose con le quali si raggiungerebbero i limiti di esposizione considerando una giornata lavorativa di 8 ore per 220 giorni l'anno pari a 1760 ore/anno.

**Tabella 16: Limiti di esposizione associati all'intensità di dose oraria**

Limiti	Intensità di dose (1760/anno)
0,8 mSv/anno (80% del livello d'azione)	0,45 $\mu$ Sv/h
1 mSv/anno (Livello d'azione)	0,56 $\mu$ Sv/h
6 mSv/anno (Dose massima associata a lavori di classe B)	3,4 $\mu$ Sv/h
20 mSv/anno (Dose massima associata a lavori di classe A)	11,3 $\mu$ Sv/h

Sulla base dei risultati sopra riportati, in caso di superamento dei limiti di intervento (AAA) si procede alle attività previste in caso di superamento dei limiti (A) e (AA) e inoltre:

- verrà effettuata una valutazione di dose, comprensiva delle altre componenti

- si procede, avvalendosi dell'Esperto Qualificato, a porre in essere nel minor tempo possibile specifiche azioni di rimedio volte a ridurre l'esposizione dei lavoratori al disotto del livello d'azione di 1 mSv/anno: tecniche di mitigazione facilmente applicabili consistono in semplici accorgimenti rivolti all'introduzione dei turni di lavoro per ridurre la presenza del personale all'interno del luogo di lavoro;
- qualora, nonostante le azioni di rimedio, la dose che i lavoratori sono suscettibili di ricevere sia compresa fra 1 e 6 mSv/anno, si procede alla classificazione dei lavoratori in categoria B e a dar seguito ai conseguenti obblighi previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 230/1995 e smi): obbligo di indossare un dosimetro a termoluminescenza, ad eseguire una visita medica all'anno da parte del medico competente o autorizzato con rilascio dell'idoneità a svolgere la mansione e ad istituire una scheda dosimetrica;
- qualora la dose efficace impegnata per i lavoratori sia compresa fra 6 e 20 mSv/anno, si procede alla classificazione dei lavoratori in categoria A e a dar seguito ai conseguenti obblighi previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 230/1995 e smi): obbligo di indossare un dosimetro a termoluminescenza, ad eseguire due visite all'anno da parte del medico autorizzato con rilascio dell'idoneità a svolgere la mansione e ad istituire una scheda dosimetrica;
- qualora la dose efficace impegnata per i lavoratori sia superiore a 20 mSv/anno, la pratica è non giustificata e ogni attività lavorativa all'interno del tunnel dovrà cessare fino all'adozione di specifiche azioni di rimedio concordate con l'Esperto Qualificato. Tali azioni, inoltre, saranno definite al sopraggiungere della criticità in quanto suscettibili di specifiche variabilità.

### 5.2.3 Particolato

I limiti presenti nel PGA e relativi alla componente Particolato si riferiscono esclusivamente a misurazioni condotte all'interno del cantiere e nello specifico all'esterno del tunnel.

Nel PGA vengono inoltre riportate alcune procedure operative, di seguito riassunte:

- Superamento del livello di sorveglianza (A) per una delle due componenti:
  - Verifica interna e segnalazione del superamento alla Direzione Lavori.
- Superamento del livello d'attenzione (AA) per una delle due componenti:
  - Apertura scheda di anomalia;
  - Riduzione della polverosità attraverso bagnatura della zona;
  - Confronto dati con i valori rilevati sulle altre componenti ambientali.
- Superamento del livello di intervento (AAA) per una delle due componenti:
  - Segnalazione superamento ad Arpa;
  - Apertura scheda di anomalia;
  - Riduzione della polverosità attraverso bagnatura della zona;
  - Analisi di spettrometria gamma su campione di smarino relativo al cumulo in formazione nel periodo di campionamento del filtro;
  - Verifica dati con i valori rilevati sulle altre componenti ambientali.

- Superamento del livello di intervento (AAA) per entrambe le componenti:
  - Fermo temporaneo dei lavori di scavo;
  - Richiesta di interventi di radioprotezione decisi di comune accordo dopo una verifica complessiva del quadro radiologico.

Il superamento della soglia di intervento per alfa totale e beta totale avverrà pertanto solo se contemporaneamente entrambe le componenti evidenzieranno il superamento del livello d'intervento, in caso contrario verrà formalizzato come superamento della soglia di attenzione.

