



**ARPA FVG**  
Agenzia Regionale per la Protezione  
dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

Relativamente alle attività di: Verifica di  
conformità legislativa EMAS, Gestione pratiche  
VIA, Gestione pratiche VAS, Catasto rifiuti,  
Catasto emissioni, Previsioni inquinamento  
atmosferico, Gestione pratiche incidenti rilevanti



## **POLIGONO MILITARE CELLINA-MEDUNA: CARATTERIZZAZIONE RADIOMETRICA DELLA CONTAMINAZIONE DA TH-232**



Giuseppe Candolini, Massimo Garavaglia, Concettina Giovani, Luca Piccini  
*SOS Fisica Ambientale - Laboratorio Unico Regionale - ARPA Friuli Venezia Giulia*

Udine, 22 giugno 2015-rev.1

# INDICE

<b>1. Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>2. Descrizione del sito e risultati delle analisi pregresse</b>	<b>7</b>
2.1 Storia del sito	7
2.2 Descrizione del sito	7
2.3 Indagini e risultati preliminari	12
<b>3. Il Missile MILAN ed il Th-232</b>	<b>15</b>
3.1 Il missile MILAN	15
3.2 Utilizzo di missili MILAN presso il poligono	16
3.3 Il Th-232	19
<b>4. Risultati preliminari e metodologie di indagine</b>	<b>21</b>
4.1 Misura del livello di radiazione	21
4.2 Spettrometria gamma	25
4.2.1 <i>Correzione per autoassorbimento</i>	27
4.2.2 <i>Spettrometria gamma in laboratorio</i>	28
4.2.3 <i>Spettrometria gamma in situ con e senza collimatori</i>	29
4.3 Campionamento e trattamento campioni di suolo, alimenti ed altre matrici	32
4.3.1 <i>Suoli</i>	32
4.3.2 <i>Vegetali</i>	34
4.3.3 <i>Alimenti</i>	34
4.3.4 <i>Particolato atmosferico</i>	34

4.4	Uranio depleto nei suoli, torio ed $\alpha$ e $\beta$ totale nelle acque	35
4.4.1	<i>Uranio depleto nei suoli</i>	35
4.4.2	<i>torio, <math>\alpha</math> totale, <math>\beta</math> totale nelle acque di falda</i>	35
4.4.3	<i><math>\alpha</math> totale e <math>\beta</math> totale nelle acque potabili</i>	36
4.5	Disomogeneità della contaminazione dei suoli	37
4.6	Scelta dei punti di misura per la spettrometria gamma in campo	38
4.6.1	<i>Caratterizzazione dei bersagli</i>	39
4.6.2	<i>Caratterizzazione dell'area delimitata dalla concertina</i>	41
4.7	Utilizzo di "ISOCS - Geometry Composer" nelle misure di spettrometria gamma <i>in situ</i>	45
4.7.1	<i>Calcolo della curva di efficienza teorica</i>	45
4.7.2	<i>Valutazione della profondità della contaminazione</i>	45
4.8	Valutazione di superfici, volumi e masse	48
4.9	Quadro di sintesi della strumentazione e dei software utilizzati	50
4.10	Quadro di sintesi dei campionamenti e delle misure effettuate	51
<b>5.</b>	<b>Risultati</b>	<b>52</b>
5.1	Valutazione del livello di radiazione	52
5.2	Misure di spettrometria gamma in laboratorio	52
5.2.1	<i>Suoli</i>	52
5.2.2	<i>Profilo in profondità</i>	56
5.2.3	<i>Vegetali</i>	59
5.2.4	<i>Alimenti</i>	61
5.2.5	<i>Particolato atmosferico</i>	65
5.2.6	<i>Frammento di missile</i>	66
5.3	Spettrometria gamma <i>in situ</i>	71

5.3.1	<i>Configurazione senza collimatori</i>	71
5.3.2	<i>Configurazione con collimatori</i>	77
5.3.3	<i>Distribuzione della concentrazione superficiale di Th-232</i>	82
5.3.4	<i>Distribuzione della concentrazione superficiale di Cs-137</i>	90
5.4	Attività totale stimata	91
5.5	Uranio depleto nei suoli	93
5.6	Misure di torio, $\alpha$ totale e $\beta$ totale nelle acque di falda	94
5.7	Misure di $\alpha$ totale e $\beta$ totale nelle acque potabili	95
<b>6.</b>	<b>Considerazioni di radioprotezione</b>	<b>96</b>
6.1	Premessa	96
6.2	Valutazione degli scenari	98
6.2.1	<i>Lavoratori</i>	98
6.2.2	<i>Popolazione</i>	101
6.3	Acque potabili	103
6.4	Valutazioni complessive	103
<b>7.</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>105</b>
<b>8.</b>	<b>Glossario</b>	<b>107</b>
<b>9.</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>110</b>
<b>10.</b>	<b>Fonti normative</b>	<b>111</b>
<b>11.</b>	<b>Sitografia</b>	<b>112</b>
<b>12.</b>	<b>Indice delle figure</b>	<b>113</b>
<b>13.</b>	<b>Indice delle tabelle</b>	<b>117</b>

<b>14. Allegati</b>	<b>123</b>
A. Poligono Cellina-Meduna: Elementi di informazione – Ministero della Difesa – Esercito Italiano - Comando Militare Esercito “Friuli Venezia Giulia”	124
B. Uranio depleto nei suoli - ARPA Piemonte	132
C. $\alpha$ e $\beta$ totale e torio nelle acque di falda - ARPA Lombardia	140
D. $\alpha$ e $\beta$ totale nelle acque potabili - ARPA Lombardia	145
E. Parere sul rischio legato alla presenza di torio in matrici alimentari – Ministero della Salute – Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare	155
F. Caratterizzazione di aree militari – Definizione di livelli di riferimento per contaminazione radioattiva (composti “non normati”) – Istituto Superiore di Sanità	164

# 1. Introduzione

Nell'ambito del procedimento di bonifica ex Titolo V del Testo Unico Ambientale relativo al sito inquinato del poligono militare Cellina-Meduna, posto in capo al Dipartimento ARPA di Pordenone, si è posta, alla fine del 2013, la necessità di verificare, oltre alla contaminazione di tipo chimico dei suoli derivante dalle esercitazioni, anche la presenza di contaminazione radioattiva.

È stato così coinvolto personale specializzato in radioprotezione afferente alla Struttura Operativa Semplice *Fisica Ambientale* dell'Agenzia, che, durante i primi sopralluoghi volti all'individuazione dei punti idonei al prelievo di campioni di suolo allo scopo di verificare l'eventuale presenza di uranio depleto, ha rinvenuto all'interno del poligono, presso alcuni bersagli, la presenza anomala di Th-232. Sulla base dei riscontri strumentali, di opportune indagini bibliografiche e del confronto con l'autorità militare (Comando della 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata "ARIETE"), è stato possibile appurare che la presenza del radionuclide Th-232, in quantità superiori a quelle del fondo naturale nel sito in esame, poteva essere imputata all'uso, nel recente passato, nell'ambito di esercitazioni militari, di missili MILAN, che contenevano tale isotopo radioattivo. L'impatto di tali missili sui bersagli ha prodotto una contaminazione radioattiva più o meno marcata, che fortunatamente è risultata fortemente limitata nello spazio alla sola zona di collisione.

Dopo le prime indagini preliminari, volte alla raccolta di informazioni sufficienti a definire uno specifico programma di lavoro, è stato quindi avviato, all'interno dell'area bersagli del poligono di tiro Cellina Meduna, previo accordo con l'autorità militare ed in particolare con la 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata "ARIETE", che ha anche supportato logisticamente la SOS Fisica Ambientale durante le operazioni in campo, un piano per la completa caratterizzazione radiologica del sito, con i seguenti obiettivi principali:

1. determinazione dei livelli di contaminazione e definizione delle aree e dei volumi contaminati;
2. valutazione dell'eventuale contaminazione di falde acquifere e/o della catena alimentare;
3. determinazione dell'eventuale necessità di intervento e sue modalità;
4. valutazione dell'eventuale dose alla popolazione;
5. valutazione della dose ai lavoratori impegnati nella eventuale bonifica.

La SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG, in collaborazione con il Dipartimento di Pordenone della stessa ARPA e con l'allora A.S.S. n. 6 "Pordenonese", ha quindi predisposto anche un piano di campionamento di acque potabili, acque di falda e di alimenti allo scopo di completare il quadro delle analisi svolte sul sito.

