

**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**

**Directives pour les matières radioactives – Linee guida in caso di materiale radioattivo al fronte**

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	Partie	E	R	E	A	M	0	2	1	3	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	Introduzione .....	4
2	Generalità .....	5
2.1	Le rocce uranifere .....	6
2.2	Le serie naturali di radionuclidi .....	9
2.3	Analisi dei monitoraggi durante la realizzazione del Cunicolo Esplorativo .....	11
3	Normativa di riferimento .....	16
4	Rischi .....	16
4.1	Rischi per la salute .....	16
4.2	Rischi per l'ambiente .....	17
5	Metodi di verifica della presenza di minerali radioattivi in fase di scavo .....	17
6	Misure da adottare e azioni correttive .....	19
6.1	Protezione dei lavoratori .....	19
7	Gestione dei materiali contaminati .....	21

## RESUME / RIASSUNTO

Il documento illustra i potenziali rischi di incorrere in minerali con elevata concentrazione di radioattività, che possono essere considerati sorgenti naturali, nel corso delle attività di scavo e le azioni messe in campo per verificare la presenza di radiazioni ionizzanti durante la realizzazione delle opere.

Le analisi condotte sul materiale scavato durante la realizzazione del cunicolo esplorativo La Maddalena hanno dimostrato che i livelli di radioattività alfa e beta si sono sostanzialmente mantenuti nell'intorno dei valori di fondo tipici dell'area di interesse; le radiazioni gamma non hanno inoltre evidenziato andamenti significativi essendo i valori misurati uguali o prossimi al limite di rilevabilità strumentale.

Vengono dunque brevemente descritte le azioni da intraprendere in caso di superamento dei limiti di intervento per ciascuna componente monitorata.

## 1 Introduzione

La redazione del presente documento è finalizzata a elencare e sintetizzare tutti gli elementi previsti per la corretta gestione di sorgenti naturali eventualmente rinvenuti nel corso delle attività di scavo, i relativi rischi per l'ambiente e la popolazione e le relative attività di monitoraggio ambientale.

Nell'eventualità, infatti, che vengano superate le soglie di intervento (AAA) individuate nel documento 04A\_OO--\_0\_Z\_E\_RE\_AM\_0201\_0 *Piano di Gestione Ambientale* per le singole componenti, verranno attivate le specifiche procedure descritte nel documento 04A\_OO--\_0\_Z\_E\_RE\_AM\_0214\_0 *Piano di Lavoro Tipologico in caso di Radiazioni ionizzanti*, la cui sintesi è riportata nel presente documento a fini descrittivi.

Le operazioni di monitoraggio e controllo in oggetto sono da intendersi sia per il personale operativo presente in cantiere (ambiente di lavoro) sia a livello ambientale in senso lato. Si fa presente che i successivi capitoli del presente documento trattano la parte relativa al monitoraggio ambientale in caso di presenza di materiale radioattivo, rimandando al documento a specifici documenti della Sicurezza per la definizione degli aspetti legati al monitoraggio sul personale e le azioni da intraprendere per garantire la sicurezza dei lavoratori.

Analogamente a quanto riportato nel documento 04A\_OO--\_0\_Z\_E\_RE\_AM\_0201\_0 *Piano di Gestione Ambientale*, per una migliore comprensione dell'elaborato si riportano di seguito le sigle e abbreviazioni che verranno utilizzate:

- DL: Direzione Lavori
- RA: Responsabile Ambientale
- DC Direzione Cantiere

Il rischio da radiazioni ionizzanti, prodotte non solo da sorgenti artificiali ma anche da sorgenti naturali, viene preso in considerazione dal D.Lgs 230/1995 e smi, che tiene conto delle varie raccomandazioni del ICRP (International Commission for Radiation Protection) anche e soprattutto in termini di limiti di dose ai lavoratori ed alla popolazione. In particolare l'art. 10 Bis nei suoi vari commi si applica esplicitamente al lavoro nelle gallerie o tunnel.

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:

- A. 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;
- B. 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;
- C. 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.

I rischi possono derivare da irradiazione esterna o da contaminazione interna. Nel caso specifico di sorgenti naturali l'irradiazione esterna ha in genere a che fare con le radiazioni più penetranti, come le radiazioni gamma. La contaminazione interna invece deriva spesso

da radiazioni poco penetranti che rilasciano tutta la loro energia su percorsi molto brevi all'interno dell'organismo.

Si tratta di radiazioni alfa, tipiche di radionuclidi ad alto numero atomico e di radiazioni beta, distribuite su tutta la tavola periodica e comunque importanti anche nel caso dei radionuclidi "naturali" come uranio e torio, che sono distribuiti in tutta la crosta terrestre.

A causa della loro lunga "vita media" non solo di tipo fisico ma anche di tipo biologico, che dà luogo ad una prolungata permanenza nel corpo umano, questi radionuclidi "naturali" sono pericolosi soprattutto per contaminazione per ingestione o inalazione tramite polveri. Le serie naturali di decadimento di uranio e torio producono radionuclidi come il radon ed il toron, sotto forma di gas "nobili", che non hanno interazioni chimiche e quindi contaminazioni stabili ma, come emettitori alfa, possono danneggiare gli alveoli polmonari durante il periodo di stazionamento nei polmoni.

Dato che vengono prodotti in continuazione, questi gas si possono diffondere attraverso il terreno o la porosità delle rocce e permanere nei luoghi di scavo. Non solo, ma possono "decadere" e trasformarsi in altri radioisotopi, anche gamma emittenti, che aderiscono alle particelle di pulviscolo o PTS (Polveri Totali Sospese). La radiazione gamma, quindi, costituisce un importante "testimone locale" della presenza di radionuclidi naturali nei locali sotterranei. La contaminazione aeriforme contiene, oltre al radon ed al toron, anche altri emettitori alfa "figli" del radon e del toron, che faranno ovviamente la loro comparsa nei sistemi di ventilazione e di filtrazione dell'aria. E' quindi importante un monitoraggio della radioattività nei filtri.

Per le finalità sopra definite e per l'allontanamento del materiale di scavo risulta necessario indagare la concentrazione di uranio e torio, l'allontanamento dal luogo di scavo infatti dovrebbe essere eseguito senza incrementare la dose ai lavoratori che si occupano del trattamento e del trasporto ed alla popolazione che in qualche e diverso modo "riceve" questo materiale. Quindi è necessario poter procedere, mediante prelievo in loco ed uso di strumentazione spettrometrica, alla misura della concentrazione di uranio e di torio nel terreno, così come di altri radionuclidi naturali, tra cui molto importante il K-40.

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, dall'IAEA e ISPRA.