Dal punto di vista dosimetrico, tuttavia, anche in caso di superamento di entrambi i limiti di intervento non si avrebbe il superamento dei limiti previsti dal D. Lgs. 230/1995 smi per i lavoratori non esposti (cf. sopra).

Ai soli fini della tutela dei lavoratori vengono quindi suggerite le seguenti procedure operative in caso di superamento del livello d'intervento di una delle componenti alfa totale o beta totale:

- verranno condotte misurazioni del diametro aerodinamico medio (AMAD) per valutare la distribuzione granulometrica del particolato;

Ai soli fini della tutela dei lavoratori vengono quindi suggerite le seguenti procedure operative in caso di superamento del livello d'intervento di entrambe le componenti alfa totale o beta totale:

- verrà effettuata una valutazione di dose, comprensiva delle altre componenti
- si procede, avvalendosi dell'Esperto Qualificato, a porre in essere nel minor tempo possibile specifiche azioni di rimedio volte a ridurre l'esposizione dei lavoratori al disotto del livello d'azione di 1 mSv/anno. Tecniche di mitigazione facilmente applicabili consistono in semplici accorgimenti: (a) bagnatura dell'area interna del tunnel per evitare l'innalzamento della polvere proveniente dall'interno (b) installazione all'interno del tunnel di un impianto di estrazione dell'aria dotato di un filtro all'uscita (c) bagnatura del piazzale e delle strade all'esterno per evitare l'innalzamento della polvere proveniente dall'esterno.

A titolo esemplificativo i lavoratori potrebbero essere dotati di DPI specifici (indossare un facciale filtrante per polveri con classe di protezione FFP2 idoneo per proteggere da polveri nocive), si potrà trasportare il materiale di scavo tramite mezzi chiusi, incrementare le operazioni di pulizia dei macchinari, coprire con teli in plastica il materiale di plastica raccolto all'esterno dello scavo in mezzi chiusi;

- qualora, nonostante le azioni di rimedio, la dose che i lavoratori sono suscettibili di ricevere sia compresa fra 1 e 6 mSv/anno, si procede alla classificazione dei lavoratori in categoria B e a dar seguito ai conseguenti obblighi previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 230/1995 e smi): obbligo di indossare un dosimetro a termoluminescenza, ad eseguire una visita medica all'anno da parte del medico competente o autorizzato con rilascio dell'idoneità a svolgere la mansione e ad istituire una scheda dosimetrica;
- qualora la dose efficace impegnata per i lavoratori sia compresa fra 6 e 20 mSv/anno, si procede alla classificazione dei lavoratori in categoria A e a dar seguito ai conseguenti obblighi previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 230/1995 e smi): obbligo di indossare un dosimetro a termoluminescenza, ad eseguire due visite all'anno da parte del medico

autorizzato con rilascio dell'idoneità a svolgere la mansione e ad istituire una scheda dosimetrica;

- qualora la dose efficace impegnata per i lavoratori sia superiore a 20 mSv/anno, la pratica è non giustificata e ogni attività lavorativa dovrà cessare fino all'adozione di specifiche azioni di rimedio concordate con l'Esperto Qualificato. Tali azioni, inoltre, saranno definite al sopraggiungere della criticità in quanto suscettibili di specifiche variabilità.

Considerando lo storico delle misurazioni effettuate tra il 2013 e il 2018, si ritiene utile suggerire i limiti da utilizzare in futuro utili ad un migliore accertamento delle reali esposizioni dosimetriche dei lavoratori e quindi della popolazione. Nella tabella seguente vengono riportati i limiti suggeriti:

**Tabella 17: Proposta di nuovi limiti per le concentrazioni alfa e beta nel particolato**

Limiti		Concentrazioni	Dose efficace
A Limite di sorveglianza	Alfa	1,7 mBq/mc	0,3 mSv/anno
	Beta	7 mBq/mc	
AA Limite di Attenzione	Alfa	2,8 mBq/mc	0,5 mSv/anno
	Beta	11 mBq/mc	
AAA Limite di intervento	Alfa	4,5 mBq/mc	0,8 mSv/anno
	Beta	18 mBq/mc	

Le procedure operative da utilizzare in caso di superamento di uno dei limiti sopra descritte sono uguali a quelle descritte in precedenza.