Sono state richieste informazioni relative alle modalità di utilizzo ed alle caratteristiche tecniche dei missili MILAN usati presso il poligono Cellina-Meduna.

E' stato infine posto un quesito all'Istituto Superiore di Sanità, sulla definizione dei limiti di riferimento per la contaminazione radioattiva relativa ai composti non normati, quali il Th-232, e da parte dello stesso Istituto sono state quindi fornite alcune valutazioni radioprotezionistiche.

A causa delle ridotte possibilità di accesso al sito, posizionato all'interno di un poligono per esercitazioni militari che viene normalmente utilizzato, e delle condizioni atmosferiche particolarmente sfavorevoli nel 2014, con frequenti precipitazioni, le attività di misura in campo e prelievo campioni, si sono protratte per oltre un anno. Durante tale attività sono state effettuate centinaia di misure di intensità di dose gamma e livello di radiazione e spettrometria gamma *in situ*, con e senza schermatura, oltre a prelievi di campioni di suolo, vegetali e particolato atmosferico.

I campioni sono stati poi trattati ed analizzati presso il laboratorio di spettrometria gamma della SOS Fisica Ambientale di ARPA Friuli Venezia Giulia.

Alcuni dei campioni di suolo sono stati inviati al laboratorio Radiazioni Ionizzanti del Dipartimento Tematico Radiazioni di ARPA Piemonte per la determinazione dell'eventuale presenza di uranio depleto, mentre i campioni di acqua potabile e di falda sono stati inviati al laboratorio del Centro Regionale di Radioprotezione di ARPA Lombardia per le analisi del torio e dell'attività  $\alpha$  e  $\beta$  totale.

Sia per l'effettuazione di alcune misure in campo che per l'analisi dei dati è stato inoltre necessario acquisire nuovi accessori per la strumentazione e nuovi software per i quali è stata necessaria l'effettuazione della messa a punto in funzione della piena disponibilità operativa.

L'uso di diverse tecniche di misura, *in situ* e in laboratorio, l'analisi dei dati e delle informazioni raccolte, hanno permesso di ottenere con sufficiente chiarezza un quadro completo della contaminazione da Th-232 in tutta l'area oggetto di indagine e dell'eventuale rischio per la popolazione e per i lavoratori.

## **2. Descrizione del sito e risultati delle analisi pregresse**

Vengono di seguito brevemente riportate alcune informazioni, in grossa parte tratte dal “piano di caratterizzazione ambientale poligono Cellina-Meduna” redatto e fornito dalla 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata “ARIETE”, relative alla storia dell’utilizzo del sito in ambito militare, alla sua descrizione ed ai risultati delle indagini pregresse effettuate dall’Autorità Militare, per quanto di interesse per le attività svolte dalla SOS Fisica Ambientale per la caratterizzazione radiologica del sito stesso.

### **2.1 Storia del sito**

Il poligono è entrato in uso a partire dagli anni 50 ed è stato impiegato, per attività addestrative in bianco e a fuoco, da reparti dell’Esercito dell’Aeronautica. L’ente consegnatario del poligono è il Comando della 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata “ARIETE”, costituito in Pordenone nel 1986, che si avvale per gli aspetti esecutivi del Comando del 32° Reggimento Carri ubicato in Tauriano. Nel poligono sono stati normalmente impiegati tutti i sistemi d’arma in dotazione alla Forza Armata, dalle armi individuali e di reparto ai sistemi controcarro, alle artiglierie dei carri da combattimento.

Attualmente l’impiego del poligono è disciplinato dal regolamento di utilizzo e dai disciplinari d’uso che discendono dai lavori dei comitati misti paritetici costituiti dalle autorità locali e dal Comando Militare dell’Esercito del Friuli Venezia Giulia ubicato in Trieste.

### **2.2 Descrizione del sito**

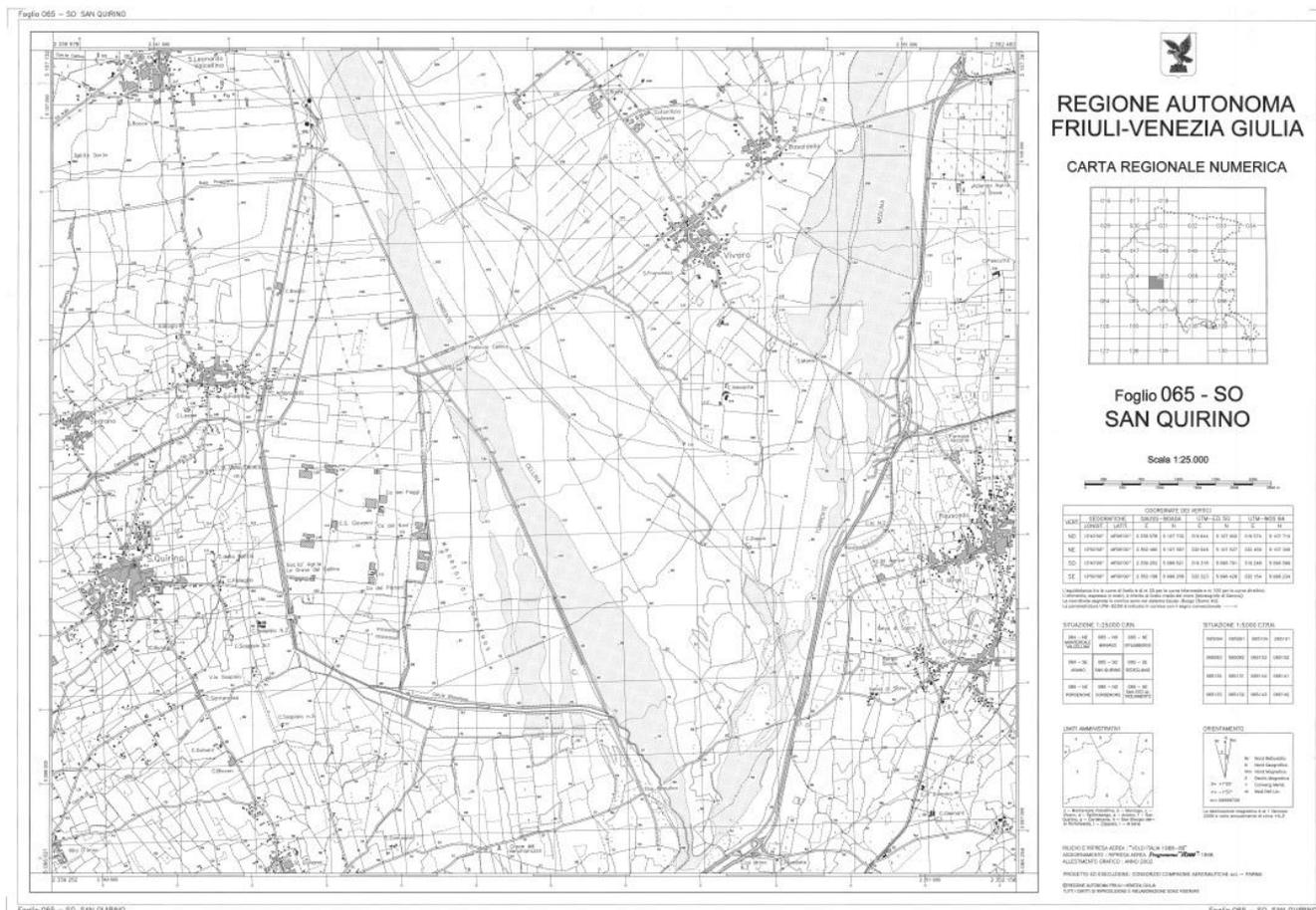
L’area addestrativa è posta in prossimità della confluenza di due fiumi a regime torrentizio, il Cellina e il Meduna, e ricade interamente nel foglio 065-SO della Carta Tecnica Regionale del Friuli Venezia Giulia (scala 1:25000 – figura 2.1).

L’estensione totale è di circa 3470 ettari ed interessa diversi comuni della provincia di Pordenone, tra i quali Cordenons, Vivaro, San Quirino e San Giorgio della Richinvelda.

L’area è accatastata come demaniale, distinta in “ramo Difesa Esercito” e “ramo acque in concessione all’esercito” e rientra all’interno il Sito di Interesse Comunitario SIC IT3310009.

All’interno del poligono è presente l’area oggetto del presente lavoro, che si trova in corrispondenza dei punti di arrivo dei colpi utilizzati durante le esercitazioni. Questi ultimi sono caratterizzati da modesti rilievi realizzati con materiale di riporto, del diametro indicativo di circa 15 m, sopra i quali erano posti carri di battaglia obsoleti che fungevano da bersaglio.