## 2 Generalità

Il cunicolo esplorativo "La Maddalena" attraversa, per la maggioranza del suo sviluppo, il basamento cristallino del Massiccio d'Ambin. Solo per una limitata estensione in prossimità dell'imbocco, approssimativamente per i primi 240 metri circa, la cui metà circa è comunque scavata nei depositi quaternari, attraversa i litotipi appartenenti alla Zona Piemontese dei Calcescisti con Ofioliti e gli orizzonti di scollamento rappresentati dalle brecce tettoniche carbonatiche.

Il Massiccio d'Ambin affiora diffusamente sul versante sinistro della media e alta Val di Susa al di sotto delle unità oceaniche di pertinenza della Zona Piemontese. All'interno di questa unità si distingue un basamento cristallino, costituito da due complessi polimetamorfici

distinti e sovrapposti in una tipica struttura a “cipolla” (Complesso di Clarea e Complesso di Ambin), e una copertura mesozoica conservata in lembi.

Il Complesso di Ambin è costituito da rocce metamorfiche quali gneiss leucocrati massicci a giadeite (“Gneiss aplitici” (auct.)) e gneiss occhiadini ad albite e clorite (paragneiss e micascisti albitico-cloritici con livelli di micascisti quarzoso-conglomeratici).

Il Complesso di Clarea affiora geometricamente in posizione inferiore rispetto al Complesso di Ambin ed è costituito da micascisti e gneiss minuti albitizzati pervasivamente riequilibrati in facies scisti blu e micascisti con tessiture e paragenesi in facies anfibolitica di età pre-alpina preservate. Del Complesso di Clarea fanno anche parte corpi e livelli di metabasiti budinate con relitti di associazioni metamorfiche pre-alpine.

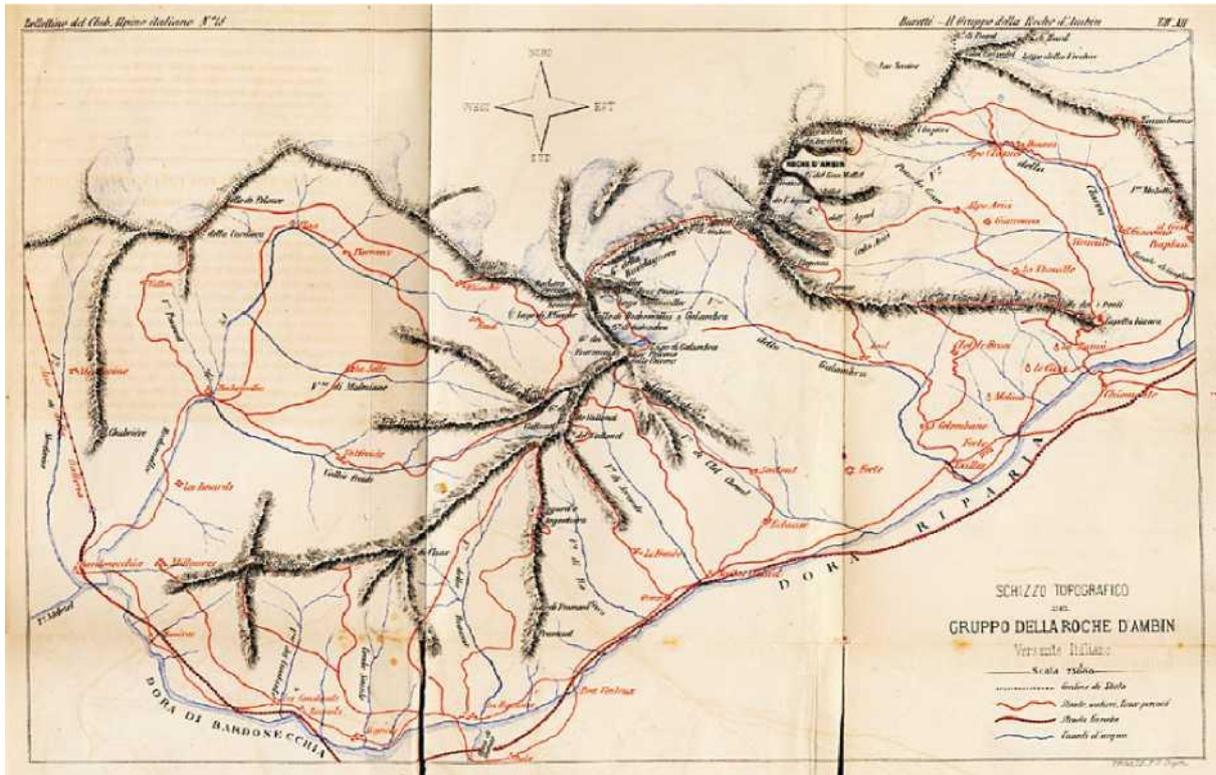
La copertura mesozoica invece, affiora limitatamente nella parte bassa della Val Clarea e lungo il confine di stato. Essa comprende una successione “autoctona” costituita principalmente da micascisti foliati e crenulati e livelli di carbonati e una successione “alloctona” i cui termini prevalenti sono rappresentati da due formazioni: le quarziti del rio Seguret e i Calcescisti della Beaume (mi).

Le Quarziti del rio Seguret sono rocce a grana fine di colore bianco-verdastro, caratterizzate da un fabric massiccio ed una composizione prevalentemente quarzosa. Esse comprendono quarziti massicce, listate di colore bianco-verdastro, con locali livelli di quarzo-micascisti a cloritoide. I Calcescisti della Beaume sono rocce compatte, biancastre, con grana grossolana, costituite da calcescisti albitici a rara mica bianca e quarzo con intercalazioni di breccie e clasti centimetrici di marmi, dolomie triassiche e micascisti.

Il sito del cantiere della “Maddalena” si sviluppa al centro di un'ampia depressione morfologica modellata a conca entro depositi quaternari prevalentemente di origine fluviale, glaciale e fluvioglaciale. Il substrato roccioso metamorfico pre-quaternario non risulta praticamente affiorante in quest'area; affioramenti relativamente limitati sono, invero, individuabili lungo il margine orientale della conca, da dove si estendono, con relativa continuità, fino al fondo della Dora Riparia.

## 2.1 Le rocce uranifere

Buona parte delle conoscenze in questo campo sono state raccolte in un lavoro di Gattiglio e Sacchi (Ref. 1) che hanno concentrato la loro attenzione sul Massiccio di Ambin (vedi Fig. 1) e sul complesso Dora-Maira.