#### 5.2.4 Cumuli e fanghi

In caso di superamento dei limiti di intervento (AAA) si procede alle attività previste in caso di superamento dei limiti (A) e (AA) e inoltre:

1. verrà effettuata una valutazione di dose, comprensiva delle altre componenti e tenendo conto della destinazione finale del materiale;
2. qualora la dose annua sia inferiore a 10  $\mu$ Sv/anno non saranno necessari ulteriori approfondimenti;
3. qualora la dose sia inferiore a 1 mSv/anno, in accordo a quanto previsto dal documento RP122-Parte 2, l'immagazzinamento del materiale dovrà essere creato secondo quanto riportato nelle linee guida del documento IAEA [4] e FDEP [5] che rappresentano una buona linea guida pur riguardando altri contesti (trattamenti fosfogessi). In particolare l'accumulo di smarino dovrà avvenire attraverso i seguenti passaggi fondamentali:
  - individuazione del sito di immagazzinamento;
  - collocazione di una geomembrana sul fondo del sito;
  - sistema di controllo del percolato;
  - sistema di contenimento e convogliamento dei liquidi;
  - copertura prima della chiusura delle attività di immagazzinamento.



### Individuazione del sito di immagazzinamento

- (a) il sito di immagazzinamento deve avere idonee caratteristiche geologiche in grado di sopportare eventuali sollecitazioni di natura meccanica, fisica e chimica;
- (b) il fondo del sito dovrà essere costruito in modo da non essere soggetto a fluttuazioni delle acque sotterranee e non avere quindi un impatto negativo sull'integrità del sistema di rivestimento;
- (c) deve essere collocato uno strato di suolo compattato dello spessore di almeno 50 cm (circa 20 pollici) sotto la geomembrana (rivestimento del sito) con una conduttività idraulica di massimo  $1 \times 10^{-7}$  centimetri/s.

### Collocazione di una geomembrana sul fondo del sito

Il sistema di rivestimento deve soddisfare le seguenti condizioni:

- (a-i) Sistemi di rivestimento e di controllo del percolato: il materiale utilizzato dovrà avere idonee caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche per evitare rotture a causa del contatto fisico con il materiale immagazzinato e con il percolato, a causa delle condizioni climatiche e di altre sollecitazioni di natura meccanica fisica, meccanica e chimica (Esempio Foto 3).



**Figura 3: Esempio di utilizzo di una geomembrana**

Il sistema di rivestimento sarà accordato tra il geologo di cantiere e l'Esperto Qualificato in base alle caratteristiche litologiche del materiale.

- (b-i) il sito di immagazzinamento dovrà essere installato in modo da coprire tutto il terreno circostante che potrebbe venire a contatto con il materiale, con le acque reflue di processo e con il percolato;

Il sistema di rivestimento deve inoltre avere i seguenti requisiti tecnici minimi:

- (a-ii) la geomembrana di rivestimento deve avere uno spessore minimo di circa 1,5 mm (60-mil) e un rateo massimo di trasmissione del vapore pari a  $0,24 \text{ g/m}^2/\text{giorno}$  come previsto dalla norma ASTM Method E96-80 procedure BW "Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials";
- (b-ii) La geomembrana di rivestimento deve essere in contatto diretto ed uniforme con il suolo sottostante per ritardare la migrazione del percolato qualora si verifichi una rottura;

(c-ii) uno strato di smarino compattato dello spessore di almeno 61 cm (24 pollici) collocato sopra la geomembrana con una conduttività idraulica di massimo  $1 \times 10^{-4}$  centimetri/s.

Le caratteristiche del rivestimento devono soddisfare le norme riportate nel suddetto documento (Chapter 62-673 Phosphogypsum Management - Par. 62-673.400 item (d)).