Tali punti si trovano in parte (5 punti) nella porzione di poligono denominato “area C”, che si sviluppa alla destra orografica del torrente Cellina (foglio 065131 Carta Tecnica Regionale), e in parte (3 punti) nella porzione di poligono che si sviluppa alla sinistra orografica dello stesso torrente (foglio 065144 Carta Tecnica Regionale).



**Figura 2.1.** Foglio 065-SO della Carta Tecnica Regionale

L' "area C" si trova inclusa all'interno di una parte di poligono avente estensione di circa 700 ettari, di forma triangolare, con un vertice rivolto a nord dove confina con la strada provinciale 53, a Ovest confina con alcune aree agricole e con gli agglomerati sparsi denominati "Cà dei Platani", "Cà dei Noci" e "Cà dei Faggi", a Est segue l'argine del torrente Cellina, ed infine a Sud scende poco sotto il canale di sfioramento a servizio del Cellina. In quest'area si trovano i bersagli n. 4, 5, 6, 7 e 8, oltre alla linea di tiro. I bersagli 1, 2 e 3 si trovano dall'altra parte del torrente Cellina, dove si trova anche il punto di "bianco". In figura 2.2 è possibile visualizzare la dislocazione di tutti i bersagli, della linea di tiro e del punto di "bianco".



**Figura 2.2.** Dislocazione bersagli, linea di tiro e “bianco”

Allo scopo di rendere evidenti le distanze in gioco, in figura 2.3 e figura 2.4 si riportano alcune viste da satellite (google earth) dell’area su cui insiste il poligono. Il bersaglio dell’ “area C” più prossimo alla linea di tiro dista circa 600 m dal punto di sparo, mentre il più distante circa 1300 m. I bersagli tra di loro distano mediamente 200 m (figura 2.4). I tre bersagli più distanti (1, 2 e 3) si trovano ad oltre 2500 m dalla linea di tiro, una distanza maggiore rispetto alla gittata massima dichiarata dei missili MILAN (figura 2.4).



Figura 2.3. Dislocazione dei bersagli, linea di tiro e “bianco”

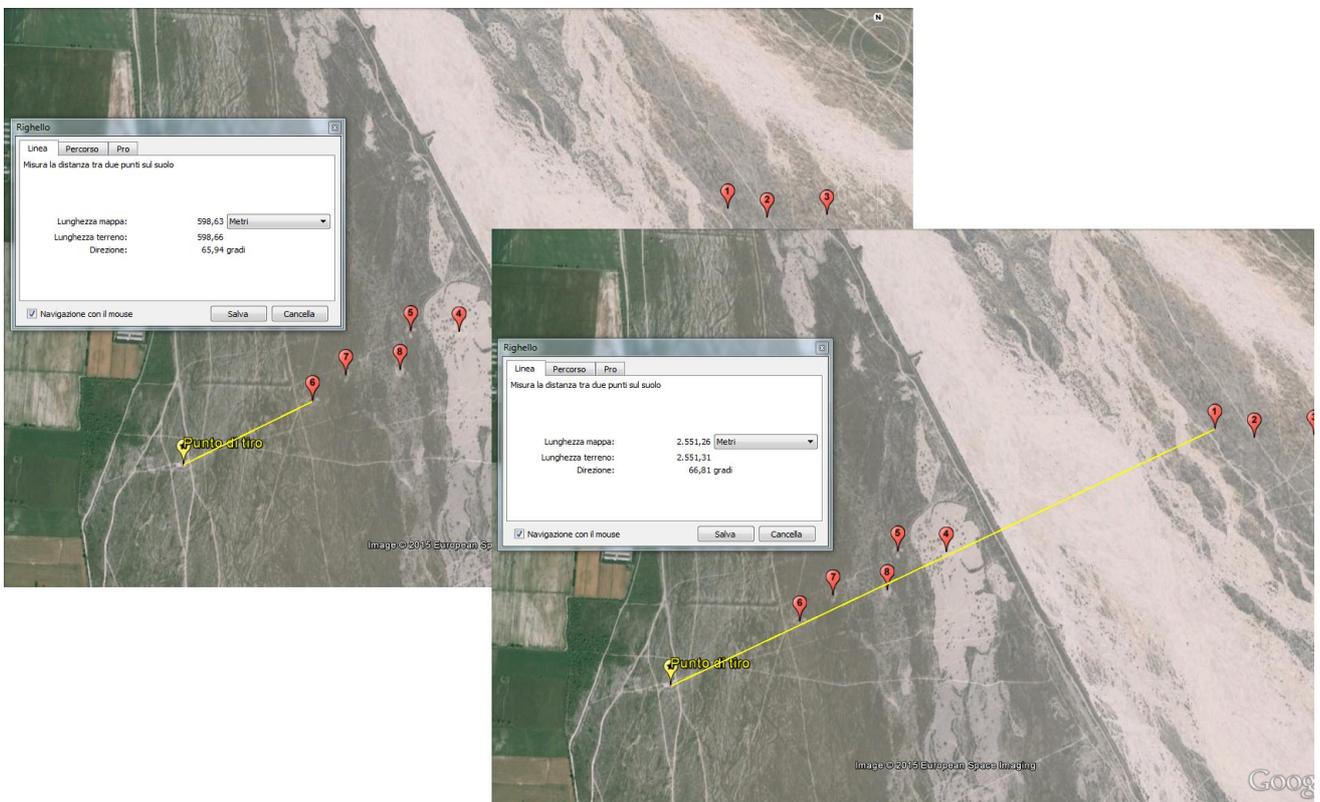


Figura 2.4. Distanze tra linea di tiro e bersagli

In tabella 2.1, per completezza, vengono riportate le coordinate dei bersagli, del punto di “bianco” e del punto centrale della linea di tiro (punto di tiro in figura 2.4) in Gauss-Boaga e WGS84, mentre in tabella 2.2 vengono riportate le distanze tra i bersagli e la linea di tiro.

**Tabella 2.1.** Coordinate dei bersagli, del “bianco” e della linea di tiro

<b>Punto</b>	<b>Gauss-Boaga Roma40</b>		<b>WGS84 GMS</b>	
	<b>(EST,NORD)</b>		<b>(EST,NORD)</b>	
<b>Bersaglio 1</b>	2346885	5100959	12°45'45"	46°02'25"
<b>Bersaglio 2</b>	2347049	5100907	12°45'53"	46°02'23"
<b>Bersaglio 3</b>	2347307	5100900	12°46'05"	46°02'23"
<b>Bersaglio 4</b>	2345696	5100517	12°44'51"	46°02'09"
<b>Bersaglio 5</b>	2345494	5100534	12°44'41"	46°02'09"
<b>Bersaglio 6</b>	2345060	5100266	12°44'21"	46°02'00"
<b>Bersaglio 7</b>	2345208	5100367	12°44'28"	46°02'04"
<b>Bersaglio 8</b>	2345436	5100370	12°44'39"	46°02'04"
<b>Bianco</b>	2346809	5103620	12°45'38"	46°03'51"
<b>Linea Tiro</b>	2344510	5100037	12°43'56"	46°01'52"

**Tabella 2.2.** Distanze tra i bersagli e la linea di tiro

<b>Bersaglio</b>	<b>Distanza dalla linea di tiro (m)</b>
<b>1</b>	2555
<b>2</b>	2684
<b>3</b>	2930
<b>4</b>	1283
<b>5</b>	1103
<b>6</b>	597
<b>7</b>	771
<b>8</b>	984

Infine, in figura 2.5, sulla mappa della zona, oltre ai bersagli è riportato, sulla base delle dichiarazioni del personale militare, una rappresentazione grafica dell’angolo di tiro utilizzato durante le esercitazioni (circa 11,5°).



Figura 2.5. Angolo di tiro

### 2.3 Indagini e risultati preliminari

A seguito della rimozione delle carcasse dei carri presenti sui bersagli, lo Stato Maggiore dell'Esercito, IV Reparto Logistico, ha chiesto ed ottenuto l'intervento del Centro Tecnico Logistico Interforze NBC che, in data 10/12/2012, ha eseguito una serie di campionamenti di suolo nei punti bersaglio indicati in tabella 2.3.

Tutti i campioni di suolo sono stati prelevati dal Centro Tecnico Logistico Interforze NBC. La frazione di suolo analizzata è quella superficiale (con profondità di prelievo compresa tra 5 e 10 cm) che è stata setacciata *in situ* al vaglio di 2 cm.

