

DIPARTIMENTO TEMATICO RADIAZIONI
Struttura Semplice 21.01 – Radiazioni ionizzanti

TITOLO

**Valutazione e comparazione misure di radioattività ambientale condotte da ARPA e
da LTF nella zona interna ed esterna all'area cantiere
Cunicolo esplorativo de "La Maddalena"
Periodo di monitoraggio gennaio 2014 - giugno 2014**

Relazione tecnica n.647/IR

Il sistema di gestione qualità è certificato ISO 9001:2008 da SAI GLOBAL ITALIA

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

INDICE

	pag
1 Premessa	3
2 Sopralluoghi Arpa e misure di radioattività ambientale	3
3 Monitoraggio interno al cantiere - Analisi dei dati di radioattività ambientale e comparazione risultati.	6
3.1 Misure di concentrazione di attività radon in aria.	6
3.2 Misure di rateo di dose gamma e analisi di spettrometria gamma. Cunicolo esplorativo 12	
3.3 Misure di rateo di dose e di spettrometria gamma - cumuli di smarino.	14
3.4 Analisi alfa e beta totale su acque di venuta dal cunicolo esplorativo.	19
4 Monitoraggio esterno al cantiere - Analisi dei dati di radioattività ambientale.	20
4.1 Monitoraggio radon, analisi dei dati.	20
4.2 Il monitoraggio delle particelle aerodisperse, analisi dei dati.	22
4.3 Il monitoraggio delle risorse idriche superficiali, valutazione dei risultati.	27
4.4 Il monitoraggio delle risorse idriche sotterranee, valutazione dei risultati.	30
5 Conclusioni	34
Appendice.....	36

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

1 Premessa

Il presente documento ha per oggetto la verifica del rispetto del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) e del Piano di Gestione Ambientale (PGA) e l'analisi dei dati relativi alla campagna di misure inerenti la componente radiazioni ionizzanti nel periodo da gennaio a giugno 2014.

L'analisi che si riporta di seguito è stata condotta per verificare la congruenza delle misure richieste per quanto riguarda le metodiche strumentali, la conformità alle normative tecniche applicate, nonché la rispondenza delle frequenze e dei periodi di misura a quanto richiesto.

Nella presente relazione vengono riportate e comparate le misure ed i risultati delle analisi di radioattività ambientale, eseguite da LTF e da Arpa Piemonte presso il cantiere del cunicolo esplorativo de "La Maddalena" - Nuova linea ferroviaria Torino Lione; sono inoltre analizzati i dati del monitoraggio esterno trasmessi da LTF.

2 Sopralluoghi Arpa e misure di radioattività ambientale

Nel periodo gennaio – giugno 2014, i tecnici del Dipartimento Tematico radiazioni hanno effettuato presso il cantiere i seguenti sopralluoghi:

- ❖ in data 22/01/2014 (verbale n.2/IV/2014), nel corso del quale sono state eseguite:
 - misure di concentrazione di attività radon entro il cunicolo tramite sostituzione di n.5 dosimetri passivi a tracce a: Pk 0 + 120 m, Pk 0 + 130 m, Pk 0 + 145 m, Pk 0 + 180 m, Pk 0 +195 m - posizionamento di un nuovo dosimetro a Pk 0 + 250 m;
 - misure di rateo di dose gamma all'interno del cunicolo e sul cumulo di smarino (cumulo 10 - piazzola P3) con comparazione dei valori acquisiti da Arpa con lo scintillatore plastico "Automess" e quelli registrati da CMC con rateometro "Atomtex" (vedi relazione tecnica 632/IR/2014);
 - prelievo di un campione di acqua di venuta dalla zona di scavo del cunicolo, a circa Pk 0 + 250 m, per analisi di attività alfa e beta totale.
- ❖ in data 20/02/2014 (verbale n.6/IV/2014), nel corso del quale sono state eseguite:

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

- misure di concentrazione di attività radon entro il cunicolo tramite sostituzione di n.5 dosimetri passivi a tracce a: Pk 0 + 120 m, Pk 0 + 130 m, Pk 0 + 145 m, Pk 0 + 180 m, Pk 0 + 195 m - posizionamento nuovi dosimetri a: Pk 0 + 275 m, Pk 0 + 310 m, Pk 0 + 360 m;
- misure di rateo di dose gamma all'interno del cunicolo e sul cumulo di smarino (cumulo 13 – piazzola P2) dal quale si è prelevato un campione per analisi di spettrometria gamma;
- ❖ in data 24/03/2014 (verbale n.9/IV/2014), nel corso del quale sono state eseguite:
 - misure di concentrazione di attività radon entro il cunicolo con sostituzione di n.7 dosimetri a: Pk 0 + 120 m, Pk 0 + 130 m, Pk 0 + 145 m, Pk 0 +180 m, Pk 0 +275 m, Pk 0 +310 m, Pk 0 +360 m - posizionamento di n.3 nuovi dosimetri a: Pk 0 + 460 m, sulla TBM in prossimità del geiger e nella zona di passaggio nastri 2 e 3;
 - misure di rateo di dose gamma all'interno del cunicolo e sul cumulo di smarino (cumulo 14 – piazzola P3) dal quale si è prelevato un campione per analisi di spettrometria gamma;
- ❖ in data 28/04/2014 (verbale n.11/IV/2014), nel corso del quale sono state eseguite:
 - misure di concentrazione di attività radon entro il cunicolo con sostituzione di n.4 dosimetri a: Pk 0+ 120 m, Pk 0+ 145 m, Pk 0 + 180 m, Pk 0+ 310 m - posizionamento di n.2 nuovi dosimetri: a Pk 0+ 440 m e sulla piattaforma di coda della TBM;
 - misure di rateo di dose gamma all'interno del cunicolo e sul cumulo di smarino (cumulo 17 – piazzola P2) dal quale si è prelevato un campione per analisi di spettrometria gamma;

Nel corso del sopralluogo si è verificato che in testa alla TBM è stato collocato anche un monitore “Pylon” per misure in continuo di radon in prossimità della zona di scavo. Attualmente, i dati acquisiti dal sensore vengono solo visualizzati sul pannello di controllo della TBM; è in corso la messa a punto di un sistema di estrazione dei dati per la loro trasmissione ad ARPA.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Si è inoltre verificata la nuova collocazione della stazione A5.4-1 per il monitoraggio radon presso il fabbricato adibito ad uffici Direzione Lavori LTF (area cantiere – Località “La Maddalena”).

❖ in data 30/05/2014 (verbale n.12/IV/2014), nel corso del quale sono state eseguite:

- misure di concentrazione di attività radon entro il cunicolo con sostituzione di n.6 dosimetri a: Pk 0 +120 m, a Pk 0 + 145 m, a Pk 0 + 440 m, in prossimità del geiger collocato sulla TBM (a Pk 0 + 815 m), sulla TBM nella zona di passaggio nastri trasportatori dello smarino 2 e 3 (a Pk 0 + 750 m), sulla piattaforma in coda alla TBM (a Pk 0 + 605 m) - posizionamento di n.3 nuovi dosimetri: a Pk 0 + 195 m, in cabina di comando della TBM (a Pk 0 +821 m) e nella zona di caduta smarino sulla TBM (a Pk 0 + 791 m);
- misure di rateo di dose gamma all'interno del cunicolo e sul cumulo di smarino (cumulo 20 – piazzola P3) dal quale si è prelevato un campione per analisi di spettrometria gamma;

Inoltre, a seguito del cambiamento della collocazione del geiger sulla TBM, sono state effettuate misure in doppio di rateo di dose gamma per verificare la corrispondenza tra i rilievi Arpa (scintillatore plastico Automess) e quelli eseguiti da CMC (geiger).

❖ in data 24/06/2014 (verbale n.14/IV/2014), nel corso del quale sono state eseguite:

- misure di concentrazione di attività radon entro il cunicolo con sostituzione di n.5 dosimetri collocati sulla TBM: in prossimità del geiger (a Pk 0 + 945 m), nella zona di passaggio dei nastri trasportatori 2 e 3 dello smarino (a Pk 0 + 883 m), sulla piattaforma in coda (Pk 0 + 745m), entro la cabina di comando (Pk 0 +950 m) e nella zona di caduta dello smarino (Pk 0 +932).
- Misure in doppio di rateo di dose gamma all'interno del cunicolo da Arpa con lo scintillatore plastico Automess, e da CMC con il rateometro Atomtex e con il Geiger-Mueller sulla TBM (la TBM durante l'acquisizione della misura non era in funzione).

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

- misure in doppio di rateo di dose gamma sui cumuli di smarino con scintillatore plastico Automess (Arpa) e rateometro Atomtex (CMC).
- misure in doppio di rateo di dose gamma, con scintillatore plastico Automess (Arpa) e rateometro Atomtex (CMC), acquisite a varie distanze da una sorgente puntiforme di Cs-137 con attività nota.
- prelievo di due campioni di smarino per analisi di spettrometria gamma rispettivamente dal cumulo 21 – Piazzola di riempimento P2 e dal cumulo 22 – Piazzola di riempimento P1 (smarino più recente).

3 Monitoraggio interno al cantiere - Analisi dei dati di radioattività ambientale e comparazione risultati.

3.1 Misure di concentrazione di attività radon in aria.

Le misure di concentrazione di attività radon rivelate all'interno del cunicolo esplorativo de "la Maddalena" e finalizzate alla tutela dei lavoratori sono state effettuate da Arpa utilizzando dei dosimetri passivi a tracce (figure 1 e 2) collocati a Pk crescenti e sulla struttura mobile di testa della TBM, con lo scopo di monitorare la concentrazione radon in funzione dell'avanzamento della fresa (tabella 1).



Figura 1: immagine di un dosimetro passivo a tracce: sono visibili il telaio del dosimetro (plastica bianca conduttiva) e la parte sensibile alle radiazioni, il rivelatore CR39 (plastica trasparente).

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

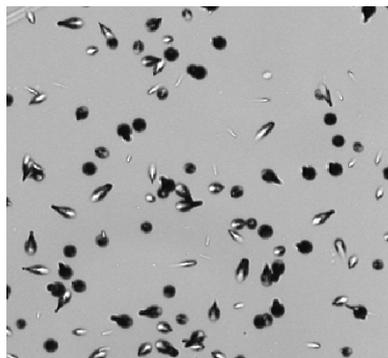


Figura 2: immagini, (ingrandite al microscopio) delle tracce lasciate dalle particelle alfa sul rivelatore CR39

La misura con i dosimetri ARPA è stata ottenuta mediante il conteggio delle tracce lasciate dalle particelle alfa che attraversano il rivelatore: le particelle alfa interagendo con il materiale plastico rilasciano la propria energia generando una rottura dei legami molecolari che si manifesta poi in una traccia visibile al microscopio.