**Figura1 : Il massiccio di Ambin**

Il comportamento geochimico dell'uranio ne accentua la concentrazione nella parte superiore della crosta terrestre, che ha una composizione in gran parte granitica-granidioritica. La consociazione tra uranio e granito in realtà avviene in condizioni geologiche particolari (geotermalismo) che non sempre si verificano, per cui il tenore di uranio nel granito in condizioni normali è in genere piuttosto basso, dell'ordine di alcune ppm. Arricchimenti in uranio tali da poter essere presi in considerazione sotto l'aspetto minerario possono essere prodotti da agenti esogeni in ambiente subaereo, ma in Val di Susa queste condizioni non si verificano per cui la possibilità di incontrare arricchimenti primari lungo il tracciato del tunnel è decisamente da scartare. Ne fa fede una dichiarazione dell'ARPA-Piemonte del 28/11/2005 che afferma che il rischio radiologico per la popolazione della Val di Susa legato alla presenza di mineralizzazioni radioattive è del tutto trascurabile, per cui è difficilmente immaginabile che le attività di scavo possano originare un significativo incremento del rischio radiologico rispetto alle normalissime condizioni attuali. Per quanto riguarda più specificatamente il Massiccio d'Ambin, che copre la parte italiana del tunnel per 13 km, una citata pubblicazione del 2006 (Ref.2) sostiene che gli adunamenti uraniferi nel massiccio di Ambin sono rappresentati da sottili livelli, variamente concordanti o discordanti con la scistosità, costituiti da letti paralleli di uranio e di ferro di spessore massimo 5 mm, con pirite, orpimento e blenda, alternati con letti analoghi di pirite ed orpimento. La conclusione degli autori è quindi che le lenticelle uranifere disperse nella massa dello smarino o materiale di scavo non possono alterare l'ordine di grandezza rispetto al fondo naturale geochimico della roccia scavata.

Un lavoro precedente di Compagnoni e collaboratori del 2003 (Ref. 3) fornisce una serie molto completa di dati geochimici sulla Val di Susa: si tratta essenzialmente di 27 analisi ottenute con le tecniche più moderne. Nella tabella seguente (Tab. 1, ricavata dalla stessa referenza) si possono vedere i dati di tenore di uranio e di torio in rocce granitiche del

Massiccio di Ambin, dati simili a quelli riscontrati in altre zone della Val di Susa e perfettamente normali per rocce granitiche. Questi dati comportano un valore normale anche per il calore radiogenico, che ovviamente ha a che fare con il flusso di energia prodotta dalle radiazioni emesse e che risulta analogo a quello normale per rocce granitiche. Il che fa prevedere un normale gradiente termico lungo il tracciato del tunnel.

**Tabella 1: Concentrazione in parti per milione in peso (ppm) di uranio e torio in tre siti del Massiccio di Ambin**

Litotipo	Concentrazione di uranio (ppm)	Concentrazione di torio (ppm)
Leucogneiss	3.5	12
Leucogneiss	3	11
Leucogneiss	6.5	11

Assumendo un valore di attività specifica per l'uranio, che in composizione isotopica è quasi completamente U-238, pari a 0.0125 MBq/g, il valore medio della concentrazione di uranio dedotto in tabella risulta 54 Bq/kg, cioè di 0.054 Bq/g.

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 della Commissione Europea "Radiation Protection 122 (RP122)". 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 2 : 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</i> <i>incl</i> <i>U 235 sec</i>	0.5	5
U nat	5	100
Th 230	10	100

Nuclides	All materials	Wet sludges from oil and gas industry
Ra 226+	0.5	5
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.

Un'ulteriore prova di quanto riportato viene da misure di radioattività naturale su campioni di rocce presenti nei carotaggi eseguiti durante la realizzazione del cunicolo, effettuate presso il Laboratorio U-SERIES di Bologna: in base ai dati ottenuti su U-238, Th-232, Ra-226 e K-40, si conclude che le concentrazioni di attività (Bq/kg) risultano inferiori o al massimo leggermente superiori a quelle normalmente riscontrate sulla crosta terrestre e quindi inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto alle soglie di rischio.



Figura 2: Tipico aspetto di una roccia di uraninite

## 2.2 Le serie naturali di radionuclidi

In natura esistono tre serie naturali di radionuclidi, i cui capostipiti sono rappresentati da U-238, Th-232 e U-235 e i cui prodotti finali sono isotopi del piombo. Esiste poi una quarta serie di radionuclidi, ormai estinta su Terra, che parte dal Np-237. La serie del U-235 è molto meno importante in natura dal punto di vista radioprotezionistico. Il decadimento nel tempo di un radionuclide “padre” in un radionuclide “figlio” è di tipo esponenziale e viene caratterizzato da un tempo di dimezzamento, un periodo nel quale l'attività del radionuclide padre diminuisce di un fattore 2. In modo analogo aumenta la concentrazione e quindi anche l'attività del radionuclide figlio. L'attività rappresenta il numero di disintegrazioni o

trasformazioni al secondo e si misura in Bq, unità che comporta una disintegrazione al secondo. C'è da sottolineare che l'attività non rappresenta in genere il numero di particelle emesse al secondo, in quanto bisogna tenere conto della possibilità di diversi tipi di "trasformazioni" con l'emissione di particelle diverse. L'emissione gamma è sempre presente ed accompagna ogni disintegrazione, eccetto pochi casi di radionuclidi beta emittenti "puri". Dato che i capostipiti hanno una vita media lunga, dell'ordine del miliardo di anni, si può applicare il concetto di "equilibrio secolare", secondo il quale la concentrazione di un radionuclide rimane costante perché il suo tasso di produzione è uguale al suo tasso di decadimento; l'equilibrio secolare viene a cadere se un elemento della serie "scompare" in forma gassosa o "diffonde" dal luogo di generazione, e quindi va applicato con cautela. Un esempio è rappresentato dal Radon (Rn-222), "figlio" del Ra-226 nella serie del U-238. Un esempio analogo è dato dal toron (Rn-220), peraltro meno comune del radon. Questi due gas nobili radioattivi saranno oggetto di un capitolo a parte, dato che danno un contributo importante alla dose per inalazione e quindi necessitano di un adeguato controllo.