Le indagini svolte hanno accertato il superamento dei valori limite stabiliti dal D.Lgs. 152/2006 in tre degli otto punti di controllo, in particolare nei bersagli 4, 5 e 6 corrispondenti rispettivamente a: "zona arrivo colpi sistemi d'arma C/C 1", "zona arrivo colpi sistemi d'arma C/C 2", "zona arrivo colpi sistemi d'arma C/C 3".

Dai risultati delle indagini svolte (vedi tabella 2.3 in cui sono riportati tutti i risultati analitici sito per sito: in rosso sono evidenziati i superamenti dei livelli limite), risulta che sui siti 4, 5 e 6 sono

stati superati i valori limite previsti dalla tabella B (siti ad uso industriale e commerciale) dell'allegato 5 al titolo V, parte IV del D.Lgs. 152/2006 per quanto riguarda i seguenti metalli pesanti: Antimonio, Cadmio e Piombo nel sito 4; Cadmio, Nichel e Zinco nel sito 5; Antimonio, Cadmio, Nichel, Piombo, Rame e Vanadio nel sito 6.

**Tabella 2.3.** Risultati contaminazione metalli pesanti (concentrazioni in mg/kg)

Parametro	1	2	3	4	5	6	7	8	9*
Antimonio	0,9	0,7	0,8	50,1	23,7	88,9	4,1	0,8	3,8
Arsenico	0,9	0,4	1,3	3,9	2,8	6,7	1,6	0,3	8,5
Berillio	0,1	0,1	0,2	0,9	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3
Cadmio	0,4	1,0	0,6	18,4	101,1	305,0	6,8	0,9	0,8
Cobalto	2,8	1,8	4,2	9,7	17,8	58,3	4,2	2,4	8,7
Cromo tot.	14,8	11,7	26,7	151,6	315,5	281,3	33,0	13,0	36,0
Mercurio	0,5	0,3	0,3	1,1	0,4	1,3	0,3	0,1	1,5
Nichel	50,9	24,1	72,8	174,4	587,4	546,2	168,0	35,2	186,8
Piombo	17,3	13,6	22,3	2751,3	581,4	1360,8	93,5	65,0	57,0
Rame	7,5	8,3	13,4	225,4	114,7	645,9	31,6	13,7	19,0
Selenio	2,4	3,8	5,5	6,5	5,9	5,5	5,9	4,9	4,4
Stagno	92,8	1,1	1,0	37,3	22,9	52,9	3,3	5,0	3,0
Tallio	0,5	0,6	1,0	2,0	1,0	1,2	1,0	0,7	1,3
Vanadio	21,1	44,0	42,0	162,9	126,4	260,0	88,9	29,8	60,1
Zinco	203,0	208,9	369,4	798,4	1919,3	1368,1	1152,2	160,4	123,0
Torio	0,6	0,7	1,1	0,6	0,6	1,0	1,0	0,7	1,4
Uranio	3,1	6,8	6,4	5,8	7,0	5,5	6,5	4,3	6,4
TNT	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

9\* = punto di "bianco"

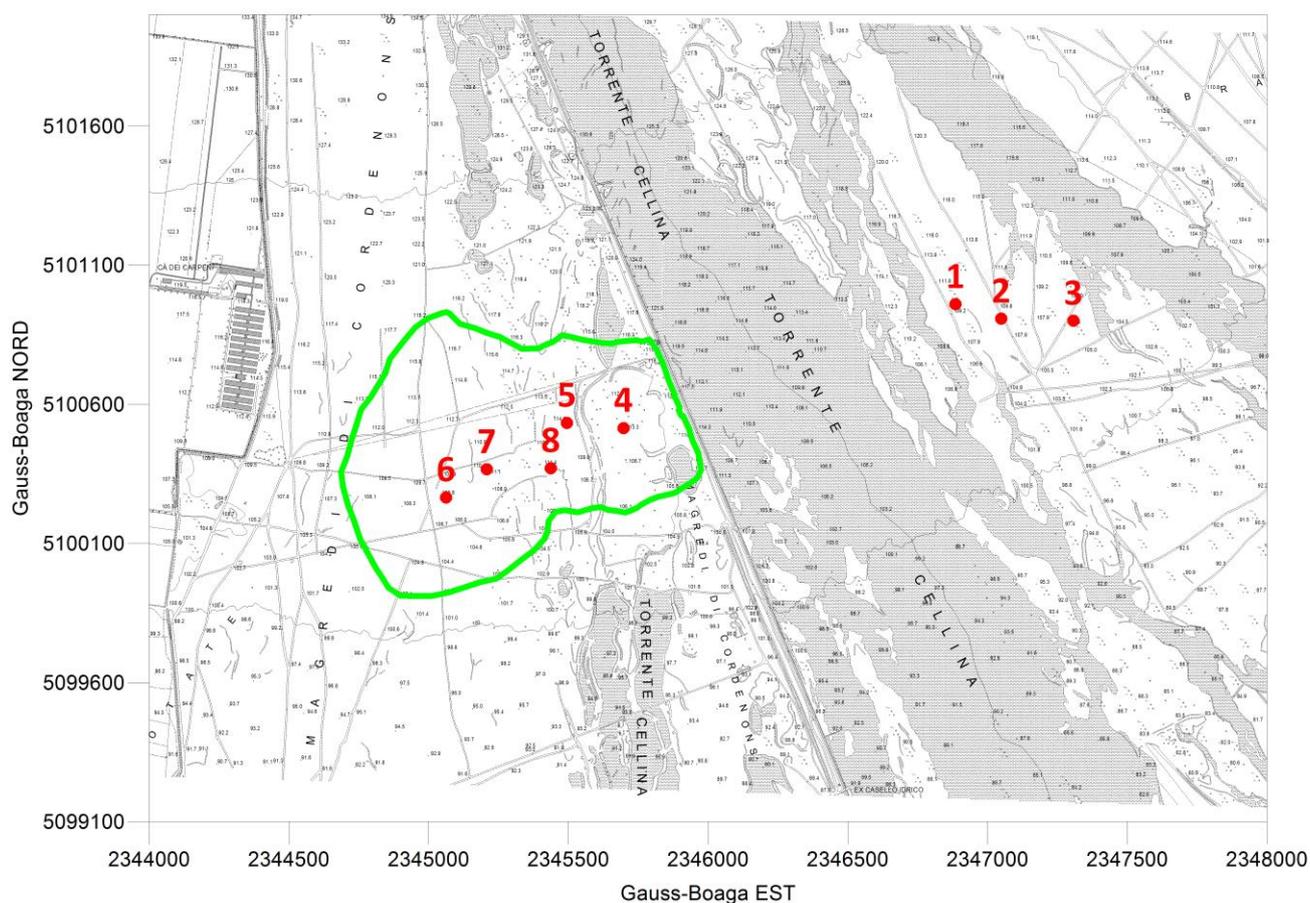
Le concentrazioni di altri metalli quali Arsenico, Berillio, Cobalto, Cromo, Mercurio, Selenio, Stagno, Tallio risultano tutte inferiori ai valori di legge.

Le concentrazioni di Torio, Uranio e Trinitrotoluene, non normate dal D.Lgs. 152/2006, risultano paragonabili a quelle del punto di bianco.

Ricevuta notizia dei risultati analitici, il comandante della 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata "ARIETE" ha notificato, con atto n° 6409/LOG/11.3.1 dell'11/03/2013, la situazione di sito potenzialmente inquinato come previsto dall'art. 242 del D.Lgs. 152/2006.

Poiché il sito in questione si trovava in area demaniale in concessione all'Esercito e poiché il presunto inquinamento deriva da operazioni riconducibili ad addestramenti dei reparti militari, le attività di bonifica risultano a carico delle Forze Armate.

A seguito delle risultanze analitiche, allo scopo di evitare l'ingresso alle persone non autorizzate all'area all'interno della quale sono presenti bersagli risultati contaminati, l'area stessa è stata opportunamente delimitata da una concertina di filo spinato. In figura 2.6 è possibile visualizzare l'estensione geografica di tale recinzione.



**Figura 2.6.** Posizione dei bersagli e della concertina

### 3. Il missile MILAN ed il Th-232

Vengono di seguito riportate alcune caratteristiche dei missili MILAN e le informazioni fornite dalla brigata "ARIETE" relative all'uso dei missili stessi presso il poligono Cellina Meduna. Tali informazioni sono state utili per la comprensione delle modalità di contaminazione da Th-232 e per la conseguente progettazione della campagna di campionamento e misura.