DOSIMETRI ARPA POSIZIONATI SULLA TBM	
dosimetro c/o il Geiger CMC/LTF	
Data posizionamento dosimetro	Progressive kilometro (Pk)
24/03/2014	0 + 460 m
30/05/2014	0 + 815 m
24/06/2014	0 + 944 m
dosimetro c/o passaggio nastri smarino	
Data posizionamento dosimetro	Progressive kilometro (Pk)
24/03/2014	0 + 390 m
30/05/2014	0 + 750 m
24/06/2014	0 + 883 m
dosimetro in coda alla TBM	
Data posizionamento dosimetro	Progressive kilometro (Pk)
28/04/2014	0 + 375 m
30/05/2014	0 + 605 m
24/06/2014	0 + 745 m
dosimetro entro la cabina comandi	
Data posizionamento dosimetro	Progressive kilometro (Pk)
30/05/2014	0 + 821 m
24/06/2014	0 + 950 m
dosimetro c/o la zona di caduta dello smarino	
Data posizionamento dosimetro	Progressive kilometro (Pk)
30/05/2014	0 + 791 m
24/06/2014	0 + 932 m

Tabella 1: distanze percorse dai dosimetri Arpa posizionati lungo la struttura della TBM

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

MISURE ARPA DI CONCENTRAZIONE RADON (CRn) ENTRO IL CUNICOLO ESPLORATIVO				
Punto Esposizione	Data inizio esposizione	Data fine esposizione	CRn	S_{CRn}
			(Bq/m³)	
1 - Pk 0 + 120 m	18/12/13	22/01/14	114	15
2 - Pk 0 + 130 m	18/12/13	22/01/14	101	14
3 - Pk 0 + 145 m	18/12/13	22/01/14	89	18
4 - Pk 0 + 180 m	18/12/13	22/01/14	108	15
5 - Pk 0 + 195 m	18/12/13	22/01/14	115	15
1 - Pk 0 + 120 m	22/01/14	20/02/14	51	13
2 - Pk 0 + 130 m	22/01/14	20/02/14	55	14
3 - Pk 0 + 145 m	22/01/14	20/02/14	38	13
4 - Pk 0 + 180 m	22/01/14	20/02/14	108	22
5 - Pk 0 + 195 m	22/01/14	20/02/14	73	14
1 - Pk 0 + 120 m	20/02/14	24/03/14	32	12
2 - Pk 0 + 130 m	20/02/14	24/03/14	52	13
3 - Pk 0 + 145 m	20/02/14	24/03/14	63	14
4 - Pk 0 + 180 m	20/02/14	24/03/14	40	12
6 - Pk 0 + 275 m	20/02/14	24/03/14	45	13
7 - Pk 0 + 310 m	20/02/14	24/03/14	82	15
8 - Pk 0 + 360 m	20/02/14	24/03/14	166	21
1 - Pk 0 + 120 m	24/03/14	28/04/14	40	12
2 - Pk 0 + 130 m	24/03/14	28/04/14	58	14
3 - Pk 0 + 145 m	24/03/14	28/04/14	41	12
4 - Pk 0 + 180 m	24/03/14	28/04/14	61	13
5 - Pk 0 + 195 m	20/02/14	28/04/14	55	12
7 - Pk 0 + 310 m	24/03/14	28/04/14	34	11
1 - Pk 0 + 120 m	28/04/14	30/05/14	52	13
3 - Pk 0 + 145 m	28/04/14	30/05/14	41	12
4 - Pk 0 + 180 m	28/04/14	30/05/14	38	12
7 - Pk 0 + 310 m	28/04/14	30/05/14	33	13
9 - Pk 0 + 410 m	24/03/14	30/05/14	45	11
10 - geiger su TBM	24/03/14	30/05/14	39	7
11 - TBM passaggio nastri 2 e 3	24/03/14	30/05/14	56	8
12 - Pk 0 + 440 m	28/04/14	30/05/14	35	12
13 - piattaforma in coda TBM	28/04/14	30/05/14	33	12
10 - geiger su TBM	30/05/14	24/06/14	90	19
11 - TBM passaggio nastri 2 e 3	30/05/14	24/06/14	48	16
13 - piattaforma in coda TBM	30/05/14	24/06/14	39	16
14 - cabina comandi TBM	30/05/14	24/06/14	53	17
15 - zona caduta smarino TBM	30/05/14	24/06/14	61	17

Tabella 2: misure ARPA di concentrazione di attività radon

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

CANTIERE DEL CUNICOLO ESPLORATIVO DELLA MADDALENA - VIA DELL'AVANA' - CHIOMONTE (TO) DATA 30/05/2014

RISULTATI DELLE MISURE DI CONCENTRAZIONE DI RADON EFFETTUATE NEL CUNICOLO

Dosimetro	Data posizionamento elettretti	Data prelevamento elettretti	AREA DI LAVORO MONITORATA	Pk (km + m)	RnC (Bq/m3)	LIMITE DI SORVEGLIANZA	LIMITE DI ATTENZIONE	LIMITE DI INTERVENTO	UNITA' DI MISURA	
PERM 1	17/07/2013	30/07/2013	CASSERO	0 + 131 m	48	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	30/07/2013	20/08/2013	CASSERO	0 + 131 m	123	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	20/08/2013	11/09/2013	CASSERO	0 + 131 m	91	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	11/09/2013	04/10/2013	AVANZAMENTO	0 + 131 m	152	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	04/10/2013	04/11/2013	AVANZAMENTO	0 + 131 m	43	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	04/11/2013	21/11/2013	AVANZAMENTO	0 + 131 m	57	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	21/11/2013	03/12/2013	AVANZAMENTO	0 + 131 m	38	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	03/12/2013	20/12/2013	AVANZAMENTO	0 + 131 m	71	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	20/12/2013	10/01/2014	AVANZAMENTO	0 + 131 m	111	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	10/01/2014	23/01/2014	AVANZAMENTO	0 + 283 m		150	300	400	Bq/m3	invalidato
PERM 1	30/01/2014	07/02/2014	AVANZAMENTO	0 + 283 m	146	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	07/02/2014	14/02/2014	AVANZAMENTO	0 + 313 m	133	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	14/02/2014	21/02/2014	AVANZAMENTO	0 + 345 m	122	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	21/02/2014	03/03/2014	AVANZAMENTO	0 + 367 m		150	300	400	Bq/m3	invalidato
PERM 1	03/03/2014	07/03/2014	AVANZAMENTO	0 + 367 m	134	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	07/03/2014	14/03/2014	AVANZAMENTO	0 + 419 m	267	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	14/03/2014	17/03/2014	AVANZAMENTO	0 + 431 m	172	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	17/03/2014	21/03/2014	AVANZAMENTO	0 + 431 m	127	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	21/03/2014	28/03/2014	AVANZAMENTO	0 + 435 m	104	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	28/03/2014	11/04/2014	AVANZAMENTO	0 + 470 m	266	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	11/04/2014	24/04/2014	AVANZAMENTO	0 + 502 m	61	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	24/04/2014	07/05/2014	AVANZAMENTO	0 + 505 m	42	150	300	400	Bq/m3	
PERM 1	07/05/2014	30/05/2014	AVANZAMENTO	0 + 633 m	65	150	300	400	Bq/m3	

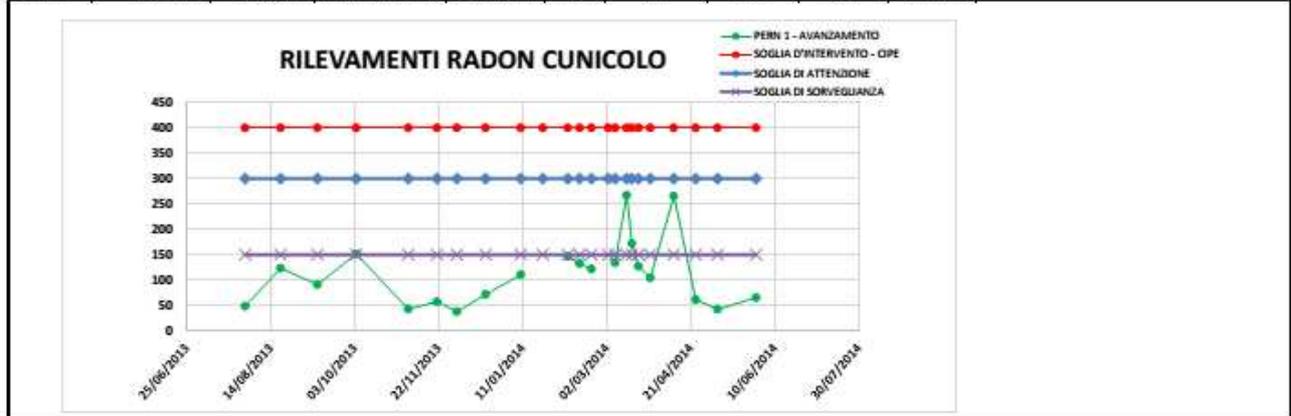


Tabella 3: misure CMC di concentrazione di attività radon

I dati ottenuti sono in linea generale comparabili. In particolare, la comparazione tra i dati Arpa e CMC è stata effettuata confrontando il valor medio di concentrazione (valore pesato sui tempi di esposizione dei dosimetri E-perm nel periodo dal 21/02/2014 al 28/03/2014) con il dato misurato nel periodo dal 20/02/2014 al 24/03/2014 a Pk 0 + 360 m da Arpa: i valori medi di concentrazione sono risultati identici e pari a 166 Bq/m³. Le differenze puntuali tra i valori di concentrazione rivelati da Arpa e da CMC sono attribuibili alla diversa collocazione dei dosimetri nel cunicolo ed alla diversa metodologia di misurazione.

Da sottolineare il fatto che i valori rilevati nella zona di scavo siano risultati sempre molto al di sotto del livello d'azione di 500 Bq/m³ fissato dalla normativa in materia (D.Lvo

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

230/95 e s.m.i); in soli due casi del semestre gennaio – giugno 2014, le misure rivelate da CMC hanno fatto registrare dei valori di radon superiori a 150 Bq/m^3 (soglia di sorveglianza radon stabilita inizialmente da LTF nel documento “Linee guida in caso di materiale radioattivo al fronte”). Nel Report sulle misure del mese di marzo redatto dall'Esperto Qualificato (Prof. Manfredotti) si sottolinea il valore di 267 Bq/m^3 si è stato registrato a Pk 0 + 491 m nel periodo di misura dal 07/03/2014 al 14/03/2014 e che CMC ha effettuato dei controlli sui dati acquisiti utilizzando un monitor in continuo “RAD 7” ottenendo su due ore di misure a ventilazione spenta e accesa rispettivamente valori pari a 248 Bq/m^3 e 155 Bq/m^3 , in buon accordo con quanto misurato dei dosimetri passivi. Il dato acquisito a Pk 0 + 431 m con i dosimetri tipo E-perm nel periodo dal 14/03/2014 – 17/03/2014 ha nuovamente fatto registrare un valore superiore alla soglia, pari a 172 Bq/m^3 . Dopo aver inviato comunicazione all'Arpa si è provveduto a incrementare la ventilazione nel tunnel, ottenendo nella rivelazione successiva a Pk 0 + 431 m (periodo di misura dal 17/03/2014 al 21/03/2014) una concentrazione radon di 127 Bq/m^3 .

Nel Report di Aprile dell'E.Q. è segnalato un dato pari a 266 Bq/m^3 rivelato a Pk 0 + 502 m nel periodo dal 28/03/2014 al 11/04/2014: tale dato è stato poi invalidato perché il dosimetro è stato trovato ricoperto di polvere.

Inoltre, sempre nel Report di cui sopra è stato comunicato che nei primi giorni del mese di marzo è stato collocato, in prossimità della testa della TBM, un monitor “Pylon” per la misura in continuo della concentrazione radon. I dati acquisiti dal sensore al momento risultano solo visualizzabili sul pannello di controllo della TBM. E' a tutt'oggi in corso la messa a punto del sistema di estrazione dei dati. L'E.Q. riporta nei Report di aprile e di maggio che il valore medio rilevato tramite tale sensore si mantiene sui $60 - 70 \text{ Bq/m}^3$, valore che risultano in accordo con quelli misurati tramite i dosimetri passivi sia da Arpa che da CMC nello stesso periodo di misura.

Dal punto di vista procedurale si segnala infine la variazione della soglia di sorveglianza per la concentrazione di attività di radon entro la zona di scavo: con lettera Prot. Arpa n.31033 del 11/04/2014 è stato approvato l'innalzamento, proposto da LTF, del precedente limite (150 Bq/m^3) a 200 Bq/m^3 .