#### Sistema di controllo del percolato

Il sistema di controllo del percolato deve avere i seguenti requisiti:

(a-iii) Deve essere creato un sistema di drenaggio perimetrale progettato per stabilizzare i pendii laterali dell'ammasso di smarino sopra la geomembrana;

(b-iii) Il sistema di guide del drenaggio perimetrale può consistere sia in un fossato (chiuso o aperto) installato lungo il confine dell'accumulo di smarino oppure in un sistema di tubi chimicamente compatibili con il percolato: entrambe le soluzioni devono possedere un sistema di tombini di manutenzione e pulizia posizionati a idonea distanza tra loro. Misure più stringenti dovranno essere adottate qualora ci siano condizioni idrogeologiche e strutturali critiche;

(c-iii) Tutto il sistema di drenaggio e raccolta percolato deve essere costruito dentro il sistema di rivestimento.

Il sistema di contenimento e convogliamento dei liquidi

Tale sistema deve avere i seguenti requisiti:

- (a-iv) devono essere utilizzati materiali compositi di rivestimento su tutti i sistemi di contenimento e convogliamento dei liquidi associati al trasporto di smarino, all'acqua di raffreddamento, e al ritorno delle acque reflue di processo. Le eccezioni vengono risolte tramite un sistema di tubazioni;
- (b-iv) Il sistema di pompaggio associato al trasporto di smarino o alle acque reflue di processo che incrociano acque superficiali deve essere costruito con un doppio strato di materiale chimicamente compatibile in modo da evitare l'eventuale dispersione in caso di rottura.

**Ciascuna azione di accumulo dovrà prevedere uno studio adatto e limitato allo scopo.**

#### Copertura del cumulo

Al termine delle attività di accantonamento del materiale saranno previsti alcuni requisiti per la chiusura dell'accumulo, di seguito si elencano sommariamente i punti fondamentali:

(a-v) Rapporto contenente le informazioni sull'area inerente alle caratteristiche topografiche, idrogeologiche (acque superficiali, flusso di acque sotterranee, etc.), geologiche;

(b-v) Rapporto contenente le informazioni sulla destinazione d'uso del suolo tra cui strade, autostrade e altre eventuali servitù;

(c-v) Monitoraggio delle acque sotterranee;

(d-v) Valutazioni generali sulla presenza dell'accumulo di smarino (studio delle acque sotterranee, sistemi di drenaggio, controllo delle acque piovane, etc);

(e-v) Idoneo programma previsto per la chiusura ai fini della protezione della popolazione e ambientale (controllo delle fughe di smarino dall'accumulo, minimizzazione della generazione di percolato, rimozione del percolato, misure integrate con i piani di controllo ambientale in essere, minimizzazione delle attività di manutenzione , etc)

(f-v) Progettazione di un idoneo piano di chiusura:

- tabella di marcia delle fasi di chiusura;
- copertura finale dell'accumulo comprendendo spessore e tipo di materiale (membrana, suolo, etc) per le diverse finalità previste (controllo dell'erosione, dell'infiltrazione, dell'eventuale creazione di percolato, eventuale esposizione da radiazione ionizzanti, etc)
- previsioni a lungo termine ai fini dell'integrità del sistema di copertura finale dell'accumulo

Qualora ci siano condizioni ambientali critiche dovranno essere adottate misure più stringenti.

#### Procedure operative durante le fasi accumulo e copertura finale

Alla luce di quanto sopra si propone di adottare, inoltre, le seguenti procedure in caso di superamento del livello d'intervento. Nello specifico la società incaricata:

(a-vi) dovrà, prima dell'inizio delle attività, informare adeguatamente i lavoratori sulla natura delle operazioni che andranno a compiere e sui rischi specifici;

(b-vi) dovrà fornire loro copia della presente procedura

(c-vi) dovrà accertarsi che ciascuno indossi, nel corso delle attività, un dosimetro a termoluminescenza a corpo intero (i codici di identificazione dei dosimetri consegnati vanno comunicati all'esperto qualificato insieme ai nominativi delle persone che svolgeranno le attività);

Il datore di lavoro, inoltre, per evitare la produzione di polvere durante la movimentazione dovrà:

(d-vi) accertarsi di mantenere il materiale umido una volta estratto prima di essere caricato su tramoggia e quindi su nastro trasportatore per essere accumulato temporaneamente al cantiere esterno. Qualora il materiale sia asciutto sarà necessario inumidirlo;

(e-vi) accertarsi di mantenere il materiale umido una volta accumulato temporaneamente all'esterno (vedi Foto) oppure in alternativa, procedere alla copertura tramite un'idonea membrana ;



**Figura 4: Materiale accantonato temporaneamente nell'area esterna del cantiere**

(f-vi) accertarsi di mantenere il materiale umido (o eventualmente inumidirlo) durante il trasporto dal cumulo temporaneo al sito definitivo. Tale trasporto avverrà su camion senza regime ADR.