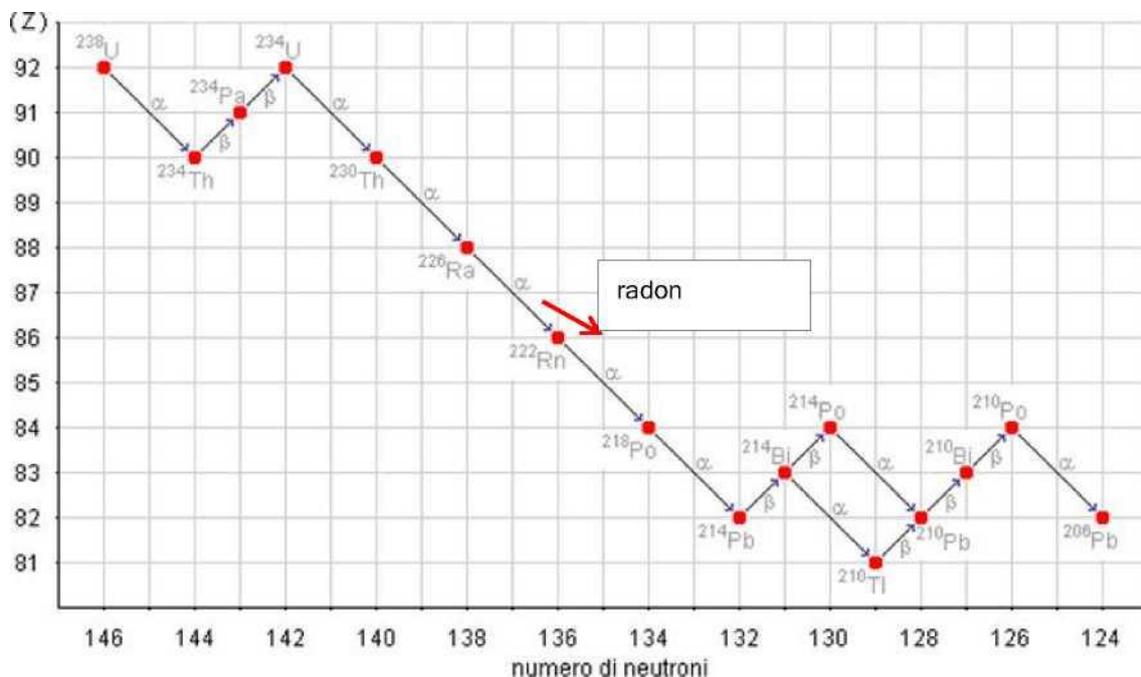


Figura3 : La serie naturale dell'U-238

Dal punto di vista della dose da irraggiamento esterno, dato che come si è accennato le radiazioni alfa hanno percorsi in aria dell'ordine del cm e le radiazioni beta dell'ordine di 1-2 metri al massimo, le radiazioni gamma assumono un'importanza fondamentale.

Se la dose prodotta per irraggiamento dai vari radionuclidi delle varie serie naturali si può determinare mediante misure ambientali, per la valutazione della dose da contaminazione interna sarà necessario invece determinare la concentrazione di polveri (PTS, Polveri Totalmente Sospese) in mg/mc e l'attività specifica dei vari radionuclidi nelle polveri stesse in Bq/mg. Questi dati si ottengono aspirando l'aria dell'ambiente su filtri e misurandone in seguito la massa per unità di volume aspirato (tenuto conto dell'efficienza dei filtri stessi) e l'attività deposta sui medesimi mediante spettrometria alfa, beta e gamma. Per la valutazione di dose assorbita per inalazione è necessario tenere conto dei coefficienti di dose impegnata per unità di introduzione per inalazione, ricavati dalle tabelle dell'allegato IV del DLgs 230/1995 e smi, espressi in Sv/Bq e che vengono riportati nelle tabelle seguenti per

i radionuclidi più importanti delle due serie, nonché del volume di aria inspirato in un'ora dall'uomo standard (1.2 mc).

**Tabella 3: Coefficienti di dose impegnata per unità di introduzione per inalazione (Sv/Bq) per i radionuclidi più importanti della serie del U-238 e del Th-232.**

U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210	Totale
5.7 10 <sup>-6</sup>	6.8 10 <sup>-6</sup>	7.2 10 <sup>-6</sup>	2.2 10 <sup>-6</sup>	1.1 10 <sup>-6</sup>	2.2 10 <sup>-6</sup>	2.5 10 <sup>-5</sup>
-	Th-232	-	Ra-228	Th-228	Ra-224	Totale
-	1.2 10 <sup>-5</sup>	-	1.7 10 <sup>-6</sup>	3.2 10 <sup>-5</sup>	2.4 10 <sup>-6</sup>	4.8 10 <sup>-5</sup>

## Referenze

- 1) Gattiglio M. e Sacchi R, (2006) Lineamenti geologici della Val di Susalungo il tracciato del progetto TAV Torino-Lione, Rend. Soc. Geol. It. 3, Nuova Serie 13-19
- 2) Brondi A., Cardone G., Mingrone G., e Ventura G., (2006) Geologia e geochimica dell'uranio in relazione allo scavo di gallerie nelle Alpi: aspetti operativi e criteri di monitoraggio radiologico per la salvaguardia ambientale e sanitaria, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee 78, 48-55
- 3) Compagnoni R., Borghi A., Cadoppi P., Ferrando S., Gattiglio M. e Ruffini R., (2003) The abundance of 47 elements and petrovolumetric models of the crust in Susa valley, western Alps (site1) Accad. Naz. Sci. Detta dei XL, Scritti e documenti, 32, 69-96

## 2.3 Analisi dei monitoraggi durante la realizzazione del Cunicolo Esplorativo

In fase di realizzazione del Cunicolo Esplorativo è stato attivato un monitoraggio capillare sia interno che esterno al cantiere, che solo per la parte esterna si è concretizzato in 2063 misure.

Gli esiti analitici ottenuti, esposti nel presente paragrafo, consentono di poter confermare in maniera oggettiva le valutazioni fatte nella fase previsionale che indicavano impatti attesi compresi tra il livello basso e trascurabile. In particolare, per la totalità dei dati acquisiti, non si è mai verificato, in nessun caso, il superamento della soglia di intervento.

Il monitoraggio interno al cantiere nel corso dello scavo del cunicolo (fase 1+fase2) per il controllo delle radiazioni Gamma, è stato seguito sulle postazioni denominate RAD-SMA e TBM-GAMMA con le seguenti modalità:

- RAD-SMA: giornalmente sui cumuli di materiale estratto;
- TBM-GAMMA: in continuo all'interno del cunicolo da fine febbraio 2014.

Per la postazione RAD-SMA, durante le attività di scavo (dal 2013 al raggiungimento della pk 7+020), sono state eseguite circa 121 misure al fronte di scavo e 704 misure sui cumuli.

Gli esiti delle misurazioni sono stati in tutti i casi negativi, non è mai stato segnalato il superamento della soglia di sorveglianza (A).

Per la postazione TBM-GAMMA, durante le attività di scavo con TBM (fase 2), le misurazioni sono avvenute in continuo. In un solo caso, a luglio 2014, è stato superato il limite di soglia di sorveglianza (A).

La postazione CAMP-RAD, che prevede il prelievo periodico di campioni del materiale scavato e sottoposto in laboratorio a misure di concentrazione massica di attività Bq/Kg mediante spettrometria gamma, dal 2013 al raggiungimento della pk 7+020, ha eseguito 16 analisi. In nessun caso è stato segnalato il superamento della soglia di sorveglianza (A).