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

3.2 Misure di rateo di dose gamma e analisi di spettrometria gamma. Cunicolo esplorativo

Nella fase iniziale di scavo con la TBM, le misure di rateo di dose gamma, all'interno del cunicolo esplorativo, sono state rilevate da CMC tramite un rateometro tipo "Atomtex". Il monitoraggio è stato fatto con acquisizioni multiple giornaliere in tre punti nella sezione del cunicolo sul fronte di scavo (figura 4); in figura 5 sono riportati i valori medi giornalieri di rateo di dose misurati nel periodo dal 02/01/2014 al 14/02/2014.

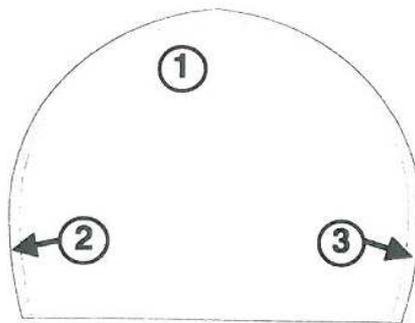


Figura 4: punti di monitoraggio sul fronte scavo

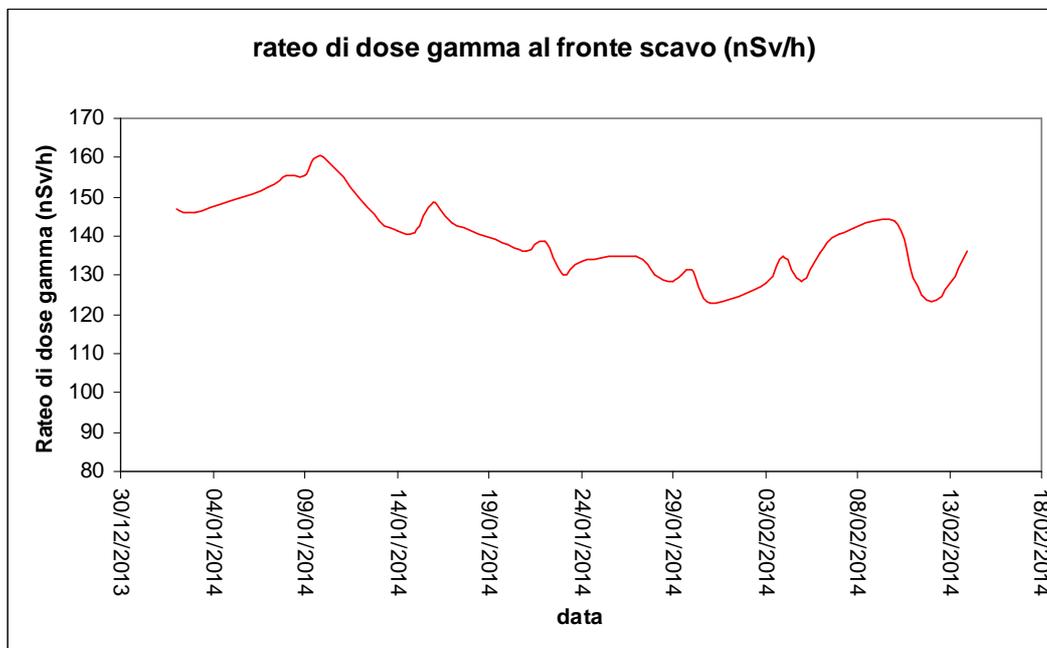


Figura 5: rateo di dose gamma rivelate al fronte scavo con rateometro Atomtex (output strumentale)

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Dal 10/02/2014 il monitoraggio si è svolto in continuo tramite un Geiger – Mueller “Guardian Ray” posizionato sulla TBM in prossimità della cabina di comando.

Il grafico di figura 6 mostra l’andamento dei valori di rateo di dose rivelati dal geiger nel periodo febbraio – giugno 2014.

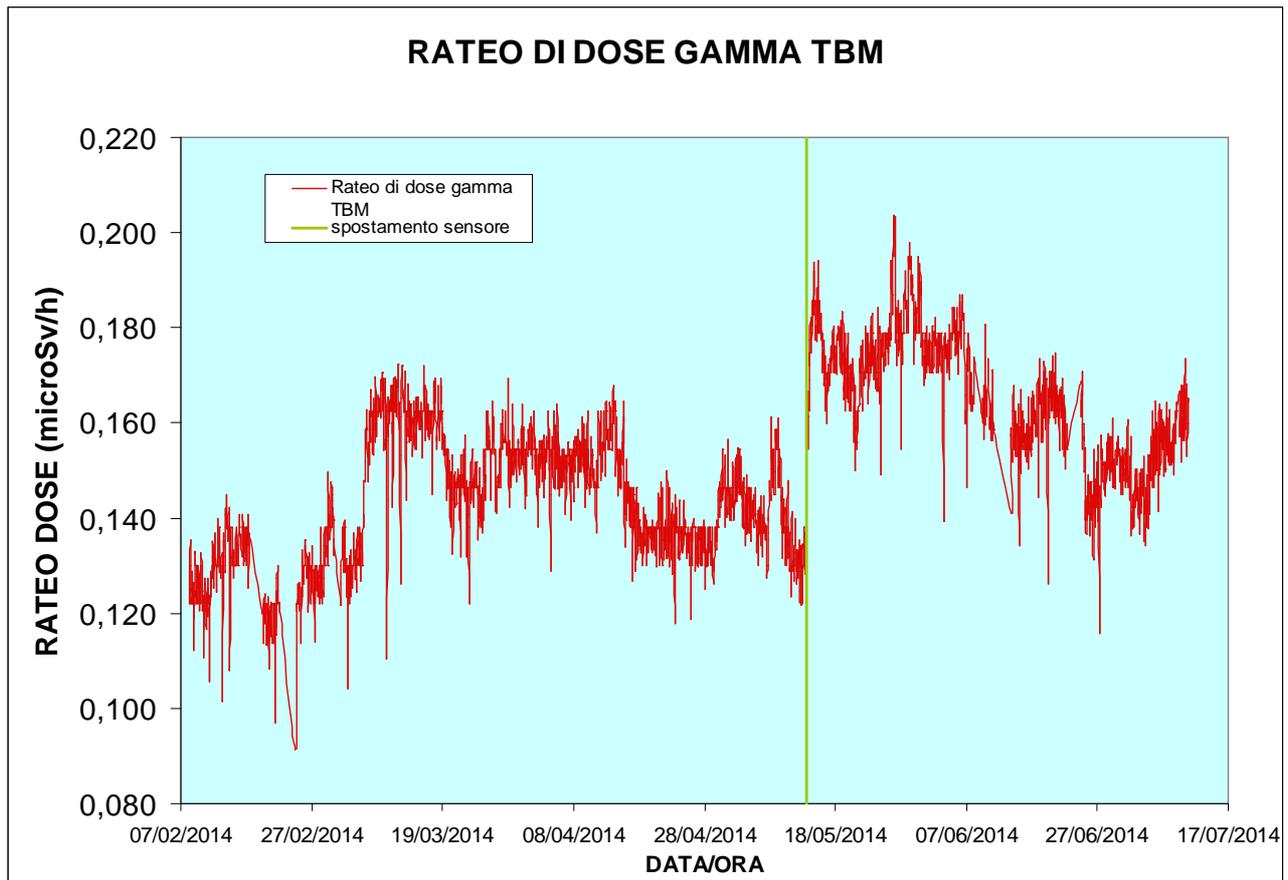


Figura 6:andamento temporale del rateo di dose gamma- interno cunicolo (output strumentale)

Nel grafico, la riga verde verticale corrisponde al cambiamento della posizione del Geiger sulla TBM (si veda al paragrafo 2) in un punto più idoneo alle misure.

La nuova collocazione dello strumento, a causa di una riduzione della schermatura da parte della struttura metallica della TBM stessa, ha fatto registrare un leggero incremento dei valori di rateo di dose, che comunque restano tutti inferiori al limite di sorveglianza, pari a 250 nSv/h (lettera Prot . Arpa n.31033 del 11/04/2014).

I risultati delle rilevazioni di rateo di dose gamma fatte da LTF all'interno del cunicolo e sul materiale di scavo sono stati controllati con misure in doppio (verbali Arpa n.12/IR/2014 del 30/05/2014 e n.14/IR/2014 del 24/06/2014). I dati di output strumentale sia dello strumento "Atomtex" che del Geiger posto sul fronte di scavo devono essere opportunamente corretti per allinearli a corrette condizioni di taratura. I valori dei fattori correttivi da impiegare sono, rispettivamente:

- $F_c^{geiger\ medio} = 0,9$ per i valori di dose misurati dal Geiger-Mueller sulla TBM nel cunicolo;
- $F_c^{Atomtex\ cunicolo} = 0,95$ per i valori di dose misurati dal rateometro Atomtex nel cunicolo;
- $F_c^{Atomtex\ smarino} = 1,3$ per i valori di rateo di dose misurati dall'Atomtex sui cumuli di smarino, dopo aver sottratto il fondo.

Per il dettaglio dei calcoli e delle valutazioni si veda l'appendice

Questi fattori correttivi sono stati dedotti a partire dal confronto dei valori sperimentali misurati da Arpa e da CMC sui cumuli di smarino e all'interno del cunicolo

I rilievi radiometrici eseguiti da Arpa dentro il cunicolo, i cui risultati sono stati riportati nei verbali di sopralluogo, sono risultati compatibili, entro l'incertezza di misura, con i rilievi effettuati da CMC e non hanno evidenziato alcuna criticità.

3.3 Misure di rateo di dose e di spettrometria gamma - cumuli di smarino.

La radioattività sul materiale di scavo viene controllata giornalmente da CMC con misure di rateo di dose sui cumuli di smarino mentre, mensilmente, Arpa effettua prelievi di smarino per analisi più approfondite di spettrometria gamma, volte alla determinazione della concentrazione di attività dei principali radionuclidi contenuti. I valori medi giornalieri di rateo di dose trasmessi da CMC (media su tre acquisizioni giornaliere con il rateometro portatile Atomtex) sono riportati nel grafico di figura 7.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

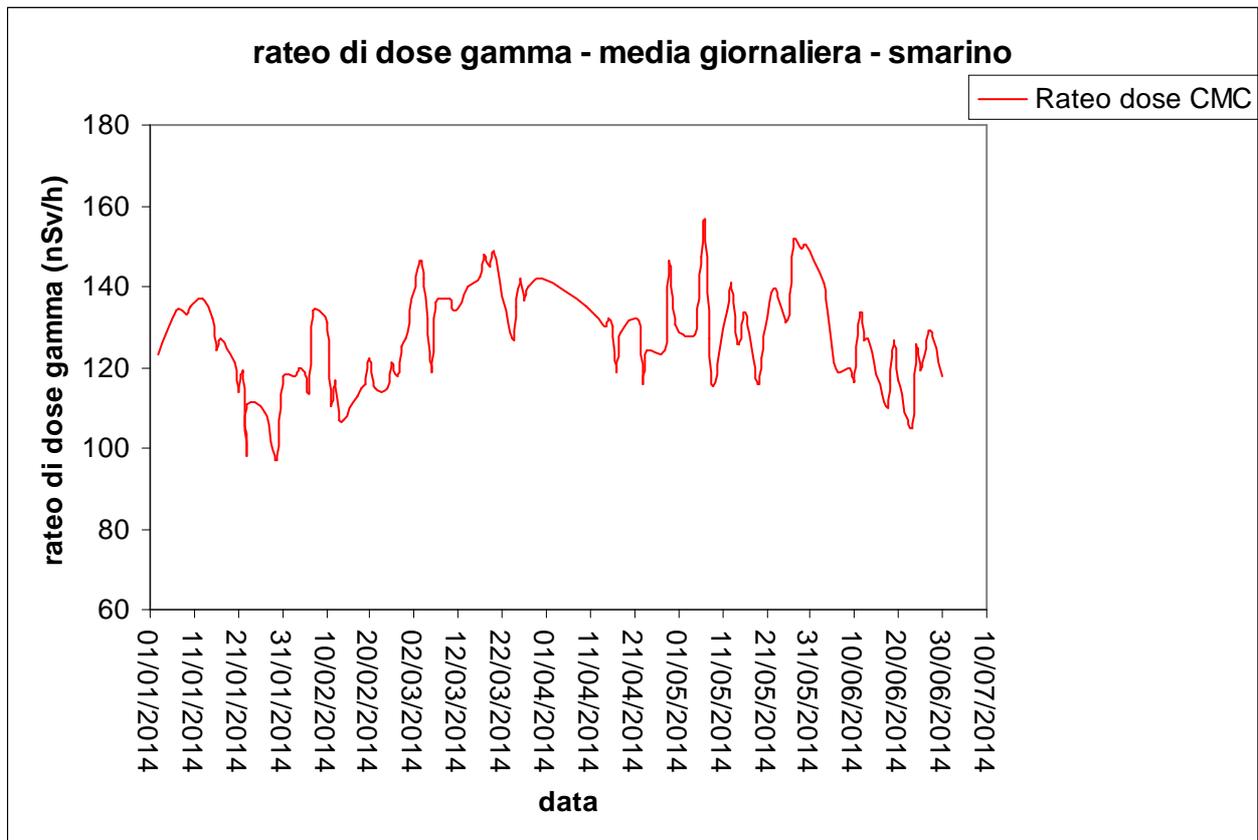


Figura 7: curva dei valori medi giornalieri di rateo di dose gamma acquisiti da CMC sullo smarino