In questo capitolo vengono inoltre brevemente riportate alcune delle caratteristiche fondamentali del radionuclide Th-232, utili alla comprensione dei capitoli successivi.

#### 3.1 Il missile MILAN

Il MILAN (acronimo del francese *Missile d'Infanterie Léger ANTichar*, ovvero *missile anticarro per fanteria leggera*) è un missile anticarro filoguidato a medio raggio, sviluppato a partire dal 1962, ed in produzione dal 1972, da Euromissile, poi confluita nell'attuale MBDA missile systems.

Un missile filoguidato è un missile guidato i cui sistemi di guida viaggiano su cavi sottili che collegano il missile con il suo sistema di puntamento. Durante il volo verso il bersaglio, il missile stende i fili guida, immagazzinati nella sua parte posteriore, mettendo in grado il puntatore di inviare correzioni alla traiettoria. Tale caratteristica, che gli permette di centrare il bersaglio con precisione elevatissima, risulta di fondamentale importanza per le dimensioni delle aree interessate da eventuali contaminanti diffusi in ambiente al momento dell'impatto.

Dalla scheda tecnica riportata sul sito della ditta produttrice, e relativa al missile MILAN attualmente in produzione, risulta che la gittata massima del missile è di 3000 m, mentre la versione precedente, presumibilmente utilizzata presso il poligono Cellina-Meduna, aveva una gittata non superiore ai 2000 m.



Figura 3.1. Missile MILAN

Secondo quanto dichiarato dalla Brigata "ARIETE" (vedi allegato A), il sistema d'arma controcarri a media gittata MILAN è costituito da un lanciatore e un contenitore con missile (connessi meccanicamente ed elettricamente). Il contenitore, in fibra di vetro, ha funzione sia di custodia per il missile che di tubo di lancio. Il missile è suddiviso in tre parti: a. la sezione anteriore, costituita da ogiva, corpo e spoletta; b. la sezione centrale, contenente il sistema d'impennaggio ed il motore di volo, costituito da propellente solido; c. la sezione posteriore, in cui trova alloggiamento l'elettronica di guida.

Per quanto riguarda i lotti di munizionamento del sistema d'arma, approvvigionati fino all'anno 1999, nella miscela comburente, di cui era costituito il motore di volo, era presente una modesta quantità (3,12 g) di torio naturale (essenzialmente ossido di torio) che era destinata ad originare l'emissione infrarossa da parte del tracciatore notturno del sistema di guida del missile. Il tracciatore era costituito anche da altri elementi e il torio costituiva il 13,01% del totale.

Il torio naturale contiene essenzialmente il suo isotopo radioattivo Th-232 ed i missili MILAN, come dichiarato dalle Forze Armate e già descritto, hanno contenuto quindi, nella parte posteriore, piccole quantità di tale radioelemento, fino alla sua messa al bando per utilizzi di questo tipo, avvenuta intorno agli anni 2000.

I residui di tali traccianti si possono ritrovare nei poligoni di tiro dove i missili sono stati utilizzati (JSP 392). Secondo dati del ministero della difesa tedesco, il missile MILAN aveva un contenuto di circa 2 g di torio radioattivo, con un'attività pari a 10 kBq, che veniva rilasciato durante il volo e la successiva detonazione. In letteratura vengono riportati alcuni studi relativi all'impatto ambientale dell'utilizzo dei missili MILAN presso la base militare Shilo in Canada (Gautier C. *et al.*, 2003, Gautier C., 2005).

### **3.2 Utilizzo di missili MILAN presso il poligono**

Secondo la già citata dichiarazione (allegato A), l'esercito, a causa delle molte ristrutturazioni subite negli ultimi trent'anni, non è in grado di definire se vi siano stati reparti, ad oggi non più esistenti ed i cui archivi non sono più disponibili, che abbiano utilizzato in passato il poligono per lanci anche di missili MILAN. Inoltre alcuni documenti inerenti la quantità di missili impiegati tra gli anni '80 ed il 2004, sono stati in parte distrutti in aderenza alle normative in vigore.

Tuttavia il Comando della Brigata "ARIETE" ha cercato di reperire le informazioni richieste ed ha indicato in 308 il numero di missili MILAN sparati presso il poligono Cellina-Meduna durante tutto il periodo antecedente il 2004. Il numero è complessivo e non è possibile ottenere un dato disaggregato per ogni singolo bersaglio.

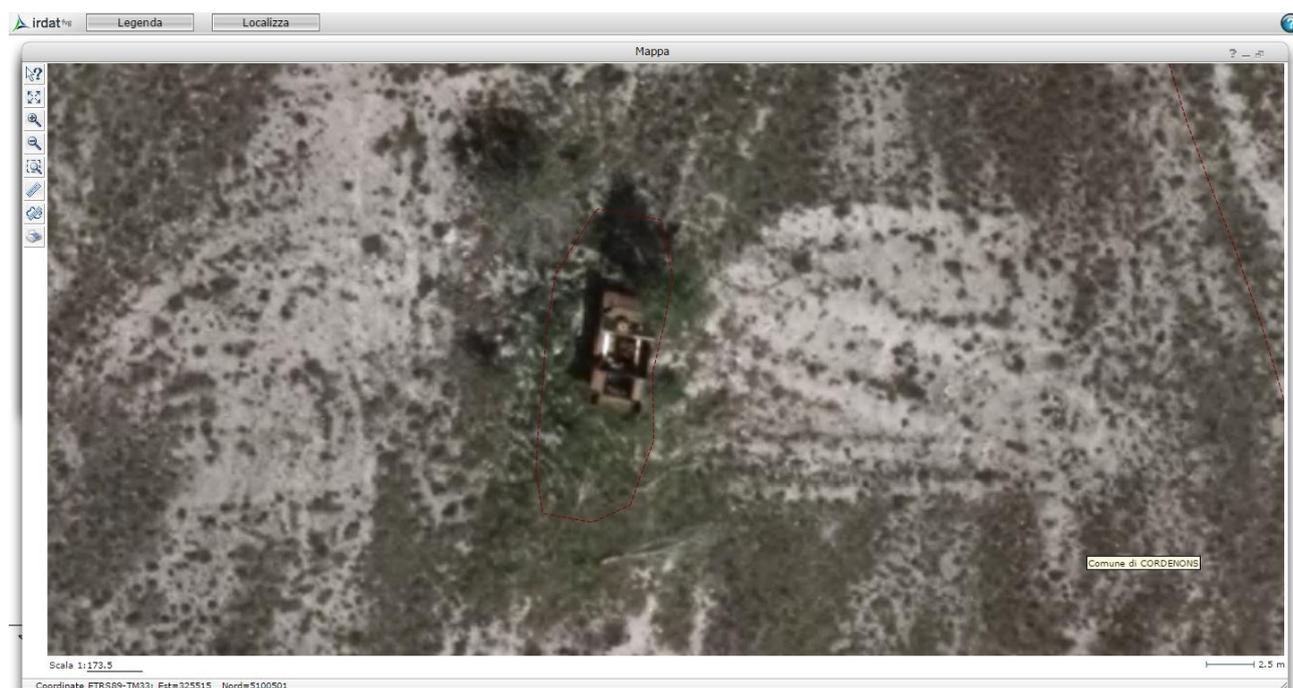
La probabilità dichiarata di colpire il bersaglio è pari al 98% per bersagli compresi tra 250 e 2000 m, come nel caso di specie. Il Comando Brigata riferisce altresì che tale percentuale tende ad

aumentare sensibilmente in considerazione del fatto che, prima di effettuare un'esercitazione a fuoco, tutto il personale interessato esegue un addestramento specifico e propedeutico utilizzando il simulatore del lanciatore MILAN.

Risulta inoltre che, durante le esercitazioni, non sia stato utilizzato munizionamento scoppiante ma a testa inerte/d'addestramento, poiché lo scopo non era far esplodere la carcassa, che anzi è stata utilizzata per anni, ma verificare la giustezza di tiro nelle varie condizioni operative previste dai programmi militari d'addestramento (Si.Eco, 2013). Sulla base di ciò, non dovrebbe esserci proiezione di frammenti del missile e l'unico elemento di dispersione potrebbe essere causato dall'errore di tiro, caso estremamente raro, e nel caso di fallimento l'ordigno dovrebbe comunque cadere a pochi metri dal bersaglio.

L'ubicazione di linea di tiro e bersagli risulta essere quella riportata nel capitolo 2 di questo rapporto.