Le seguenti procedure di sicurezza dovranno infine essere scrupolosamente seguite da tutte le persone che, a vario titolo, partecipano alle attività di movimentazione: (g-vi) Ogni lavoratore dovrà accertarsi di aver ricevuto copia della presente procedura e di essere stato adeguatamente informato sulla natura delle operazioni e sui rischi specifici;

(h-vi) Ogni lavoratore incaricato della movimentazione del materiale deve aver ricevuto un dosimetro a termoluminescenza, mostrati nelle foto seguenti e individuabili singolarmente tramite codice numerico. I dosimetri sono strettamente personali e non devono essere ceduti né prestati ad altra persona.



Il dosimetro a corpo intero va indossato al bavero a mezzo della spilla.

(i-vi) Ogni lavoratore incaricato della movimentazione, a qualunque titolo, del materiale accumulato dovrà indossare un facciale filtrante per polveri con classe di protezione FFP2 idoneo per proteggere da polveri nocive;

(l-vi) Il gruppo di riferimento della popolazione, costituito da persone non dipendenti del datore di lavoro ma che durante le attività di movimentazione si avvicina, per qualsiasi motivo, a meno di un metro di distanza dal materiale, deve aver ricevuto un dosimetro a termoluminescenza, mostrato nelle foto 5 e 6 e individuabile singolarmente tramite codice numerico. I dosimetri sono strettamente personali e non devono essere ceduti né prestati ad altra persona.

(m-vi) Periodicamente i dosimetri dovranno essere inviati all'esperto qualificato, con cadenza mensile, unitamente ai nominativi delle persone cui sono stati assegnati.

4) Qualora, nonostante le azioni di rimedio, la dose sia superiore a 1 mSv/anno, la pratica è non immediatamente giustificabile e ogni attività lavorativa dovrà cessare fino all'adozione di specifiche azioni di rimedio. Per quanto ovvio, l'interruzione delle attività lavorative comporterà l'interruzione dell'accumulo.

E' comunque necessario ribadire che ciascuna azione di accumulo e chiusura dovrà prevedere uno studio adatto e limitato allo scopo.

### 5.2.5 Acque

Si ricorda che nell'attuale legislazione non vi sono limiti sulla concentrazione di radioattività nelle acque provenienti da attività lavorative svolte in presenza di radionuclidi naturali e non destinate al consumo umano, e che il D. Lgs. 28/2016 non è quindi applicabile al caso in parola.

Alla luce di quanto sopra, in caso di superamento del livello d'intervento già presente nel PGA (AAA) e premesso che l'attuale impianto di trattamento delle acque non è in grado di modificare la concentrazione di radionuclidi nelle stesse, si propone di redigere una specifica valutazione di rischio per la tutela dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente, in particolare:

1) occorre determinare la concentrazione di specifici radionuclidi per il calcolo del rapporto basato sul criterio di dose efficace 300 pSv/anno già menzionato nel Par. 3.4 [2][3] e di seguito riportato.

**Tabella 18: Livelli di screening (GBq/anno), comportanti per gli individui del gruppo di riferimento una dose efficace annua pari a 0,3 mSv, per emissioni in fiume in funzione della portata (tabella 50, 51 e 52 RP 135)**