Il grafico evidenzia come i valori di rateo rivelati sui cumuli di smarino siano nella norma: si tratta di livelli tipici di materiali a medio-basso contenuto di radioattività, come mostrato nelle tabelle 4, 5, 6, 7, 8 e 9, che riassumono i dati di concentrazione di attività dei principali radionuclidi, presenti nel materiale roccioso. Le concentrazioni di attività riportate nelle tabelle di cui sopra sono ottenute da Arpa tramite analisi di spettrometria gamma eseguite sui campioni di smarino (Metodo Interno U.R.P. M827-rev.5:2014).

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Prelievo del 20/02/2014 – Analisi effettuata da Arpa		
Spettrometria gamma su campione di smarino da cumulo 13 –Piazzola P2 (Media Rateo dose gamma 115 nSv/h)		
Serie	Radionuclide	Concentrazione di attività Bq/kg (incertezza 2s)
²³⁸ U	²³⁴ Pam	7,03E+1 ± 3,31E+1
	²²⁶ Ra	5,25E+1 ± 1,1E+00
	²¹⁴ Pb	4,55E+1 ± 6,9E+00
	²¹⁴ Bi	4,08E+1 ± 5,6E+00
	²¹⁰ Pb	/
	²¹⁰ Po	/
²³² Th	²²⁸ Ac	4,79E+1 ± 6,2E+00
	²¹² Pb	5,36E+1 ± 8,7E+00
	²¹² Bi	3,38E+1 ± 5,4E+00
	²⁰⁸ Tl	1,55E+1 ± 2,2E+00
²³⁵ U	²³⁵ U	< 7,67E-1
	⁴⁰ K	1,14E+3 ± 1,3E+2

Tabella 4:analisi di spettrometria gamma su un campione di smarino – prelievo del 20/02/2014

Prelievo del 24/03/2014 – Analisi effettuata da Arpa		
Spettrometria gamma su campione di smarino da cumulo 14 –Piazzola P3 (Media Rateo dose gamma 185 nSv/h)		
Serie	Radionuclide	Concentrazione di attività Bq/kg (incertezza 2s)
²³⁸ U	²³⁴ Pam	8,04E+1 ± 3,58E+1
	²²⁶ Ra	6,71E+1 ± 8,8E+00
	²¹⁴ Pb	6,91E+1 ± 7,5E+00
	²¹⁴ Bi	6,75E+1 ± 6,7E+00
	²¹⁰ Pb	/
	²¹⁰ Po	/
²³² Th	²²⁸ Ac	4,11E+1 ± 4,2E+00
	²¹² Pb	4,33E+1 ± 5,0E+00
	²¹² Bi	2,66E+1 ± 5,0E+00
	²⁰⁸ Tl	1,41E+1 ± 1,5E+00
²³⁵ U	²³⁵ U	< 8,30E-1
	⁴⁰ K	9,23E+2 ± 8,0E+1

Tabella 5:analisi di spettrometria gamma su un campione di smarino – prelievo del 24/03/2014

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Prelievo del 28/04/2014– Analisi effettuata da Arpa Spettrometria gamma su campione di smarino da cumulo 17–Piazzola P2 (Media Rateo dose gamma 227 nSv/h)		
Serie	Radionuclide	Concentrazione di attività Bq/kg (incertezza 2s)
²³⁸ U	²³⁴ Pam	7,02E+1 ± 4,67E+1
	²²⁶ Ra	2,51E+1 ± 4,6E+00
	²¹⁴ Pb	3,14E+1 ± 3,6E+00
	²¹⁴ Bi	3,21E+1 ± 3,5E+00
	²¹⁰ Pb	/
	²¹⁰ Po	/
²³² Th	²²⁸ Ac	4,53E+1 ± 4,8E+00
	²¹² Pb	4,51E+1 ± 5,5E+00
	²¹² Bi	3,87E+1 ± 5,0E+00
	²⁰⁸ Tl	1,55E+1 ± 1,7E+00
²³⁵ U	²³⁵ U	6,92E-1 ± 4,09E-1
	⁴⁰ K	1,20E+3 ± 1,1E+2

Tabella 6:analisi di spettrometria gamma su un campione di smarino – prelievo del 28/04/2014

Prelievo del 30/05/2014– Analisi effettuata da Arpa Spettrometria gamma su campione di smarino da cumulo 20 – Piazzola P3 (Media Rateo dose gamma 230 nSv/h)		
Serie	Radionuclide	Concentrazione di attività Bq/kg (incertezza 2s)
²³⁸ U	²³⁴ Pam	6,21E+1 ± 2,54E+1
	²²⁶ Ra	4,19E+1 ± 6,0E+00
	²¹⁴ Pb	3,93E+1 ± 4,7E+00
	²¹⁴ Bi	3,56E+1 ± 3,9E+00
	²¹⁰ Pb	/
	²¹⁰ Po	/
²³² Th	²²⁸ Ac	4,49E+1 ± 4,6E+00
	²¹² Pb	4,85E+1 ± 6,2E+00
	²¹² Bi	3,02E+1 ± 3,4E+00
	²⁰⁸ Tl	1,49E+1 ± 1,6E+00
²³⁵ U	²³⁵ U	< 3,45E-1
	⁴⁰ K	1,36E+3 ± 1,3E+2

Tabella 7:analisi di spettrometria gamma su un campione di smarino – prelievo del 30/05/2014

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Prelievo del 24/06/2014– Analisi effettuata da Arpa		
Spettrometria gamma su campione di smarino da cumulo 21 piazzola P2 (Media rateo dose gamma 207 nSv/h)		
Serie	Radionuclide	Concentrazione di attività Bq/kg (incertezza 2s)
²³⁸ U	²³⁴ Pam	< 3,04E+1
	²²⁶ Ra	3,21E+1 ± 4,9E+00
	²¹⁴ Pb	3,71E+1 ± 4,7E+00
	²¹⁴ Bi	3,60E+1 ± 4,2E+00
	²¹⁰ Pb	/
	²¹⁰ Po	/
²³² Th	²²⁸ Ac	4,52E+1 ± 4,9E+00
	²¹² Pb	4,73E+1 ± 6,3E+00
	²¹² Bi	3,07E+1 ± 4,3E+00
	²⁰⁸ Tl	1,59E+1 ± 1,9E+00
²³⁵ U	²³⁵ U	4,23E-1 ± 2,59E-1
	⁴⁰ K	9,92E+2 ± 9,7E+1

Tabella 8:analisi di spettrometria gamma campione di smarino - prelievo del 24/06/2014

Prelievo del 24/06/2014– Analisi effettuata da Arpa		
Spettrometria gamma su campione di smarino cumulo 22 piazzola P1 (Media rateo di dose gamma 203 nSv/h)		
Serie	Radionuclide	Concentrazione di attività Bq/kg (incertezza 2s)
²³⁸ U	²³⁴ Pam	4,11E+1 ± 2,5E+00
	²²⁶ Ra	3,00E+1 ± 4,5E+00
	²¹⁴ Pb	3,19E+1 ± 3,9E+00
	²¹⁴ Bi	3,17E+1 ± 3,6E+00
	²¹⁰ Pb	/
	²¹⁰ Po	/
²³² Th	²²⁸ Ac	4,00E+1 ± 4,3E+00
	²¹² Pb	4,11E+1 ± 5,4E+00
	²¹² Bi	2,93E+1 ± 4,3E+00
	²⁰⁸ Tl	1,36E+1 ± 1,5E+00
²³⁵ U	²³⁵ U	< 3,93E-1
	⁴⁰ K	9,30E+2 ± 8,9E+1

Tabella 9:analisi di spettrometria gamma campione di smarino - prelievo del 24/06/2014

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

3.4 Analisi alfa e beta totale su acque di venuta dal cunicolo esplorativo.

Il controllo sui valori di radioattività delle acque di venuta dalla zona di scavo è stato fatto da Arpa in data 22/01/2014, impiegando il metodo della scintillazione liquida per la misura dell'attività alfa e beta totale (Metodo UNI 11260 –U.R.P.M805).

I risultati dell'analisi sono riportati nella tabella 10.

Acqua di venuta - cunicolo esplorativo Misure Arpa		
Data prelievo	Attività alfa Totale	Attività Beta Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
22/01/2014	0,017 ± 0,014	< 0,097

Tabella 10:determinazione alfa e beta totale su acque di venuta dal cunicolo esplorativo

I valori misurati sono stati confrontati con le analisi alfa e beta totale eseguite da CMC a tutt'oggi disponibili. La tabella 11 riporta i risultati dell'analisi di un campione di acqua prelevato in data 03/12/2013 dalla vasca di ingresso al depuratore, dove vengono convogliate le acque provenienti dalla galleria.

Acqua di venuta - cunicolo esplorativo Misure CMC		
Data prelievo	Attività alfa Totale	Attività Beta Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
03/12/2013	<0,200	< 0,285

Tabella 11: attività alfa e beta totale su acque di venuta dal cunicolo esplorativo – Misure CMC

I campioni analizzati Arpa e CMC hanno fornito valori di alfa e beta totale confrontabili e inferiori ai valori di *screening* (0,5 Bq/l per l'alfa totale e 1 Bq/l per il beta totale).

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

4 Monitoraggio esterno al cantiere - Analisi dei dati di radioattività ambientale.

4.1 Monitoraggio radon, analisi dei dati.

Il monitoraggio del radon outdoor viene eseguito da LTF con misure acquisite in continuo presso la stazione A5.4 (Comune di Chiomonte – Frazione La Maddalena). Il grafico di figura 8 mostra l'andamento dei valori medi settimanali dall'inizio del monitoraggio: sono evidenziati in verde e in rosso rispettivamente il livello di attenzione (40 Bq/m^3) e di intervento (80 Bq/m^3) stabiliti dal Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA).