In figura 3.2 è riportata una vista da satellite del sito, datata 2012, in cui sono ancora chiaramente presenti la carcasse dei carri armati poste sui rilievi all'interno del poligono ed utilizzate come bersagli durante le esercitazioni.



**Figura 3.2.** Carcassa di carro armato sul bersaglio 5 presso il poligono Cellina-Meduna (2012)

Nel già citato allegato, sono riportate le modalità di rimozione/bonifica delle carcasse utilizzate come bersaglio e dei missili sparati e le loro destinazioni per lo smaltimento finale.



**Figura 3.3.** Parte di un missile rinvenuto nei pressi di uno dei bersagli



**Figura 3.4.** Residui ancora presenti sulla sommità dei rilievi dopo la bonifica

In figura 3.3 si può vedere una parte di un missile (non contaminato da Th-232) rinvenuto durante uno dei numerosi sopralluoghi effettuati dal personale della SOS Fisica Ambientale nei pressi di uno dei bersagli. Mentre in figura 3.4 si vedono parti più piccole di missili, sulla sommità dei rilievi, dopo la bonifica.

### 3.3 Il Th-232

Il torio è un elemento metallico radioattivo che si trova in basse concentrazioni, 10 p.p.m, nella crosta terrestre. In natura si trova, con un'abbondanza relativa maggiore del 99%, sotto forma di Th-232. I principali minerali che lo contengono sono la torite e la monazite. Il suo più importante composto è il biossido di torio. Il Th-232, di cui è essenzialmente composto, come l'U-238, è un radionuclide naturale primordiale, con un tempo di dimezzamento molto lungo (14 miliardi di anni) ed è distribuito in maniera praticamente ubiquitaria nella crosta terrestre con valori di concentrazione di attività, molto variabili, in funzione della quantità di minerali presenti, generalmente comprese tra 25 e 50 Bq/kg (ISS, Schede Chimico Tossicologiche-radionuclidi).

In Italia sono le rocce vulcaniche presenti, ad esempio, in aree ad elevata radioattività naturale in Toscana, Lazio e Campania, che possono costituire la principale sorgente di Th-232. Sabbie di monazite (fosfato di torio e terre rare, con presenza tra il 3 ed il 12% di ossido di torio) sono presenti nel delta del Nilo.

La sua immissione in ambiente è associata all'industria mineraria, specialmente quella del rame, alle terre e sabbie impiegate per l'estrazione di tale metallo che, se utilizzate per uso agricolo o zootecnico, e se dilavate dall'acqua, possono dar luogo a contaminazioni degli alimenti sia di origine vegetale che animale.

Il Th-232 trova anche applicazione nell'industria della ceramica ed aerospaziale. Nel passato è stato utilizzato nelle reticelle delle lampade a gas e nei missili MILAN. Il torio viene utilizzato, non per la sua radioattività, ma per altre proprietà fisiche, ad esempio come agente indurente in leghe, per le proprietà ottiche nelle lenti o per le sue proprietà di incandescenza.

La principale via di esposizione non professionale è costituita dall'inalazione (2/3 della dose assunta) in quanto la biodisponibilità gastroenterica è bassa e varia sia con l'età che con la forma chimica. Tra i prodotti alimentari, i maggiori contributi sembrano dovuti ai vegetali. L'esposizione alimentare per il Th-232 viene stimata nell'intervallo di 1-10 Bq/anno con una media di 1.7 Bq/anno per i paesi europei, ed è di fatto ritenuta sostanzialmente priva di effetti sulla salute.

Se inalato o ingerito è in grado di depositarsi in diversi distretti dell'organismo, maggiormente nel tessuto osseo e nel polmone, ma anche in quantità inferiori nei reni, nel fegato e nel cervello. Esposizioni croniche possono essere correlate con l'insorgenza di tumori, specie a carico dell'apparato scheletrico e del polmone.

Il decadimento radioattivo del Th-232 produce una serie di elementi anch'essi radioattivi, che decadono a loro volta fino ad arrivare all'ultimo elemento, il Pb-208 che è stabile. In figura 3.5 è riportato lo schema di decadimento del Th-232.

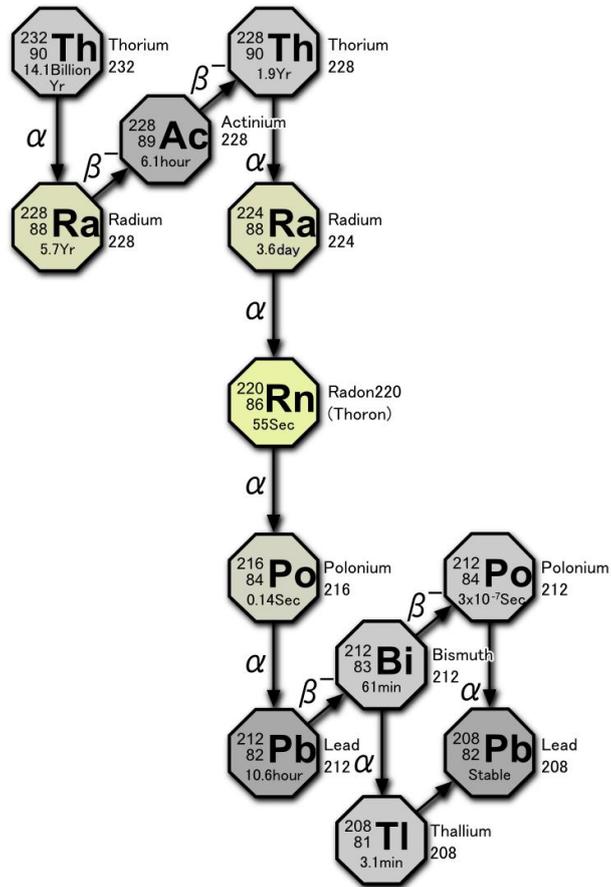


Figura 3.5. Schema di decadimento del Th-232

Il Th-232, pur essendo un metallo, non è contemplato nel D.Lgs 152/2006 che stabilisce le CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) per diverse specie nei suoli con diversa destinazione (residenziale/verde pubblico - Tabella A, commerciale/industriale - Tabella B). Esso è invece normato, in forza della sua natura radioattiva, da leggi nazionali e/o Direttive e Linee Guida sovranazionali. Tra queste il D.Lgs. 230/95, Il D.Lgs. 241/00 e le loro modifiche ed integrazioni, le Direttive Euratom (Commissione Europea) in materia radioprotezionistica, la Linea Guida RP 122 (Radiation Protection 122 part I and Part II), ecc.

## 4. Risultati preliminari e metodologie di indagine

In questo capitolo vengono riportati alcuni dei risultati preliminari, oltre alla descrizione degli strumenti utilizzati per ottenerli, sulla base dei quali sono state definite le metodologie di indagine che hanno portato al raggiungimento degli obiettivi previsti dallo studio. La maggior parte della strumentazione e dei software utilizzati era già patrimonio di ARPA FVG, tuttavia la particolarità della situazione che si è riscontrata in campo ha obbligato l'agenzia ad eseguire misure più raffinate che hanno richiesto l'acquisizione di alcuni accessori e software specifici. Di seguito vengono quindi descritte anche le modalità di messa a punto delle nuove risorse e l'uso che di esse è stato fatto.

### 4.1 Misura del livello di radiazione

Allo scopo di valutare immediatamente l'eventuale pericolosità dell'area per chi avesse dovuto accedervi per qualsivoglia attività, compresa quella relativa a campionamenti e misure per la caratterizzazione radiologica del sito, è stata effettuata una serie di misure mediante diversi tipi di rilevatori, in grado di fornire una prima indicazione sul livello di radiazione in un determinato punto, senza tuttavia dare informazioni sul radionuclide che produce tale livello di radioattività. Poiché la radioattività naturale è presente ovunque, con queste misure è possibile valutare se, ed eventualmente dove, vi siano livelli di radioattività significativamente superiori a quelli dovuti al fondo naturale di radiazione.

Le misure sono state effettuate facendo uso dei seguenti strumenti: Automess (rivelatore a scintillazione, di seguito denominato strumento A); Berthold (contaminometro, di seguito denominato strumento B); Thermo (rivelatore a scintillazione, di seguito denominato strumento T). L'Automess è un rivelatore di radiazione con sonda a scintillazione gassosa. Questo fornisce i valori del rateo di dose assorbita espressa in Sv/h (Sievert su ora). Il Berthold è un contaminometro che fornisce un'indicazione della radioattività di un campione in cps (colpi per secondo). Il Thermo infine è anch'esso un rivelatore a scintillazione, in questo caso solida (Ioduro di Sodio), e può essere utilizzato per la determinazione sia del rateo di dose assorbita che del livello di radiazione espresso in cps.