Radionuclide	Fiume piccolo (2.5 m <sup>3</sup> /s)	Fiume medio (100 m <sup>3</sup> /s)	Fiume grande (500 m <sup>3</sup> /s)
U-238+	8.3 x 10 <sup>2</sup>	2.3 x 10 <sup>4</sup>	1.2 x 10 <sup>5</sup>
U-234	7.7 x 10 <sup>2</sup>	2.1 x 10 <sup>4</sup>	1.1 x 10 <sup>5</sup>
Th-232	4.8 x 10 <sup>3</sup>	1.6 x 10 <sup>5</sup>	8.1 x 10 <sup>5</sup>
Th-230	4.3 x 10 <sup>3</sup>	1.5 x 10 <sup>5</sup>	7.4 x 10 <sup>5</sup>
Th-228+	4.9 x 10 <sup>0</sup>	2.0 x 10 <sup>2</sup>	9.8 x 10 <sup>2</sup>
Ra-228+	4.2 x 10 <sup>1</sup>	6.4 x 10 <sup>2</sup>	3.2 x 10 <sup>3</sup>
Ra-226+	7.5 x 10 <sup>1</sup>	1.4 x 10 <sup>3</sup>	6.9 x 10 <sup>3</sup>
Pb-210+	3.2 x 10 <sup>1</sup>	2.0 x 10 <sup>2</sup>	1.0 x 10 <sup>3</sup>
Po-210	3.7 x 10 <sup>1</sup>	5.3 x 10 <sup>2</sup>	2.6 x 10 <sup>3</sup>
Serie U-238 eq. Sec.	1.3 x 10 <sup>1</sup>	1.3 x 10 <sup>2</sup>	6.5 x 10 <sup>2</sup>
Serie Th-232 eq. Sec.	4.4 x 10 <sup>0</sup>	1.5 x 10 <sup>2</sup>	7.4 x 10 <sup>2</sup>

2) Determinare le caratteristiche del corpo idrico all'interno del quale si intende scaricare. Il corso d'acqua più prossimo al cantiere è il fiume Dora Riparia (vedi Immagine) la cui media

annua è pari a circa 28 m<sup>3</sup>/s [6] e può essere quindi classificato, conservativamente ai fini dello scarico di NORM, come fiume piccolo.



Figura 5: Posizione del cantiere rispetto alla Dora Riparia

Tabella 19: Livelli di screening (GBq/anno) per fiume piccolo

Radionuclide	Fiume piccolo (2.5 m <sup>3</sup> /s)
U-238+	8.3 x 10 <sup>2</sup>
U-234	7.7 x 10 <sup>2</sup>
Th-232	4.8 x 10 <sup>3</sup>
Th-230	4.3 x 10 <sup>3</sup>
Th-228+	4.9 x 10 <sup>0</sup>
Ra-228+	4.2 x 10 <sup>1</sup>
Ra-226+	7.5 x 10 <sup>1</sup>
Pb-210+	3.2 x 10 <sup>1</sup>
Po-210	3.7 x 10 <sup>1</sup>
Serie U-238 eq. Sec.	1.3 x 10 <sup>1</sup>
Serie Th-232 eq. Sec.	4.4 x 10 <sup>0</sup>

Se consideriamo i singoli radionuclidi all'interno dell'acqua prodotta, quindi, possiamo calcolare il massimo valore di attività tramite la seguente formula:

$$\sum_i(a_i/a_{ii}) \leq 1$$

a<sub>i</sub> = attività rilasciata del radionuclide i-esimo (GBq/anno)

a<sub>ii</sub> = livello di screening del radionuclide i-esimo (GBq/anno)

e confrontare i dati con i livelli di screening giornalieri calcolati a partire dai valori di screening annuali riportati nella tabella precedente:

**Tabella 20: Livelli di screening (GBq/giorno) per emissioni in fiume piccolo**

Radionuclide	Livelli screening giornalieri (GBq/giorno)
U-238+	$2,27 \times 10^0$
U-234	$2,11 \times 10^0$
Th-232	$1,32 \times 10^1$
Th-230	$1,18 \times 10^1$
Th-228+	$1,34 \times 10^{-2}$
Ra-228+	$1,15 \times 10^{-1}$
Ra-226+	$2,06 \times 10^{-1}$
Pb-210+	$8,77 \times 10^{-2}$
Po-210	$1,01 \times 10^{-1}$
Serie U-238 eq. sec.	$3,56 \times 10^{-2}$
Serie Th-232 eq. sec	$1,21 \times 10^{-2}$

**Prima dell'immissione in fiume, quindi, bisogna eseguire le determinazioni radiometriche riportate in tabella 20 e procedere così al confronto con i livelli di screening.**

Come riportato nel documento " Valutazione di impatti radiologici da NORM" [3] va però sottolineato quanto segue:

- La via modellistica alla stima delle dosi prodotte dagli effluenti NORM nell'ambiente (previa caratterizzazione sperimentale del dato sorgente) utilizzato nel documento RP135 è la più efficace/fattibile, essendo l'alternativa, di monitorare empiricamente le matrici ambientali per determinarne l'impatto dell'inquinante, sostanzialmente infattibile considerata la presenza nelle stesse del fondo di radioattività naturale;
- Per il riversamento in fiume il documento RP135 utilizza i modelli di calcolo PC Cream [7]. Si considera il rilascio in continuo annuo per un impianto che opera da 50 anni, non vengono contemplati pertanto rilasci incontrollati o a breve termine. Le vie di esposizione dei gruppi critici della popolazione nel caso del fiume sono: ingestione di acqua e pesce, irraggiamento dai sedimenti lungo le rive;
- Per pervenire ai coefficienti di dose/livelli di screening di cui sopra, assunzioni molto conservative sono fatte sulle condizioni di esposizione dei gruppi critici (distanze dalla sorgente, tempi di permanenza nelle aree critiche, abitudini alimentari, ...). Nelle stime modellistiche si tiene conto anche della crescita dei discendenti di lunga emivita nei comparti ove si presenta accumulo dei radio contaminanti (suolo, sedimenti, fluviali e marini);
- Come fascia di età degli individui del gruppo critico è stata scelta quella degli adulti;
- Per ultimo, si sottolinea il fatto che RP 135 non prende in considerazione, quale scenario per l'allontanamento degli effluenti liquidi, il rilascio in fogna con destino successivo degli scarichi nei depuratori urbani.

Ove l'approccio di screening dia esiti prossimi o superiori al criterio di dose (0,3 mSv/anno dose efficace individuale) si devono operare stime specifiche. Si possono adattare gli scenari e le parametrizzazioni dei metodi di screening alle situazioni puntuali o si può ricorrere a

modellistica di screening alle situazioni puntuali, o si può ricorrere a modellistica previsionale più sofisticata (con caratterizzazione accurata della sorgente e dei comparti ambientali di trasferimento).

Un altro approccio, che richiederebbe comunque uno studio specifico, potrebbe essere la rimozione di specifici radionuclidi (U, Th, Po, etc) all'interno del processo di depurazione delle acque [8][9].

In attesa delle stime specifiche non si propone di interrompere le attività lavorative poiché ciò non comporterà comunque l'interruzione del rilascio delle acque, per questo si propone di raccogliere le acque all'interno di cisterne in attesa di essere smaltite o eventualmente trattate.



## Bibliografia

- [1] Radiation Protection 122 "Practical use of the concepts of clearance and exemption" - Part II "Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources", Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002 - ISBN 92-894-3315-9.
- [2] Radiation Protection 135 "Effluent and dose control from European Union NORM industries: Assessment of current situation and proposal for a harmonized Community approach", Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003 - ISBN 92-894-6361-9.
- [3] Task n. 03.02.01 Valutazione di impatti radiologici da NORM - Rev.1 (Convenzioni tra ISPRA e ARPA, APPA, l'ENEA-INMRI,CRI, ISS nell'ambito della Convenzione del 29.12.2006 MATTM-ISPRA avente per oggetto "Supporto tecnico alla DSA all'elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici", linea di attività "Prevenzione dai rischi dell'esposizione a radiazioni ionizzanti", tematica "Implementazione di un sistema nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale"
- [4] Safety Reports Series No 78 "Radiation Protection and Management of norm Residues in the Phosphate Industry" IAEA 2013
- [5] Florida Department of Environmental Protection "Administrative Rule, Chapter 62: 673, Phosphogypsum Management, FDEP, Tallahassee, FL (2006)
- [6] Allegato Tecnico PTA - Piano di Tutela delle Acque - Revisione del 1° luglio 2004; Caratterizzazione bacini idrografici, Regione Piemonte, 1° luglio 2004
- [7] . PC-Cream, Public Health England, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ.
- [7] Handbook for assessing the impact of radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to operatives at water treatment works: supporting scientific report
- [8] Treatment Techniques for removing natural radioactives from drinking water. Final Report of the TENAWA project - STUK-A169, M. Annanmaki, T. Turtiainen - Gennaio 2000
- [9] Serie Norme di sicurezza RS-G-1.7, AEIA 2004, "Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance").
- [10] Task 01.02.03 - Livelli di riferimento, esenzione, allontanamento (anche NORM) Rev. 0 Approvato in data 11/05/2014.