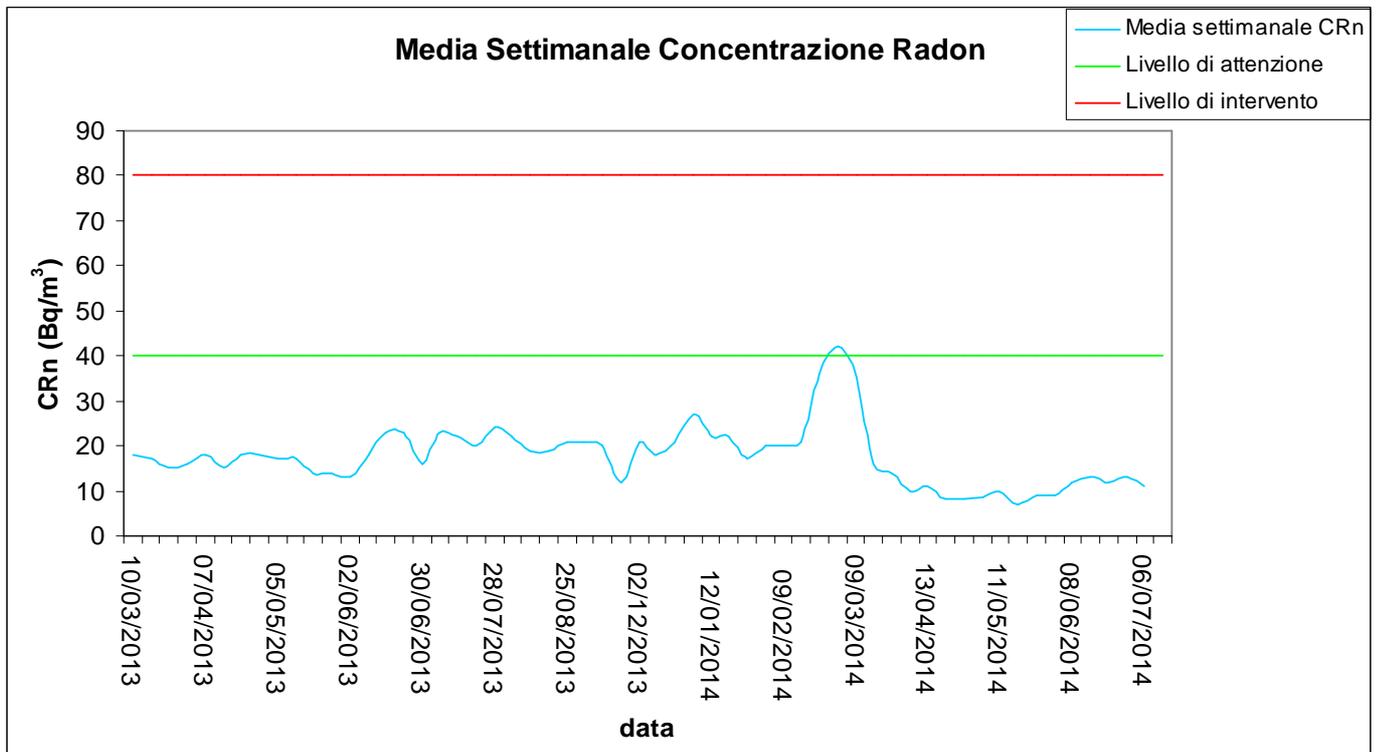


Figura 8:andamento dei valori medi settimanali della concentrazione radon

L'unico dato, come si vede dal grafico, che ha fatto registrare un superamento del livello di attenzione, nella settimana dal 24/02/2014 al 02/03/2014, è stato ritenuto non significativo dei livelli outdoor effettivamente presenti. Ulteriori verifiche sperimentali hanno infatti

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

mostrato che il dato apparentemente anomalo era influenzato dagli elevati valori di radon riscontrati nei locali indoor (fino a 500 Bq/m³) adiacenti allo strumento. Pertanto, al fine di evitare il ripetersi di una situazione analoga, e considerato che i suddetti locali ospitanti il monitor in continuo verranno dismessi, la stazione per il monitoraggio del radon outdoor è stata spostata nell'area esterna la Palazzina uffici della Direzione Lavori LTF, sempre in zona interna al cantiere in Frazione "La Maddalena" di Chiomonte.

L'occasione del "superamento del livello di attenzione" è stata comunque utile per testare la corretta applicazione di una serie di misure da mettersi in atto in caso di dati anomali, quali il controllo incrociato con la misura di radon internamente al cunicolo (verbale LTF n.AMB-51/2014).

Nella tabella 12 sono riassunti i valori medi settimanali, da gennaio a giugno 2014, con l'indicazione dei dati invalidati e della settimana in cui è avvenuto lo spostamento della stazione di monitoraggio.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Periodo di misura	Concentrazione Radon media (Bq/m ³)	Incertezza (Bq/m ³)	NOTE
06/01/14 - 12/01/14	22	5	/
13/01/14 - 19/01/14	22	5	/
20/01/14 - 26/01/14	17	4	/
27/01/14 - 02/02/14	20	4	/
03/02/14 - 09/02/14	20	4	/
10/02/14 - 16/02/14	21	5	/
17/02/14 - 23/02/14	36	7	/
24/02/14 - 02/03/14	42	7	dati invalidati
03/03/14 - 09/03/14	35	7	/
17/03/14 - 23/03/14	16	3	spostamento stazione
24/03/14 - 30/03/14	14	4	/
31/03/14 - 06/04/14	10	3	/
07/04/14 - 13/04/14	11	3	/
14/04/14 - 20/04/14	8	2	/
21/04/14 - 27/04/14	8	2	/
28/04/14 - 04/05/14	9	2	/
05/05/14 - 11/05/14	10	3	/
12/05/14 - 18/05/14	7	2	/
19/05/14 - 25/05/14	9	2	/
26/05/14 - 01/06/14	9	2	/
02/06/14 - 08/06/14	12	3	/
09/06/14 - 15/06/14	13	3	/
16/06/14 - 22/06/14	12	3	/
23/06/14 - 29/06/14	13	3	/
30/06/14 - 06/07/14	11	3	/

Tabella 12:valori medi settimanali di concentrazione radon outdoor – misure di CMC/LTF

4.2 Il monitoraggio delle particelle aerodisperse, analisi dei dati.

La misura della radioattività nelle particelle aerodisperse, come stabilito da PMA, è stata condotta da LTF mediante campionamenti di tipo sequenziale in continuo per 30 giorni, rispettivamente nelle stazioni A5.4 in Frazione la Maddalena e A7.1 di Exilles. Settimanalmente, sui filtri per la raccolta delle particelle totali sospese (PTS), è stata fatta l'analisi per la determinazione dell'attività alfa e beta totale mentre mensilmente sul pacchetto di filtri settimanali è stata eseguita una spettrometria gamma. I dati relativi al periodo gennaio a giugno 2014 relativi alle misure di attività alfa e beta totale e di spettrometria gamma (²¹²Pb, ²¹⁴Pb e ¹³⁷Cs) sono riportati nelle tabelle 13 e 14.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Campionamento		Stazione _5.4		Stazione _7.1	
data inizio	data fine	Attività Alfa	Attività Beta	Attività Alfa	Attività Beta
		(mBq/m ³)		(mBq/m ³)	
06/01/14	13/01/14	0,042	0,988	0,132	0,939
13/01/14	20/01/14	0,055	0,89	<0,034	0,677
20/01/14	27/01/14	<0,047	0,59	0,053	0,662
27/01/14	03/02/14	0,234	1,113	<0,047	0,576
03/02/14	10/02/14	<0,081	0,275	/	/
10/02/14	17/02/14	<0,067	0,276	<0,054	0,293
17/02/14	24/02/14	<0,049	0,614	<0,047	0,636
24/02/14	03/03/14	<0,048	0,283	<0,048	0,287
03/03/14	10/03/14	0,07	0,743	<0,047	0,61
10/03/14	17/03/14	<0,048	0,987	<0,048	<0,148
17/03/14	24/03/14	<0,05	0,887	<0,048	0,904
24/03/14	31/03/14	<0,048	0,624	<0,047	0,411
31/03/14	07/04/14	<0,052	1,137	<0,083	0,798
07/04/14	14/04/14	0,102	1,166	0,104	0,851
14/04/14	21/04/14	0,05	0,619	0,042	0,677
21/04/14	28/04/14	<0,036	0,616	0,05	0,643
28/04/14	05/05/14	0,068	0,528	<0,034	0,31
05/05/14	12/05/14	0,046	0,804	<0,035	0,831
12/05/14	19/05/14	0,1	0,647	0,062	0,404
19/05/14	26/05/14	0,083	0,859	0,075	0,838
26/05/14	02/06/14	0,088	0,543	0,087	0,661
02/06/14	09/06/14	0,056	1,105	0,063	1,114
09/06/14	16/06/14	0,053	1,2	0,062	1,24
16/06/14	23/06/14	0,04	1,127	<0,036	0,871
23/06/14	30/06/14	0,053	0,926	0,059	0,967

Tabella 13: valori di attività alfa e beta su filtro per PTS - stazioni A5.4 e A7.1

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

PTS_RAD 5.4			
Periodo campionamento	Attività ²¹⁴ Pb	Attività ²¹² Pb	Attività ¹³⁷ Cs
	(mBq/m ³)	(mBq/m ³)	(mBq/m ³)
gen-14	<0,3	0,29 ± 0,24	<0,11
feb-14	<0,3	0,28 ± 0,22	<0,09
mar-14	<0,17	<0,24	<0,07
apr-14	<0,26	<0,2	<0,09
mag-14	<0,17	<0,09	<0,06
PTS_RAD 7.1			
Periodo campionamento	Attività ²¹⁴ Pb	Attività ²¹² Pb	Attività ¹³⁷ Cs
	(mBq/m ³)	(mBq/m ³)	(mBq/m ³)
gen-14	<0,26	<0,26	<0,11
feb-14	<0,25	<0,14	<0,1
mar-14	<0,16	0,31 ± 0,23	<0,09
apr-14	<0,29	<0,13	0,11
mag-14	<0,11	<0,08	<0,07

Tabella 14: analisi mensile di spettrometria gamma su pacchetto di filtri - stazioni A5.4 e A7.1

Nei grafici (figure 9, 10, 11 e 12) sono stati riportati tutti i valori di attività alfa e di beta totale determinati dalle analisi sui filtri per PTS relativi al monitoraggio del corso d'opera (periodo dal 05/03/13 al 30/06/14) per le due stazioni di monitoraggio con i livelli di “attenzione” opportunamente ricalcolati:

- Le soglie di “attenzione” per il beta totale sono state calcolate osservando che i dati seguono una distribuzione normale e prendendo quindi come valore l'UTL (Upper Tolerance Limit) al 95% con livello di copertura al 95% (1,580 mBq/m³ per la stazione PTS RAD A5.4 – 1,496 mBq/m³ per la stazione PTS RAD A7.1); come “soglia di intervento” si è assunto invece il livello notificabile di 5 mBq/m³ (Raccomandazione 2000/473/Euratom).
- Per le misure di alfa totale si è calcolata una “soglia di intervento” a 0,5 mBq/m³ (1/10 del livello notificabile per le Beta). Le “soglie di attenzione” invece, considerato l'elevato numero di dati non rilevati, sono state calcolate utilizzando un approccio non parametrico (metodo di Kaplan Meier). In questo caso si è preferito considerare l'UTL al 95% con livello di copertura al 99% per cui si ricava: 0,311