Le misure sono state inizialmente effettuate sui bersagli più vicini alla linea di tiro e nelle loro immediate vicinanze allo scopo di scegliere tre siti adatti al prelievo di campioni di suolo da trattare e spedire al laboratorio di ARPA Piemonte per la determinazione dell'eventuale presenza di uranio depleto. Nell'ambito di tale indagine è stata rilevata la presenza di deboli anomalie radiometriche rispetto al fondo ambientale. Sono stati quindi effettuati accurati rilievi su tutti i bersagli, sulla linea di tiro e su un punto di "bianco", sicuramente non interessato da eventuali residui di contaminanti determinati dalle operazioni di esercitazione militare effettuate all'interno del poligono. In figura 4.1 e nella successiva figura 4.2 si vede l'esecuzione di misure di livello di

radiazione con strumentazione portatile, rispettivamente sulla sommità di un rilievo e dopo asportazione di un campione di suolo.



**Figura 4.1.** Misura di livello di radiazione sulla sommità di un rilievo mediante strumento Berthold



**Figura 4.2.** Misura di livello di radiazione dopo asportazione di un campione di suolo superficiale

L'effettuazione di misure dopo asportazione di un campione di suolo superficiale permette una prima valutazione dell'eventuale delimitazione della frazione contaminata e della profondità della contaminazione.

In tabella 4.1 sono riportati i valori massimi di intensità di dose gamma (strumento A: nSv/h) e livello di radiazione (strumento B: cps) misurati, a contatto con il suolo, sulla sommità dei rilievi al di sopra dei quali erano poste le sagome bersaglio. Tali punti vengono di seguito denominati bersagli e sono numerati da 1 a 8, secondo la descrizione riportata nel capitolo 2. Nella stessa tabella sono indicati anche i valori misurati presso la linea di tiro ed il punto di "bianco", anch'essi individuati nel capitolo 2 (in particolare si vedano le figure 2.2, 2.3 e 2.4). In ogni caso il valore massimo misurato, in particolare per i bersagli 5, 6, 7 e 8, è pari a poco più di due volte il fondo naturale misurato presso il punto di "bianco" e, al massimo, circa tre volte il fondo misurato nelle vicinanze dei bersagli. Le misure effettuate sulla sommità dei rilievi relativi ai bersagli più lontani dalla linea di tiro (1,2,3 e 4) e presso la linea di tiro stessa, non hanno evidenziato alcun superamento dei valori di fondo.

**Tabella 4.1.** Alcuni valori di livello di radiazione  
Strumento di misura: A=Automess, B=Berthold

<b>Punto</b>	<b>Punto di massimo</b>		<b>Fondo</b>	
	A (nSv/h)	B (cps)	A (nSv/h)	B (cps)
<b>Bersaglio 1</b>	46	11	45	10
<b>Bersaglio 2</b>	50	12	49	11
<b>Bersaglio 3</b>	45	11	45	11
<b>Bersaglio 4</b>	60	11	60	9
<b>Bersaglio 5</b>	120	30	60	14
<b>Bersaglio 6</b>	150	40	50	15
<b>Bersaglio 7</b>	119	29	64	14
<b>Bersaglio 8</b>	150	30	65	6
<b>Bianco</b>	60	11	--	--
<b>Linea tiro</b>	55	11	60	14

Effettuando misure di dettaglio su tutta la superficie dei rilievi, a contatto con il suolo, è stato possibile verificare la presenza di alcuni valori anomali di livello di radiazione, corrispondenti ad aree dell'ordine del cm<sup>2</sup>, presumibilmente causati dalla presenza in tali aree di minutissimi frammenti radiocontaminati, derivanti da residui di missili da esercitazione andati a colpire le sagome poste sui bersagli e rimasti sepolti, anche dopo l'asportazione delle stesse durante la bonifica del sito. A titolo di esempio, in tabella 4.2, vengono riportati i valori misurati con i diversi strumenti, rilevati nel punto di massima contaminazione (hotspot) alla base del bersaglio 6. Nella restante parte del rilievo i valori di livello di radiazione risultano molto inferiori.

**Tabella 4.2.** Valori di livello di radiazione nel punto di massima contaminazione (hotspot) presso il bersaglio 6.  
Strumento di misura: A=Automess, B=Berthold, T=Thermo

<b>Punto</b>	<b>Valori massimi</b>			<b>Fondo</b>		
<b>Strumento</b>	A (nSv/h)	B (cps)	T (cps)	A (nSv/h)	B (cps)	T (cps)
<b>Hotspot</b>	470	84	580	40	14	45

In figura 4.3 si può vedere come si presentano le sommità dei rilievi: nonostante l'avvenuta bonifica, numerosi sono i frammenti di missile ancora presenti in ambiente e costituiti da diverse tipologie di materiale: plastico, metallico, ecc.



**Figura 4.3.** Presenza di frammenti di missile sulla sommità di uno dei rilievi

Poiché le misure di livello di radiazione non permettono di individuare il/i radionuclide/i responsabile/i dell'anomalia radiometrica, a seguito dei risultati di tali misure sono state eseguite le prime misure di spettrometria gamma in campo, come descritto nel paragrafo successivo, ed i primi prelievi di suolo e di altri materiali da sottoporre a spettrometria gamma in laboratorio allo

scopo di definire con esattezza il/i radionuclide/i responsabile/i dell'anomalia radiometrica e di identificare eventuali parti contaminate.

## 4.2 Spettrometria gamma

Le misure di spettrometria gamma, effettuate sia *in situ* (in campo con strumentazione portatile), sia in laboratorio, con strumentazione fissa, permettono di individuare i radionuclidi gamma emettitori responsabili di eventuali anomalie radiometriche. La spettrometria gamma *in situ*, vedi figura 4.4, permette di effettuare innanzitutto un'indagine qualitativa dei radionuclidi presenti in un certo angolo solido sotteso dal rivelatore. In seguito, con opportune calibrazioni del sistema, è possibile effettuare anche una misura quantitativa dei singoli radionuclidi, mediante alcune assunzioni semplificative relative alla distribuzione dei radionuclidi nel suolo.



Figura 4.4. Misura di spettrometria gamma *in situ*

Campioni di suolo possono inoltre essere prelevati, trattati opportunamente e misurati mediante spettrometria gamma in laboratorio: in questo caso l'identificazione sia qualitativa che quantitativa, effettuate le opportune calibrazioni, risulta immediata. Come detto, per poter stabilire la causa dell'inquinamento radioattivo, è necessario effettuare misure di spettrometria gamma, sia *in situ* (con strumentazione portatile), che sui campioni di suolo e altro prelevati in campo.

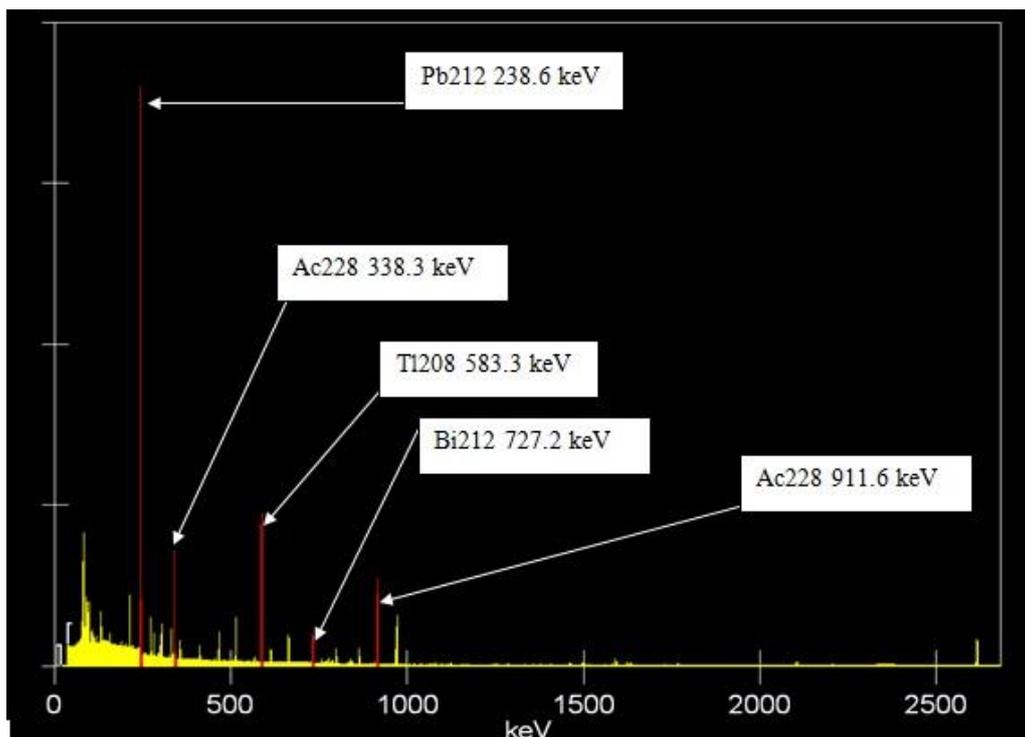
La SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG dispone di 4 catene per la misura di spettrometria gamma in laboratorio (3 presso la sede di Udine ed una presso quella di Gorizia) e due strumenti portatili per la spettrometria gamma *in situ*. Tutti gli strumenti sono rivelatori a semiconduttore al Germanio iperpuro (HpGe, High Purity Germanium), con efficienze comprese tra il 30% e l'80% sulla riga a 1332,5 keV del Co-60, e sono costantemente raffreddati con azoto liquido.