La postazione RAD-FAN, che prevede il prelievo di campioni dai fanghi disidratati prodotti dall'impianto di depurazione, dal 2013 al raggiungimento della pk 7+020, ha eseguito 3 analisi e 17 misure sul campo. In nessun caso è stato segnalato il superamento della soglia di sorveglianza (A).

La postazione ACQ-RAD, monitora i valori di attività alfa-beta totali nelle acque in ingresso all'impianto di depurazione. Dall'inizio dello scarico delle acque al depuratore (dicembre 2013), fino alla durata dello scavo del cunicolo esplorativo, sono state eseguite 156 analisi. Tutte le analisi hanno evidenziato valori inferiori alla soglia di sorveglianza (A).

La concentrazione del gas Radon all'interno del cunicolo è stata monitorata durante le attività di scavo (fase 1+fase 2) attraverso le stazioni RAD-GAL (durante la fase 1) e TBM-RAD (durante la fase 2).

Nella postazione RAD-GAL, attiva da luglio 2013 fino a ottobre 2014 (data di fine scavo con metodo tradizionale), sono state eseguite 16 misurazioni. In soli due casi è stata superata la soglia di sorveglianza (A).

La postazione TBM-RAD, posizionata in testa alla TBM, attivata ad ottobre 2014, ha eseguito misurazioni in continuo. Dall'attivazione del sensore in continuo, sono stati registrati solo sporadici aumenti di concentrazione di radon dovuti all'interruzione programmata della ventilazione in gallerie e per tanto non segnalati come superamento.

Per il controllo del particolato aerodisperso è stata predisposta la postazione RAD-PTS, attiva in continuo, con prelievo settimanale del filtro per il campionamento delle PTS e successiva misura di attività in laboratorio (alfa-beta settimanale, Gamma mensile). Le analisi realizzate durante lo scavo del cunicolo hanno evidenziato alcuni valori oltre soglia di sorveglianza (A) e 3 casi di superamento della soglia di attenzione (AA).

Durante lo scavo della vasca a pk 4+130, il monitoraggio Gamma è stato effettuato sulle postazioni:

- RAD-SMA sui cumuli di materiale estratto, successivamente ad ogni volata;
- RAD-FRONT sul fronte scavo, successivamente ad ogni volata.

In particolare nel 2017 si sono realizzate 53 misure su cumulo per la postazione RAD-SMA, e 20 misure per la postazione RAD-FRONT, e in nessuna delle misure effettuate è mai stato segnalato il superamento della soglia di sorveglianza (A). Con la conclusione degli scavi le misure sono state interrotte.

Per la postazione CAMP-RAD nel 2017 è stata eseguita 1 sola analisi, avendo interrotto il monitoraggio con il termine dello scavo. Anche in tal caso non è stato segnalato il superamento della soglia di sorveglianza (A).

Nella postazione RAD-FAN, a seguito dell'attività di scavo del cunicolo e fino al 2018, sono state realizzate 3 analisi e in nessun caso è stato segnalato il superamento della soglia di sorveglianza (A).

Dal 5 luglio 2017 l'autorizzazione allo scarico ha subito una modifica, per cui il monitoraggio in corrispondenza della postazione ACQ-RAD è passato ad una frequenza bisettimanale nella fase 3B (scavo della vasca a pk 4+130) e mensile nelle fasi 3A, 3C e 4 (montaggi e manutenzioni varie). In totale dunque, tra il 2017 e il 2018 si sono realizzate 45 analisi e tutte hanno evidenziato valori inferiori alla Soglia (A).

Nella postazione RAD-GAL, a partire dal 20/02/2017, la misurazione è stata fatta in continuo con Canary installati nelle postazioni di lavoro. In nessun caso è stata superata la soglia di sorveglianza (A).

Le analisi che tra il 2017 e il 2018 hanno interessato la postazione RAD-PTS (controllo del particolato aerodisperso), realizzate in numero di 43 per Alfa-Beta e 11 per Gamma, hanno invece evidenziato 4 valori oltre soglia di sorveglianza (A) e 3 casi di superamento della soglia di attenzione (AA).

Per quanto riguarda il monitoraggio esterno della radioattività naturale dispersa nell'atmosfera ed eventualmente originata dalle attività di scavo è stato effettuato in continuo presso una postazione ubicata in prossimità del perimetro del cantiere dove vengono campionate le PTS sulle quali sono condotte le misure di attività.

Al fine di valutare il possibile contributo relativo alle operazioni di scavo del cunicolo i valori registrati dalla suddetta stazione sono confrontati con quelli analoghi del fondo naturale registrati in parallelo presso una stazione remota ubicata presso il Forte di Exilles.

Gli indicatori monitorati sono le **radiazioni**  $\alpha$ , tipicamente emesse durante il decadimento del Radon-222, dell'Uranio-238 e del Plutonio-239, e le **radiazioni**  $\beta$ , tipicamente emesse durante il decadimento del Trizio, Carbonio-14, del potessio-40, dello Stronzio-90, del Cesio-134 e del Cesio-137, oltre al gas Radon222.

Ad integrazione delle misure delle emissioni totali  $\alpha$  e  $\beta$  è stata effettuata la valutazione mensile della **Radiazione**  $\gamma$ , che spesso accompagna i decadimenti alfa e beta.

Il monitoraggio del Radon 222, su indicazione dell'Ente di controllo è stato sospeso a partire dal 31/12/2014, essendo ritenuto scarsamente rappresentativo.

Gli andamenti registrati nell'arco temporale dell'intero corso d'opera (2013-2018) sono evidenziati nelle figure seguenti.