ARPA Piemonte

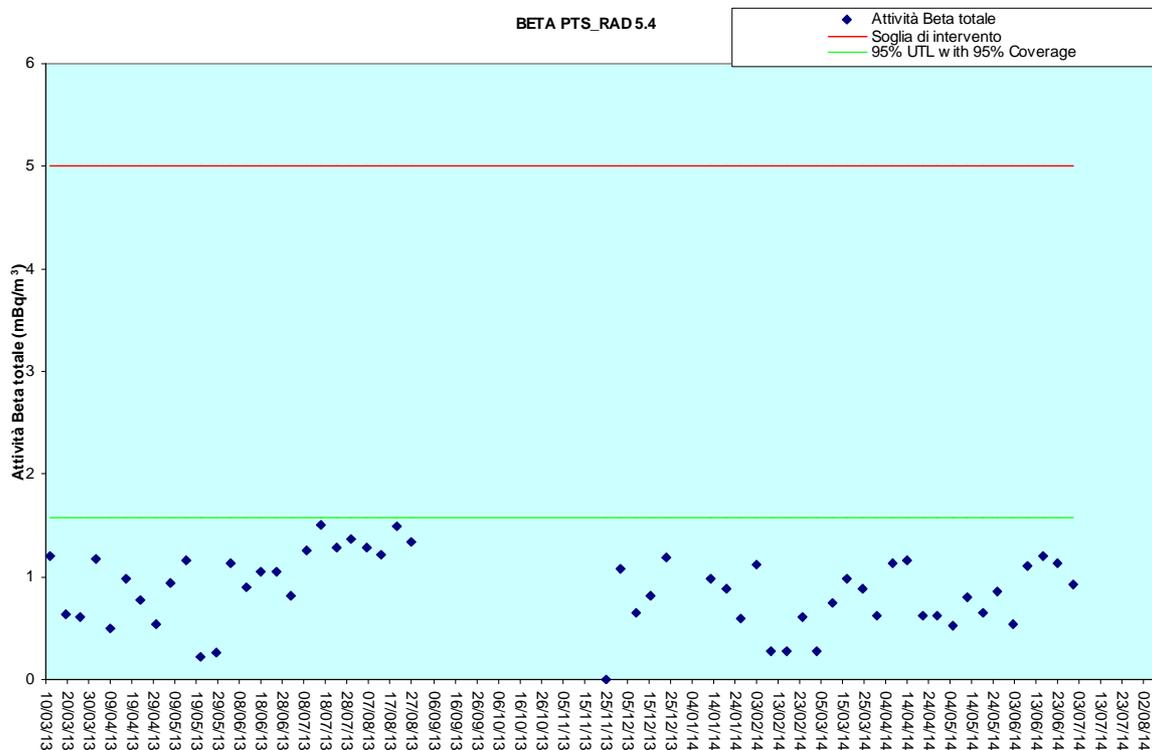
Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

mBq/m³ per la stazione PTS RAD A5.4 e 0,212 mBq/m³ per la stazione PTS RAD A7.1.



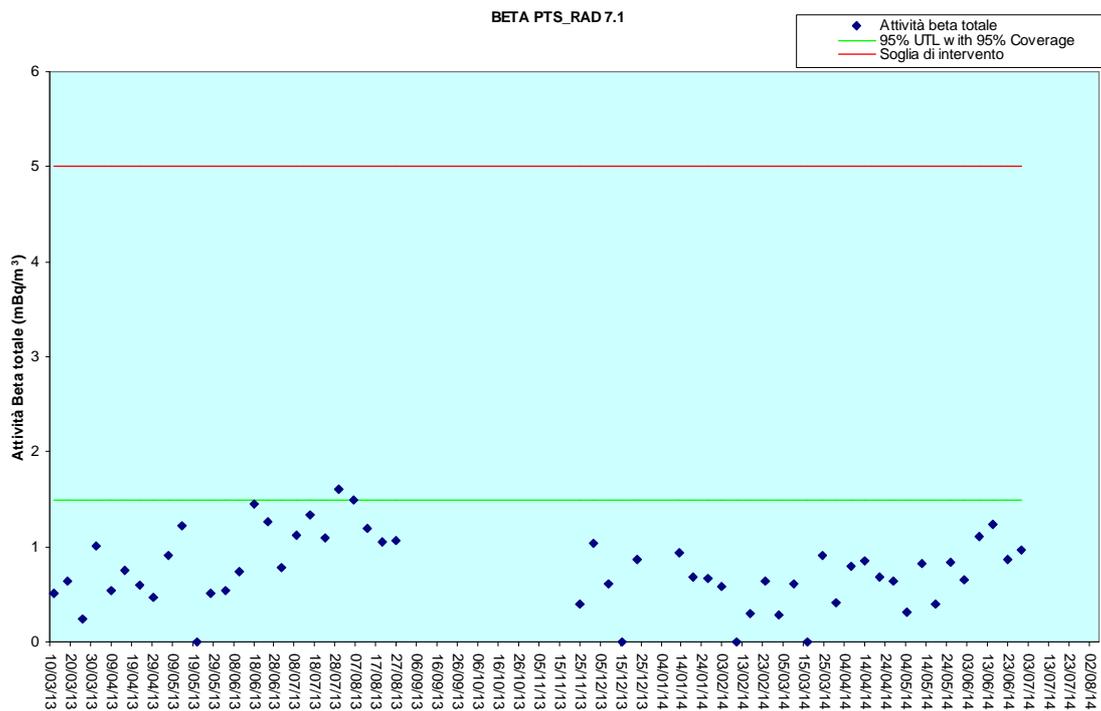


Figura 10: Valori di attività beta totale su PTS – stazione A7.1

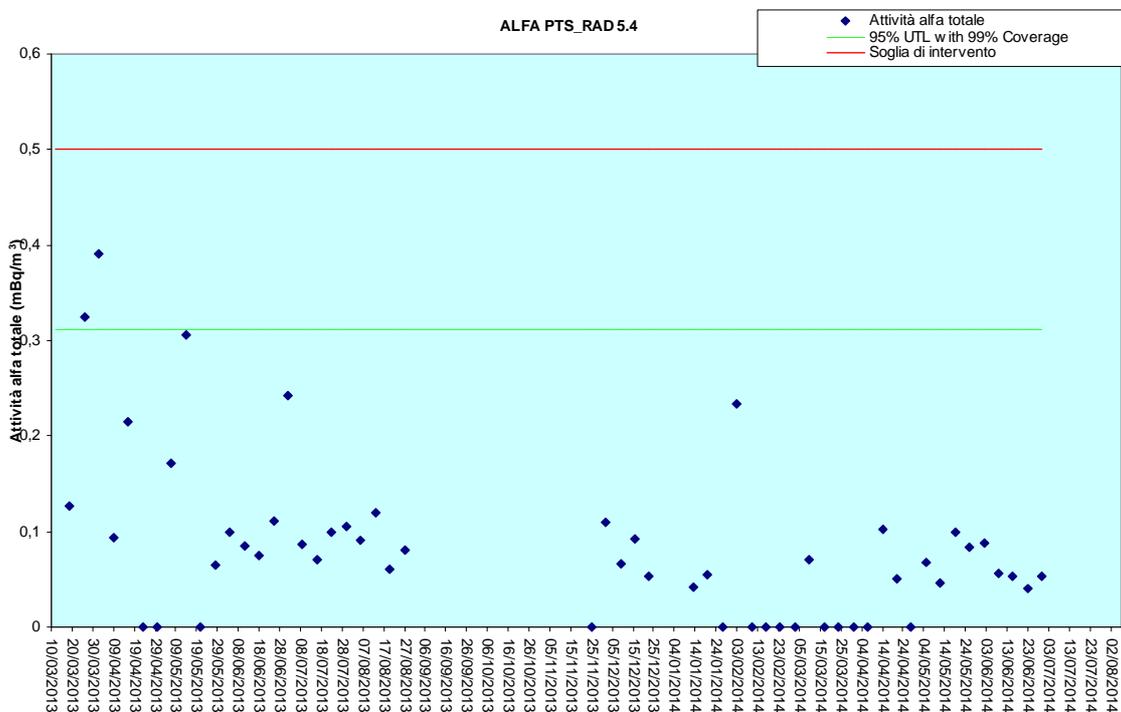


Figura 11: Valori di attività alfa totale su PTS – stazione A5.4

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 – E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

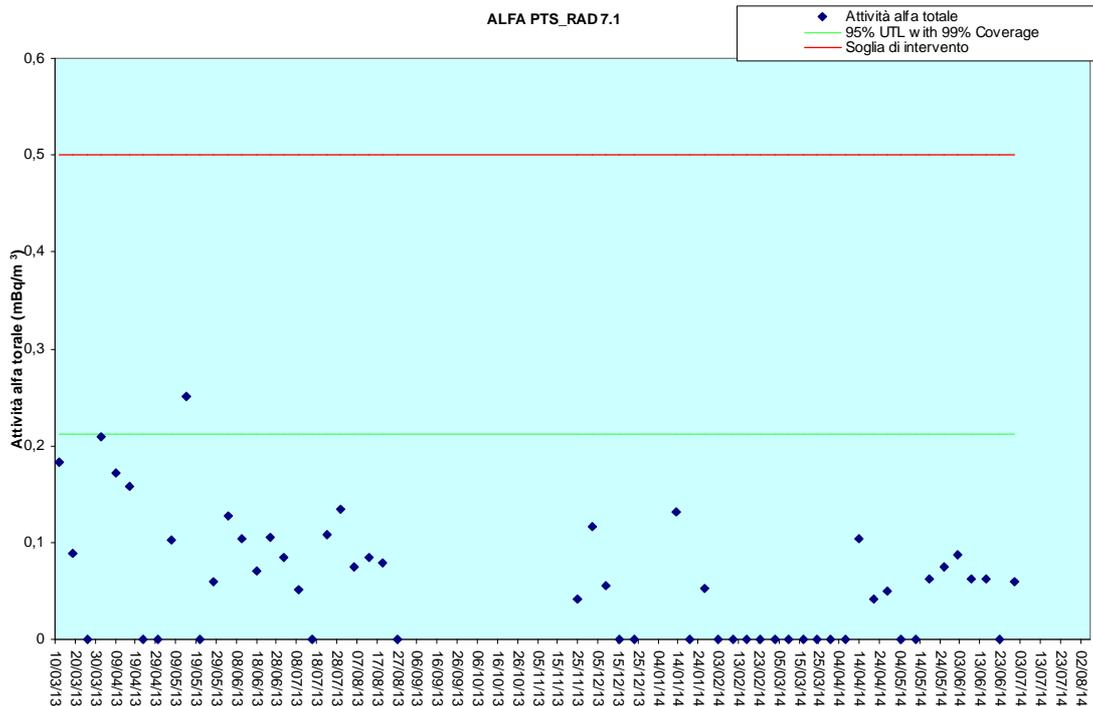


Figura 12: Valori di attività alfa totale su PTS – stazione A7.1

Dall'analisi statistica dei dati riportati graficamente si osservano alcuni sporadici superamenti delle soglie di attenzione: tali eventi sono però da considerarsi come delle oscillazioni statistiche del dato, non indicative della presenza di anomalie ambientali. In generale i dati di attività alfa e beta descrivono una condizione ambientale sostanzialmente imperturbata, caratterizzata da valori tipici del fondo ambientale.

4.3 Il monitoraggio delle risorse idriche superficiali, valutazione dei risultati.

Il monitoraggio delle risorse idriche superficiali per la determinazione della concentrazione dei radionuclidi emettitori alfa e beta è stato eseguito mensilmente, rispettando la frequenza mensile stabilita nel PMA in assetto operativo di sorveglianza. Le tabelle 15 e 16 riassumono i dati delle analisi alfa e beta totale dall'inizio del campionamento, per i due punti di prelievo

- ASP-031 Dora, valle discarica
- ASP-032 Dora, valle confl. Clarea
-

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

ASP_031		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
04/03/2013	<0,099	0,227
25/03/2013	0,086	0,166
23/04/2013	0,140	0,237
20/05/2013	0,069	0,121
27/06/2013	0,060	0,215
16/07/2013	0,047	0,100
20/08/2013	0,302	0,283
17/12/2013	<0,094	0,141
08/01/2014	0,084	0,182
10/02/2014	0,119	0,176
05/03/2014	<0,072	0,234
01/04/2014	<0,087	<0,102
12/05/2014	<0,087	<0,102
09/06/2014	0,269	0,287

Tabella 15: attività alfa e beta totale – analisi acqua superficiale ASP_031

ASP_032		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
04/03/2013	0,129	0,167
25/03/2013	0,101	0,297
23/04/2013	0,198	0,328
20/05/2013	0,099	0,146
27/06/2013	0,086	0,092
16/07/2013	0,047	0,134
20/08/2013	0,139	0,326
17/12/2013	0,299	<0,086
08/01/2014	<0,101	0,133
10/02/2014	0,11	0,241
05/03/2014	0,204	0,153
01/04/2014	0,116	0,12
12/05/2014	0,082	0,046
09/06/2014	0,192	0,226

Tabella 16: attività alfa e beta totale – analisi acqua superficiale ASP_032

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Le figure 13 e 14 mettono invece a confronto i valori misurati con i valori di riferimento per il consumo dell'acqua potabile (Guideline for drinking water quality, 4th edition, Geneva, WHO, 2011):

- 1 Bq/l per la misura beta totale
- 0,5 Bq/l per la misura alfa totale

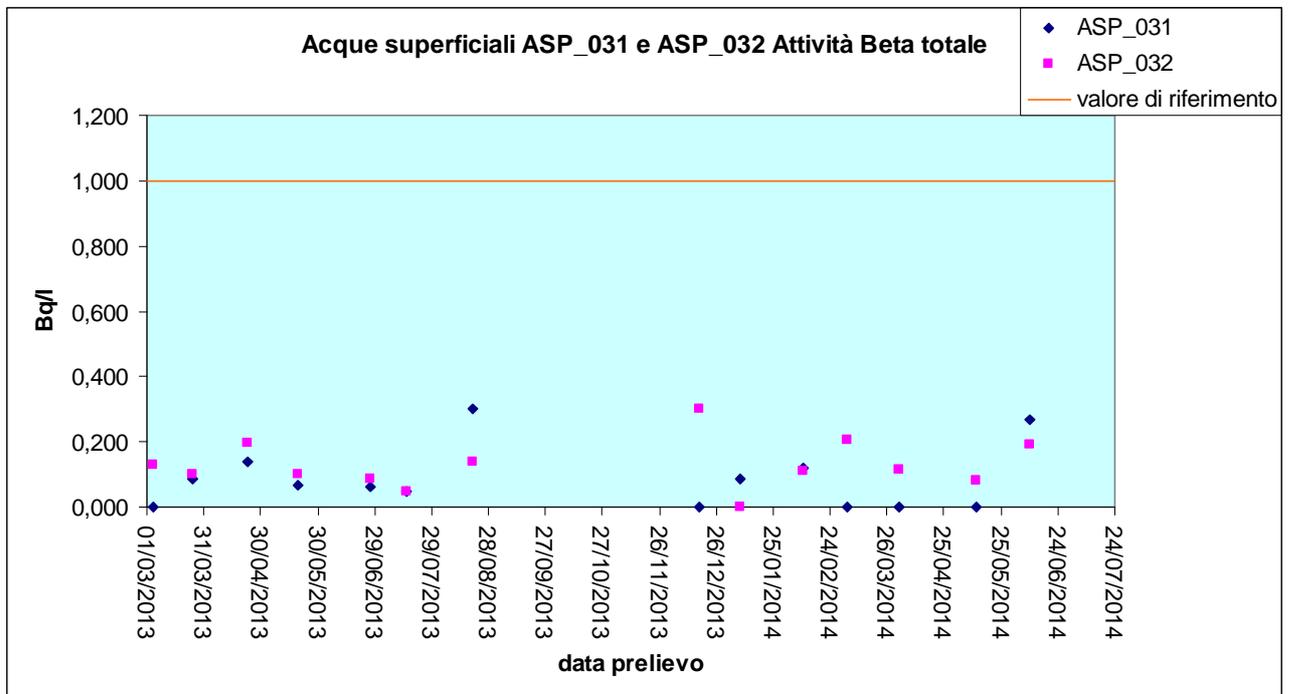


Figura 13: Attività beta totale per le acque ASP_031 e ASP_032

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

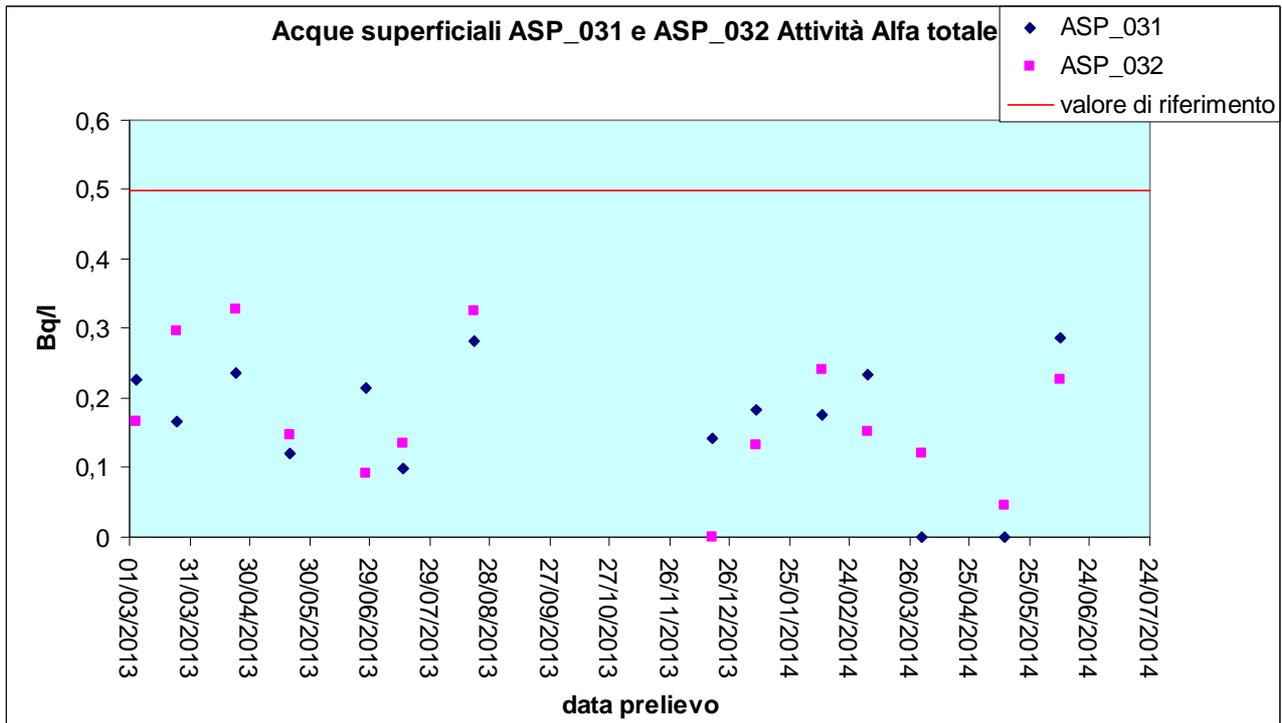


Figura 14: Attività alfa totale per le acque ASP_031 e ASP_032

Come si può osservare dalle tabelle 15 e 16 e dalle figure 13 e 14, i valori misurati sono risultano ampiamente al di sotto dei valori di screening riportati sulle Linee Guida dell'OMS.

4.4 Il monitoraggio delle risorse idriche sotterranee, valutazione dei risultati.

Le risorse idriche sotterranee, monitorate da gennaio a maggio con frequenza trimestrale in assetto operativo di sorveglianza sono state le seguenti:

- AST-010 Pratovecchio
- AST-011 Boscodedrino
- AST-012 Vasca Supita
- AST-017 Fontani Supita
- AST-218 Greisone
- AST-222 Verger

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

- AST-441 Vasca rottura 2 Greisone
- AST-446 S. Chiara
- AST-486 Vasca Cels
- AST-381 Chejera
- AST-496 Pietra Porcheria

Le tabelle 17 e 18 riportano le date dei prelievi e le attività beta e alfa totali per le acque sotterranee campionate dall'inizio del monitoraggio in corso d'opera. Si osserva che tutti i valori di attività alfa e beta totale risultano nettamente inferiori ai livelli di screening.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

AST_10		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,071	0,053
26/06/2013	0,031	0,036
18/09/2013	0,021	0,046
18/12/2013	0,075	0,052
19/03/2014	0,035	<0,022
AST_11		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,064	0,118
26/06/2013	0,026	0,025
18/09/2013	<0,018	0,021
18/12/2013	0,041	0,047
19/03/2014	0,031	<0,02
25/06/2014	0,039	0,025
AST_218		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,054	0,07
26/06/2013	0,093	0,05
18/09/2013	0,030	0,023
18/12/2013	0,115	0,92
19/03/2014	0,024	0,024
25/06/2014	0,045	<0,02
AST_222		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,039	0,04
26/06/2013	<0,033	0,045
18/09/2013	0,045	0,067
18/12/2013	0,053	0,066
19/03/2014	0,068	<0,027
25/06/2014	<0,028	<0,027
AST_441		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,096	0,087
26/06/2013	0,087	0,106
18/09/2013	0,037	0,054
18/12/2013	0,088	0,076
19/03/2014	0,030	<0,016
25/06/2014	0,141	0,107

Tabella 17: Attività Beta e Alfa totale – analisi acque sotterranee

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

AST_446		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,084	0,102
26/06/2013	<0,024	0,036
18/09/2013	<0,025	0,036
18/12/2013	0,070	0,059
19/03/2014	<0,023	<0,025
25/06/2014	0,095	0,059
AST_486		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/03/2013	0,098	0,11
26/06/2013	0,030	0,052
18/09/2013	0,022	0,05
18/12/2013	0,090	0,127
19/03/2014	<0,018	0,028
25/06/2014	<0,017	0,034
AST_12		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/06/2013	0,076	0,041
18/09/2013	0,038	0,038
18/12/2013	0,091	0,024
19/03/2014	0,050	<0,023
25/06/2014	0,040	<0,02
AST_381		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/06/2013	<0,022	<0,020
18/09/2013	<0,02	0,023
18/12/2013	0,024	0,042
19/03/2014	0,049	<0,011
25/06/2014	0,019	<0,012
AST_496		
Data prelievo	Attività β Totale	Attività α Totale
	(Bq/l)	(Bq/l)
26/06/2013	0,085	0,082
18/09/2013	0,045	0,071
19/03/2014	0,066	0,053
25/06/2014	0,028	0,037

Tabella 18: Attività Beta e Alfa totale – analisi acque sotterranee

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 – E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

5 Conclusioni

Il monitoraggio condotto da LTF per la componente radiazioni ionizzanti internamente e esternamente al cantiere per la costruzione del cunicolo esplorativo de “La Maddalena” nel periodo gennaio 2014 – giugno 2014 ha rispettato i tempi e le frequenze stabiliti e concordati con Arpa come riportato dal PMA, dal PGA e dal documento “Linee Guida in caso di materiale radioattivo al fronte”. In sintesi vengono di seguito richiamati i punti principali.

Monitoraggio interno al cantiere

Monitoraggio Radon

Il monitoraggio del radon entro il cunicolo esplorativo è stato eseguito da Arpa con dosimetri a tracce e da CMC con dosimetri di tipo E-perm. Dal mese di marzo, inoltre, per la misura in continuo della concentrazione di attività radon, è attivo un monitore “Pylon”, collocato in prossimità della testa della TBM. I dati acquisiti dal sensore, al momento risultano solo visualizzati sul pannello di controllo della TBM ed è ancora in corso la messa a punto di un sistema di estrazione dei dati. I valori di concentrazione di attività radon misurati da CMC sono risultati in linea con i valori di concentrazione rivelati da ARPA e comunque sempre ampiamente inferiori al livello d’Azione di 500 Bq/m³ (D.Lvo 230/95).

Misure di radioattività al fronte scavo e sui cumuli di smarino

Le misure di rateo di dose gamma al fronte di scavo, inizialmente effettuate mediante l’utilizzo di strumentazione portatile (rateometro gamma “Atomtex”), a partire dal 10/02/2014 sono effettuate tramite un Geiger-Mueller posizionato in prossimità della testa della TBM: i valori registrati sono risultate sempre tutti inferiori alla soglia di sorveglianza, pari a 250 nSv/h (lettera Prot. Arpa n.31033 del 11/04/2014).