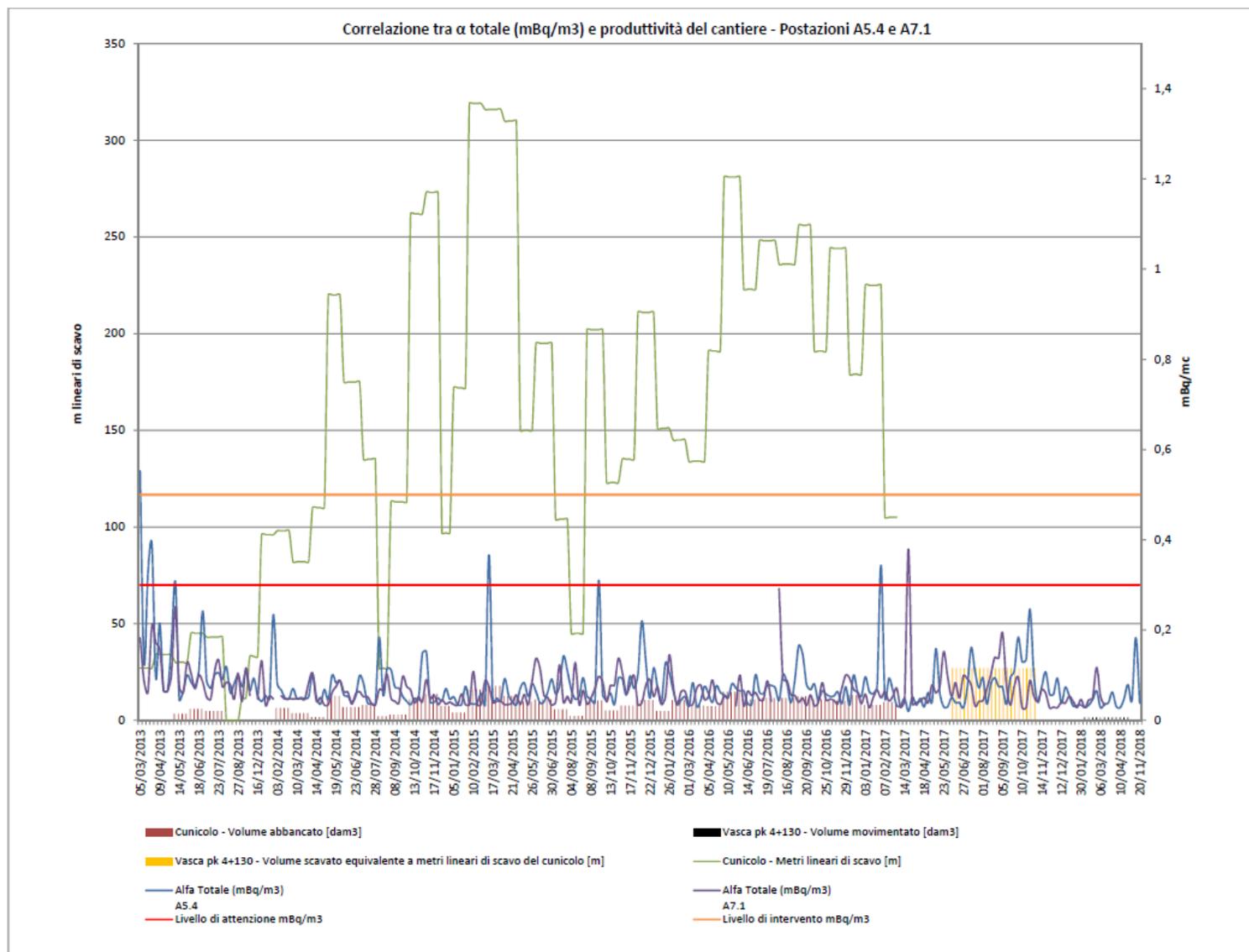
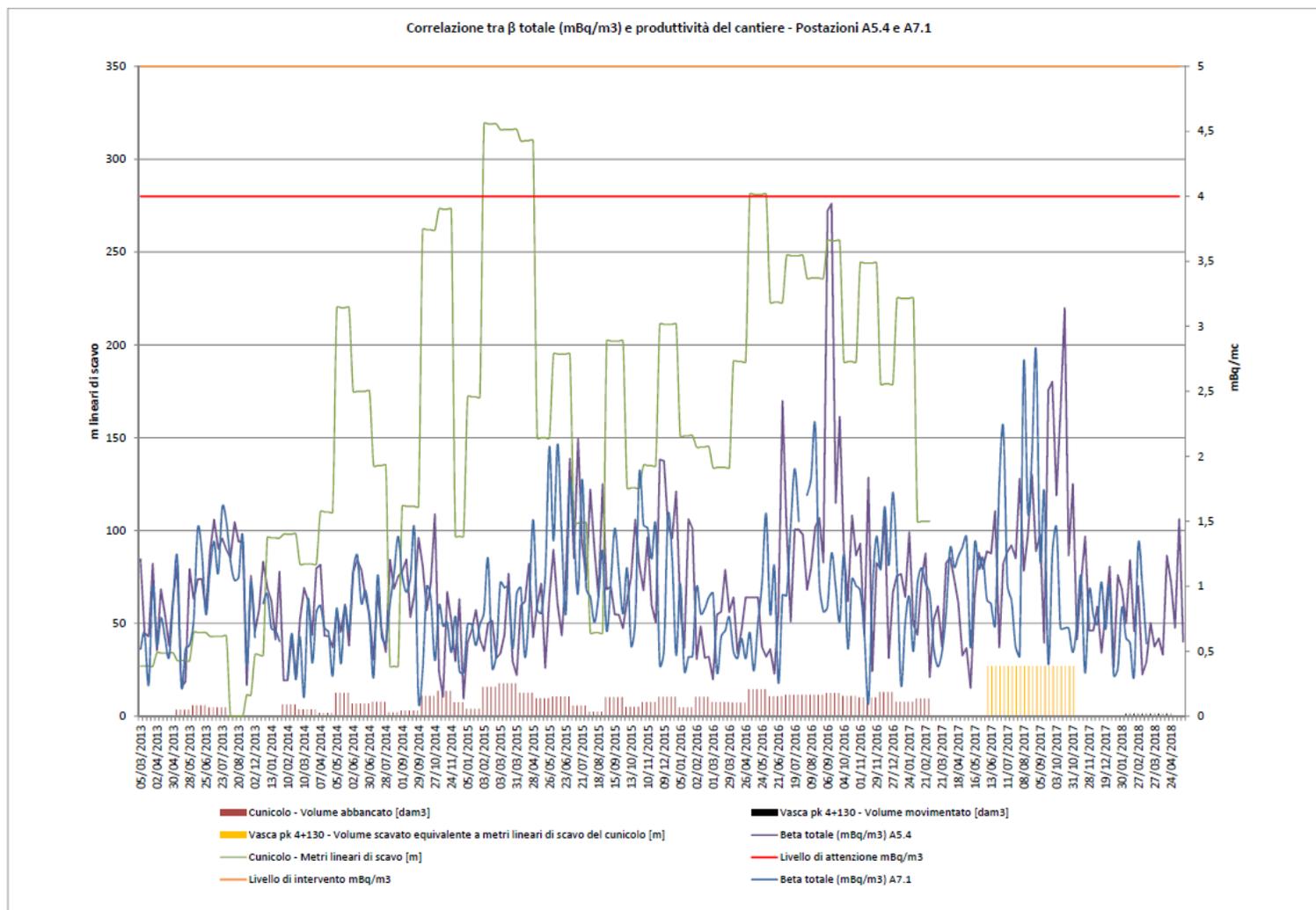


Figura 4 : Correlazione tra alfa totali e produttività del cantiere del Cunicolo Esplorativo



**Figura 5: Correlazione tra beta totali e produttività del cantiere del Cunicolo Esplorativo**

Dall'esame degli andamenti osservati delle emissioni Alfa e Beta totali raffrontati con i livelli di produzione del cantiere si osserva che:

- I livelli di radioattività si sono sostanzialmente mantenuti nell'intorno dei valori di fondo tipici dell'area di interesse;
- I valori registrati dalla stazione di fondo sono sempre sovrapponibili a quelli registrati dalla stazione prossima al cantiere;
- Gli andamenti registrati dalla suddetta stazione non sono mai correlati con i livelli di produttività del cantiere.