Le misure di rateo di dose gamma e di spettrometria gamma, eseguite mensilmente da Arpa, sui cumuli di smarino hanno fornito valori tipici di materiali a medio-basso contenuto di radioattività.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Monitoraggio esterno al cantiere

Monitoraggio Radon outdoor

I valori di concentrazione di attività di radon rivelati in continuo dalla stazione collocata inizialmente presso il Museo Archeologico in Frazione La Maddalena sono risultati tutti corrispondenti a valori tipici di radon outdoor. L'unico dato anomalo osservato, nella settimana dal 24/02/2014 al 23/03/2014, era dovuto a interferenze di misura causate da elevati valori di radon indoor. A tale proposito, per evitare il ripetersi di una situazione analoga, tale stazione è stata spostata presso l'area esterna la Palazzina uffici della Direzione Lavori LTF, sempre in zona interna al cantiere in Frazione "La Maddalena" di Chiomonte.

Monitoraggio delle particelle aerodisperse

Per la misura della radioattività delle particelle aerodisperse (PTS-Rad), come stabilito da PMA, il monitoraggio è stato condotto mediante campionamenti di tipo sequenziale in continuo per 30 giorni dalle stazioni 5.4 in Frazione la Maddalena e 7.1 di Exilles: misura settimanale di attività alfa e beta totale e spettrometria gamma mensile sul pacchetto di filtri (sono riportati i dati relativi ai radionuclidi ^{212}Pb , ^{214}Pb e ^{137}Cs).

Le analisi dei filtri per PTS non hanno rivelato la presenza di livelli di radioattività anomali e attribuibili alle attività di cantiere.

Monitoraggio delle risorse idriche

Il monitoraggio mensile delle acque superficiali e quello trimestrale delle acque sotterranee per la determinazione dei valori di attività alfa e beta totale ha sempre fornito risultati inferiori ai valori di screening indicati nelle linee guida per la qualità delle acque potabili – 4^a edizione, WHO, 2011 (0,5 Bq/l per l'alfa totale e 1 Bq/l per il beta totale).

In conclusione, si può affermare che, nel semestre gennaio 2014 – giugno 2014, i monitoraggi condotti da LTF e da ARPA internamente alla zona di scavo ed in ambiente esterno non hanno evidenziato variazioni significative dei normali livelli di fondo della radioattività ambientale.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Appendice – Correzione risposta output degli strumenti CMC/LTF

La risposta della strumentazione radiometrica impiegata da CMC (LTF) necessita di una correzione dovuta al fatto che per tali strumenti non sono disponibili né i certificati di taratura né vi sono informazioni sulla risposta delle sonde in funzione dell'energia.

Per ovviare a questo inconveniente, si è proceduto a un confronto con gli strumenti Arpa per i quali sono invece note tutte le informazioni di taratura.

Nella figura 15 è mostrata la curva di risposta per lo scintillatore plastico Automess (fattore di calibrazione Fc) in funzione dell'energia dei raggi gamma, ricavata in base al nuovo certificato di taratura Lat 104 349/2014 rilasciato dal Politecnico di Milano in data 05/05/2014.

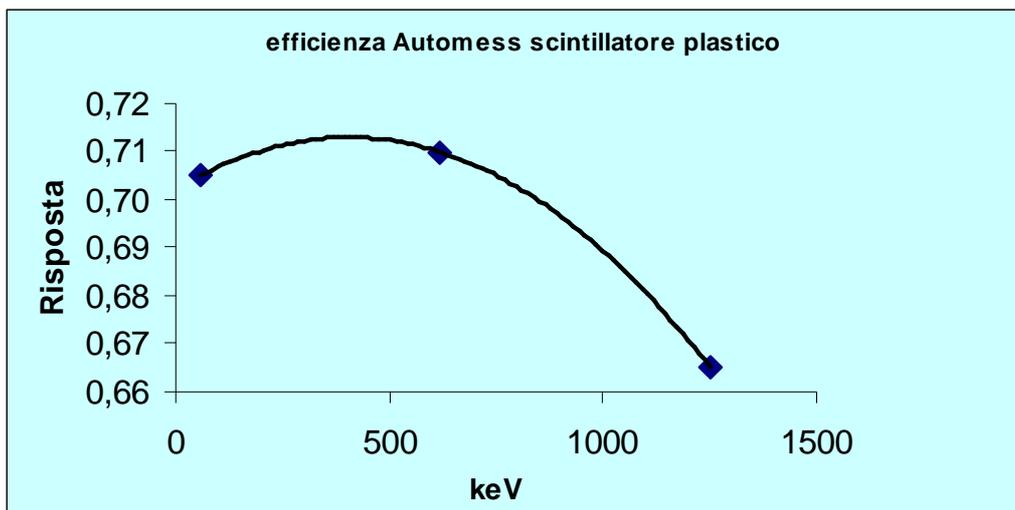


Figura 15: curva di risposta del fattore Fc in funzione dell'energia gamma – Rateometro Arpa

Il confronto tra gli strumenti è stato effettuato eseguendo simultaneamente misure di rateo di dose gamma sia dentro il cunicolo che sui cumuli di smarino posti all'esterno. Per Arpa è stato impiegato lo scintillatore plastico Automess mentre per CMC il Geiger-Mueller posizionato sulla TBM e il rateometro Atomtex.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Allineamento misure di rateo di dose acquisite entro il cunicolo da Arpa con lo scintillatore plastico Automess e da CMC/LTF con il Geiger-Mueller.

Per l'allineamento delle misure acquisite all'interno del cunicolo esplorativo da Arpa con l'Automess e da CMC con il geiger mueller collocato sulla testa della TBM è stato utilizzato il valor medio di rateo di dose, misurato in doppio dai due strumenti di misura in data 30/05/2014 (verbale Arpa 12/IV/2014), con un'acquisizione di 10'. La misura è stata ripetuta anche in data 24/06/2014 (verbale Arpa 14/IV72014). L'output strumentale dell'Automess (riferito alla misura del 30/05/2014) ha fornito un valore di rateo di dose pari a 248 nSv/h mentre il Geiger-Mueller ha registrato nello stesso intervallo temporale un valore di rateo pari a 179 nSv/h.

Per ogni strumento il valore corretto di rateo di dose si ottiene tramite l'equazione (1):

$$\dot{H} = F_C \cdot \dot{H}_{MIS} \quad (1)$$

dove:

\dot{H} = valore corretto di rateo dose

F_C = fattore di calibrazione dello strumento, variabile in funzione dell'energia dei fotoni

\dot{H}_{MIS} = valore misurato dallo strumento

F_C per lo strumento di Arpa può essere determinato teoricamente grazie all'equazione (2), utilizzando i risultati delle analisi di spettrometria gamma eseguite con un rivelatore al Germanio iperpuro, sul campione di smarino prelevato in data 30/05/2014 (si veda la tabella 7 della presente relazione tecnica).

$$F_C^{Arpa}_{medio} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{C_i}^{Arpa} \cdot C_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \gamma_i} \quad (2)$$

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

dove:

Fc_i^{Arpa} = fattore di calibrazione Arpa corrispondente alla i-esima energia fotonica.

C_i = concentrazioni di attività dei radionuclidi presenti nella roccia

γ_i = i-esima probabilità di emissione di energia fotonica

Inserendo i valori dei suddetti parametri per lo strumento *Automess* si ottiene un fattore correttivo (fattore di taratura interpolato) $Fc_{medio}^{Arpa} = 0,65$

A questo punto poiché vale:

$$Fc_{medio}^{Arpa} \cdot \dot{H}_{ARPA} = Fc_{medio}^{CMC} \cdot \dot{H}_{CMC} \quad (3)$$

si ricava che il fattore correttivo per il Geiger-Mueller collocato sulla TBM è $Fc_{medio}^{geiger} = 0,9$.

Pertanto, per ottenere il dato corretto, tutti i dati ottenuti da CMC con tale strumento dovranno essere moltiplicati per questo fattore.

Allineamento misure di rateo di dose gamma acquisite da Arpa con lo scintillatore plastico Automess e da CMC/LTF con il rateometro Atomtex nel cunicolo esplorativo.

Per l'allineamento delle misure di rateo di dose gamma acquisite da Arpa con lo scintillatore plastico Automess e da CMC con il rateometro Atomtex, all'interno del cunicolo si è proceduto nel modo descritto precedentemente utilizzando i risultati dell'analisi di spettrometria gamma eseguita sui campioni prelevati in data 24/06/2014 (tabelle 8 e 9 della relazione tecnica).

La tabella 1 mostra i dati di output acquisiti all'interno del cunicolo dai due strumenti messi a confronto ed il dato di rateo di dose Arpa corretto, utilizzando il fattore di taratura $Fc = 0,65$ calcolato con l'equazione (2).

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

Misure interne alla zona di scavo	Automess	Automess	Atomtex
Punto di misura	rateo di dose gamma dato di output	rateo di dose gamma dato corretto	rateo di dose gamma dato di output
	(nSv/h)	(nSv/h)	(nSv/h)
Pk 0 + 750 m	230	150	157
Pk 0 + 860 m	240	156	163
Pk 0 + 940 m	215	140	150

Tabella 19: misure di rateo di dose acquisite da arpa con l'Automess e da LTF con l'Atomtex

Dall'equazione (3) per il rateometro Atomtex si ricava un fattore correttivo $F_c^{Atomtex\ cunicolo} = 0,95$.

Allineamento misure di rateo di dose gamma acquisite da Arpa con lo scintillatore plastico Automess e da CMC/LTF con il rateometro Atomtex sui cumuli di smarino.

La tabella 20 riassume invece i valori di rateo di dose (output strumentale) misurati in doppio dall'Automess di Arpa e dall'Atomtex di CMC sui cumuli di smarino.

Misure sui cumuli di smarino	Automess	Atomtex
Punto di misura	rateo di dose gamma dato di output	rateo di dose gamma dato di output
	(nSv/h)	(nSv/h)
Fondo sul piazzale	80	45
1 - Cumulo 21 - piazzola P2	210	117
2 - Cumulo 21 - piazzola P2	200	100
3- Cumulo 21 - piazzola P2	210	113
1 - Cumulo 22 - piazzola P1	215	110
2 - Cumulo 22 - piazzola P1	190	105

Tabella 20: misure di rateo di dose acquisite da arpa con l'Automess e da CMC con l'Atomtex

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it

In questo caso, trattandosi di misure di rateo di dose in ambiente esterno, occorre prima sottrarre il fondo. Applicando quindi l'equazione (1) con $F_c=0,65$ si correggono le misure per lo strumento Arpa alle quali vanno riferite i corrispondenti valori misurati da CMC (sottraendo il fondo) come mostrato in tabella 21.

Misure sui cumuli di smarino	Automess	Atomtex
Punto di misura	rateo di dose gamma corretto dopo la sottrazione del fondo (nSv/h)	rateo di dose gamma dato di output dopo la sottrazione del fondo (nSv/h)
Fondo sul piazzale	80	45
1 - Cumulo 21 - piazzola P2	85	72
2 - Cumulo 21 - piazzola P2	78	55
3- Cumulo 21 - piazzola P2	85	68
1 - Cumulo 22 - piazzola P1	88	65
2 - Cumulo 22 - piazzola P1	71	60

Tabella 21: misure di rateo di dose acquisite da arpa con l'Automess e da CMC con l'Atomtex

Per cui dall'equazione (3) si ottiene per CMC un fattore correttivo medio $F_c^{Atomtex}_{smarino} = 1,3$.

ARPA Piemonte

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

Dipartimento Tematico Radiazioni

Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti

Via Jervis 30 – 10015 Ivrea – Tel. 0125 64511 – fax 0125645384 - E-mail: radiazioni.ionizzanti@arpa.piemonte.it