Le radiazioni gamma non evidenziano andamenti significativi essendo i valori misurati uguali o prossimi al limite di rilevabilità strumentale.

Si evidenzia come, in termini generali, i valori misurati si siano diffusamente mantenuti al di sotto delle soglie di attenzione.

### 3 Normativa di riferimento

La normativa attuale in materia di radiazioni ionizzanti è interamente contenuta nel DLgs N. 230 del 17/03/1995 "Attuazione delle direttive 89/618 Euratom, 90/641 Euratom, 92/93 Euratom e 96/29 Euratom in materia di radiazioni ionizzanti", successivamente integrato e modificato.

Si devono inoltre ricordare i seguenti documenti:

- Le raccomandazioni dell'International Commission for Radiation Protection ICRP 65 e 66;
- La legge regionale della Regione Piemonte LR N. 5 del 18/02/2010;
- Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom.

Nel quadro della legge sono da ricordare le norme per le radiazioni naturali, il radon e le lavorazioni in galleria (art. 10 bis e commi successivi del DLgs 230/1995 e smi), le attribuzioni dell'Esperto Qualificato (art. 75 e successivi) e le attribuzioni del Datore di Lavoro (art. 61 e successivi).

A tal proposito il Datore di Lavoro deve nominare ufficialmente un Esperto Qualificato, comunicandone il nominativo alla Ispettorato Territoriale del Lavoro (ITL)

## 4 Rischi

### 4.1 Rischi per la salute

Le radiazioni ionizzanti costituiscono un rischio ormai ben noto per la salute umana. Accanto al danno diretto alle cellule dei tessuti, abbiamo un danno genetico e tumorale che non ha praticamente una soglia al di sotto della quale si possa affermare che il rischio stocastico è nullo. Il danno dipende dal tipo di radiazione e dal tipo di tessuto. Le radiazioni costituite da particelle "pesanti" (alfa) sono molto più dannose di altre radiazioni costituite da elettroni (beta) o campi elettromagnetici (gamma). Nel caso di cantieri e di gallerie il rischio maggiore è dovuto alla contaminazione da parte di sostanze radioattive, per inalazione o per

ingestione. Nel primo caso il contributo di gran lunga maggiore è dato dal gas radon, un gas nobile che non reagisce chimicamente, che è molto pesante e che per diffusione si sprigiona dal terreno o dalle rocce con un tenore anche minimo di uranio e di torio, e quindi si trova in tutti i luoghi sotterranei. Il radon è un emettitore alfa e causa danni agli alveoli polmonari.

Il rischio di inalazione è anche dovuto alle polveri, che possono contenere tracce di uranio, torio e discendenti, per cui è necessario munirsi di mascherine filtranti adeguate. Il rischio da inalazione è legato alle dimensioni delle polveri, presentando dei massimi in corrispondenza di diametri del particolato di dimensioni submicrometriche o nanometriche. L'uranio, avendo un decadimento alfa con tempi lunghissimi, di per sé non presenta rischi da irradiazione, dato che il percorso delle particelle alfa in aria è minimo (qualche cm). Chiaramente non bisogna trascurare il rischio chimico, dato che gli elementi pesanti con numeri atomici vicini a quelli dell'uranio sono molto tossici.

Il rischio da ingestione è di norma molto inferiore in quanto dipende dalla contaminazione superficiale, dalla percentuale di contaminazione degli indumenti e dalla probabilità di passaggio di contaminazione vestiti-mani-bocca. Il rischio da contaminazione viene preventivamente monitorato mediante la misura di emettitori alfa/beta in aria e sul materiale da scavo e della radiazione gamma sullo smarino.

#### **4.2 Rischi per l'ambiente**

I rischi per l'ambiente sono rappresentati da contaminazione in aria o in acqua da radionuclidi ovviamente naturali, ma presenti in concentrazioni o attività specifiche superiori al livello medio in un ambiente "normale". Tutte le azioni devono quindi essere rivolte non solo alla minimizzazione della dose ai lavoratori, ma anche ad evitare la dispersione della contaminazione all'esterno del tunnel o all'esterno del cantiere

### **5 Metodi di verifica della presenza di minerali radioattivi in fase di scavo**

In ottemperanza alle prescrizioni CIPE ed alla normativa di riferimento citata, analogamente a quanto avvenuto durante la realizzazione del cunicolo, vengono effettuati numerosi monitoraggi per le diverse componenti interessate sia all'interno che all'esterno del cunicolo.

Le modalità di monitoraggio e i rispettivi limiti di soglia hanno subito alcune variazioni rispetto alla configurazione iniziale a seguito dei dati acquisiti e del confronto con gli Enti di Controllo. Di seguito si riporta una sintesi della struttura di monitoraggio vigente alla data di emissione del presente documento. Per maggiori dettagli si rimanda al documento 04A\_OO-  
-\_0\_Z\_E\_RE\_AM\_0201\_0 *Piano di Gestione Ambientale*.

**Esterno Cunicolo**

Sigla stazione	Parametri misurati	Metodi analitici	Frequenza/luogo di misura
CO-04A-RAD-01	Alfa, beta	Misure di radioattività alfa-beta gamma su filtri contenenti PTS campionate con pompe ad alto volume mediante contatore proporzionale a finestra sottile	Campionamento continuo con flusso di circa 6 l/min. Prelievo del filtro per misure alfa/beta con periodicità settimanale
CO-04A-RAD-01	Gamma	Misure di radioattività alfa-beta gamma su pacchetto mensile di filtri contenenti PTS mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione (catena di rivelazione a HPGe)	Campionamento continuo con flusso di circa 6 l/min. Misure gamma con periodicità mensile.
CO-04A-RAD-02	Gamma	Misure su campioni di smarino di circa 1 kg mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione (catena di rivelazione a HPGe)	Campionamento puntuale sul cumulo formato
CO-04A-RAD-03	Gamma	Misura con sonda a scintillazione su materiale di scavo	Giornaliera sul cumulo di smarino in fase di riempimento
CO-04A-ACQ-RAD-01	Alfa/beta totale	Scintillazione liquida su acque di galleria in ingresso all'impianto di depurazione	Quindicinale
CO-04A-RAD-06	Gamma	Misure su campioni di fanghi disidratati prodotti dall'impianto di depurazione mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione (catena di rivelazione a HPGe)	Campionamento semestrale

**Interno Cunicolo**

Sigla stazione	Parametri misurati	Metodi analitici	Frequenza/luogo di misura
CO-04A-RAD-04	Gamma	Misura con sonda a scintillazione su materiale di scavo	Giornaliera su fronte scavo
CO-04A-RAD-05	Concentrazione Gas Radon	Misure con strumentazione RAD7 - DURRIDGE	Campionamento mensile di 2h (1h a ventilazione spenta e 1h a ventilazione accesa) in prossimità del fronte di scavo

## 6 Misure da adottare e azioni correttive

Nel caso di superamento dei limiti di Intervento (AAA) stabiliti per ciascuna componente monitorata verranno applicate le procedure indicate nel documento 04A\_OO--\_0\_Z\_E\_RE\_AM\_0214\_0 Piano di Lavoro Tipologico in caso di Radiazioni ionizzanti

Le procedure riportate nel documento riguardano nel dettaglio:

- Concentrazione di Gas Radon all'interno del cunicolo
- Irraggiamento Gamma all'interno del cunicolo
- Irraggiamento Gamma sui cumuli di materiale di scavo
- Attività Alfa, Beta e Gamma su PTS
- Concentrazione di Radionuclidi all'interno del materiale di scavo
- Concentrazione di Radionuclidi all'interno del fango filtropressato dell'impianto di depurazione acque
- Attività Alfa e Beta totale nelle acque di venuta del cunicolo

Per ottimizzare la gestione del monitoraggio e le relative azioni di intervento da effettuare in caso di superamento delle soglie adottate è stato elaborato uno schema generale, sotto forma di schema a blocchi, riportato di seguito (vedi fig.8).

### 6.1 Protezione dei lavoratori

Le misure di protezione individuale che verranno adottate in caso di superamento delle soglie sono riportate in dettaglio negli specifici documenti per la Sicurezza dei Lavoratori oltre che nel precedentemente citato Piano di lavoro.

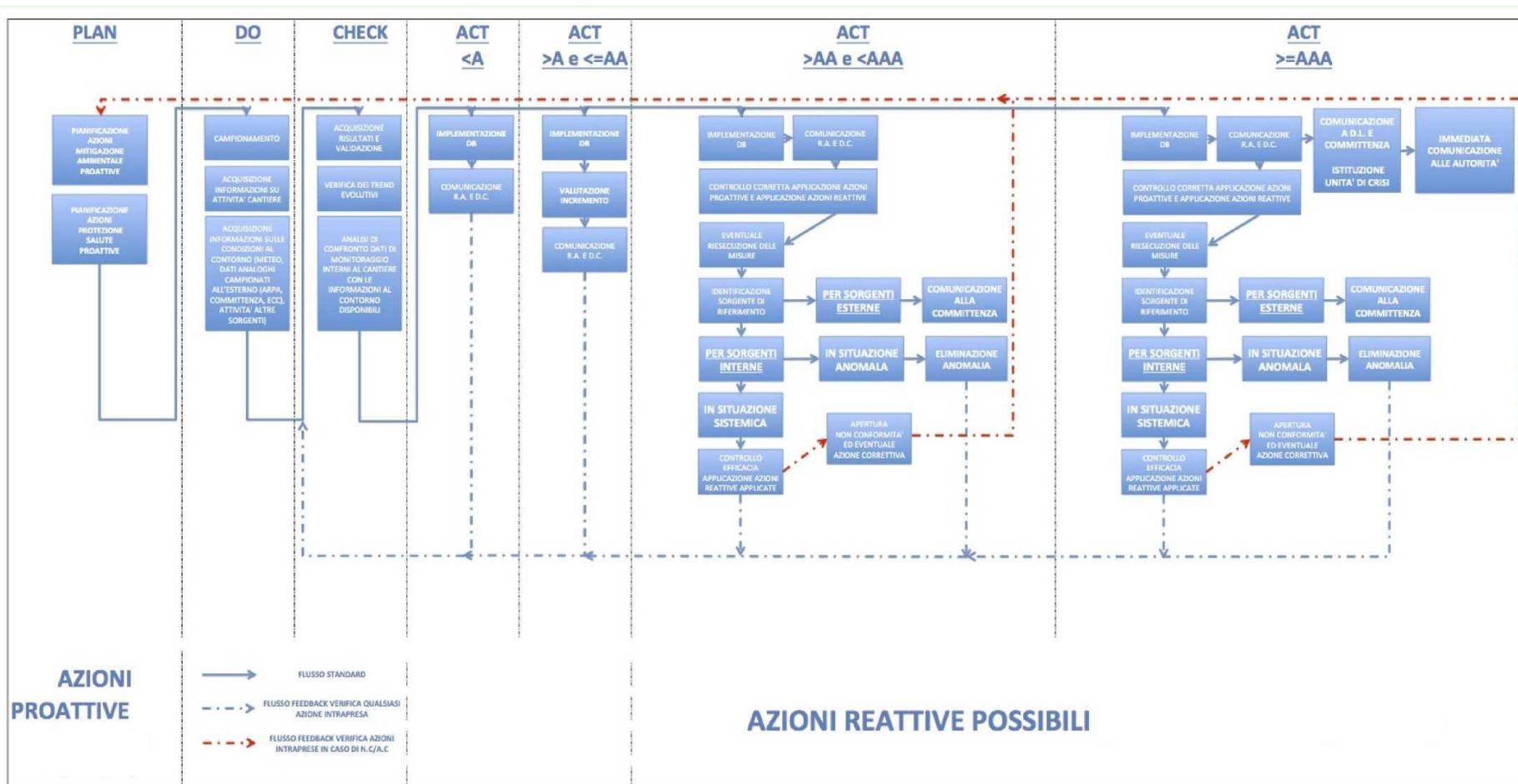


Figura 6 : Schema decisionale delle azioni di intervento in funzione della classificazione delle soglie

## 7 Gestione dei materiali contaminati

La gestione di materiali con concentrazioni superiori ai limiti di Intervento (AAA) stabiliti seguirà le procedure indicate nel documento 04A\_OO--\_0\_Z\_E\_RE\_AM\_0214\_0 *Piano di Lavoro Tipologico* in caso di Radiazioni ionizzanti

Nello specifico le procedure di gestione riportate nel documento riguardano:

- Preparazione del sito di deposito, trasporto e stoccaggio del materiale di scavo con concentrazione di Radionuclidi superiore alle soglie
- Eventuale stoccaggio e scarico di acque di galleria con attività Alfa e Beta totale superiore alle soglie.