La strumentazione portatile, come si vede in figura 4.4, viene fissata su appositi sostegni, con lo strumento rivelatore rivolto verso il basso, ad una ben definita distanza dal suolo.

I rivelatori vengono alimentati da un'alta tensione e, mediante un'opportuna serie di moduli elettronici, tra cui un convertitore analogico digitale, è possibile ottenere uno spettro dei segnali rilevati che, opportunamente calibrato e trattato, dà indicazioni sulla natura del radionuclide rilevato e sulla sua attività in termini di Becquerel (Bq) per unità di massa, superficie o volume. Ciò è possibile perché ciascun radionuclide gamma emettitore ha la caratteristica di emettere radiazioni gamma a una o più determinate energie. La presenza di tali righe nello spettro e la successiva analisi tramite software specifici, dà la possibilità di determinare l'attività specifica del radionuclide di interesse.

Poiché il Th-232 emette fotoni gamma difficilmente rilevabili dagli strumenti di misura indicati, per la sua identificazione vengono ricercate le righe gamma di alcuni dei suoi prodotti di decadimento (vedi capitolo 3, paragrafo 3.3), ad esempio quelle relative agli isotopi Ac-228, Pb-212, Bi-212 e Tl-208 che sono invece ben visibili. Poiché il Th-232 ha un tempo di dimezzamento molto lungo, dell'ordine dei  $10^9$  anni, possiamo ragionevolmente assumere che sia in "equilibrio secolare" con i suoi discendenti: come conseguenza di ciò, dall'attività dei discendenti, che in questo caso è uguale a quella del capostipite, si può facilmente risalire a quella del Th-232.

Una semplice verifica sperimentale della situazione di "equilibrio secolare", si può avere osservando le concentrazioni misurate dei discendenti del Th-232, che devono essere, nei limiti degli errori strumentali, uguali tra di loro. Le misure effettuate hanno mostrato effettivamente attività di Ac-228, Pb-212 e Bi-212 compatibili tra loro e conseguentemente viene facilmente calcolata la concentrazione di Th-232. In figura 4.5 è riportato uno spettro ricavato dalla misura di spettrometria gamma in un campione di suolo in cui sono presenti quantità significative di Th-232 e dei suoi prodotti di decadimento.



**Figura 4.5.** Spettro delle emissioni gamma di un campione contenente Th-232 ed i suoi prodotti di decadimento

Osservandolo lo schema di decadimento riportato in figura 3.3, inoltre, si può notare come, in corrispondenza dell'isotopo Bi-212, la catena di decadimento si scinda in due: al 64,04% si ha un decadimento  $\beta^-$  che dà origine al Po-212 e al 35,94% si ha un decadimento  $\alpha$  che genera il Tl-208. I risultati dell'attività del Tl-208 confermano, anche in questo caso, i dati previsti dalla letteratura.

Nei risultati delle misure di spettrometria gamma, sia in laboratorio che in situ, l'errore è quello di misura ( $2\sigma$ ) o quello assoluto calcolato mediante la propagazione degli errori, a seconda che si tratti del risultato diretto di una misura o meno.

#### 4.2.1 Correzione per autoassorbimento

Come già sottolineato, i prodotti di decadimento del Th-232 emettono radiazione gamma a diverse energie. Tali radiazioni subiscono un autoassorbimento da parte della materia che dipende sia dalla loro energia che dalla densità della materia. Le curve di efficienza dei rivelatori al Germanio vengono normalmente eseguite con sorgenti di calibrazione di densità pari a  $1 \text{ g/cm}^3$  e così è anche per quanto riguarda le calibrazioni dei rivelatori del laboratorio di ARPA Friuli Venezia Giulia, mentre i campioni di suolo hanno in genere densità diverse da 1. Per valutare i diversi coefficienti di autoassorbimento in funzione della densità del campione e dell'energia della radiazione gamma, in particolare nel caso di radionuclidi di origine naturale come il Th-232 ed i suoi discendenti, è stato necessario utilizzare un software particolare (GeSpeCor) mediante il quale è possibile applicare la necessaria correzione. Il software citato è stato valutato acquisito

ed il personale della SOS Fisica Ambientale è stato istruito al suo uso durante un breve soggiorno a Perugia presso il Servizio Radiazioni Ionizzanti di ARPA Umbria.

#### 4.2.2 Spettrometria gamma in laboratorio

In figura 4.6 è riportata un'immagine relativa al laboratorio principale di spettrometria gamma della SOS Fisica Ambientale.



**Figura 4.6.** Laboratorio di spettrometria gamma SOS Fisica Ambientale: pozzetti contenenti i rivelatori al Germanio

Nella figura è possibile notare che i rivelatori al germanio sono alloggiati all'interno di un pozzetto in piombo a basso fondo dello spessore di 10 cm che ha lo scopo di ridurre la radiazione naturale di fondo che, attraversando il rivelatore al germanio, ne peggiora le caratteristiche di rivelazione. Il campione da misurare viene inserito sulla testa del rivelatore all'interno del pozzetto in piombo. Sulla base delle calibrazioni effettuate, della geometria di misura del campione e della sua massa, del tempo di misura e delle eventuali correzioni per autoassorbimento o per altri fenomeni quali l'effetto somma, attraverso l'uso di opportuni software, è possibile valutare l'attività dei radionuclidi gamma emettitori presenti nel campione. I campioni da misurare devono essere opportunamente preparati (si vedano i paragrafi 4.3 e 4.4) e la durata delle misure non è stata, in genere, inferiore a 72000 s.

#### 4.2.3 Spettrometria gamma *in situ* con e senza collimatori

Ai risultati ottenuti dall'analisi dei suoli, ARPA FVG ha affiancato anche una prima serie di misure di spettrometria gamma *in situ* su tutti i bersagli, nel punto di "bianco", sulla linea di tiro e, in seguito, in alcuni punti definiti da una griglia costruita *ad hoc*.

Le misure *in situ*, effettuate utilizzando un rivelatore portatile al Germanio iperpuro raffreddato con azoto liquido, forniscono in primo luogo una valutazione qualitativa della contaminazione del sito, permettendo l'immediata definizione dei radionuclidi presenti, senza la necessità di effettuare prelievi di suolo o di altre matrici ambientali. Attraverso l'uso di software specifici, è stato possibile anche ottenere stime della concentrazione dei radionuclidi presenti, che sono state confrontate con le misure di campioni di suolo eseguite in laboratorio allo scopo di mettere a punto il sistema di misura per le successive Fasi della campagna di caratterizzazione del sito.

Le misure di spettrometria gamma *in situ* possono essere fatte in due configurazioni: con e senza l'utilizzo dei collimatori.



Figura 4.7. Spettrometria gamma *in situ* senza collimatori

Nella configurazione senza collimatori (figura 4.7) il Germanio viene posto su un treppiedi ad un'altezza fissa di 1 metro dal suolo, mentre in quella con i collimatori (figura 4.8) lo stesso strumento viene posto su un apposito carrello in modo tale che il rivelatore sia circondato dagli schermi di piombo che, bloccando la radiazione cosmica e quella proveniente dai punti più distanti dal rivelatore, focalizza la rivelazione in un'area ben delimitata posta immediatamente sotto lo strumento stesso.

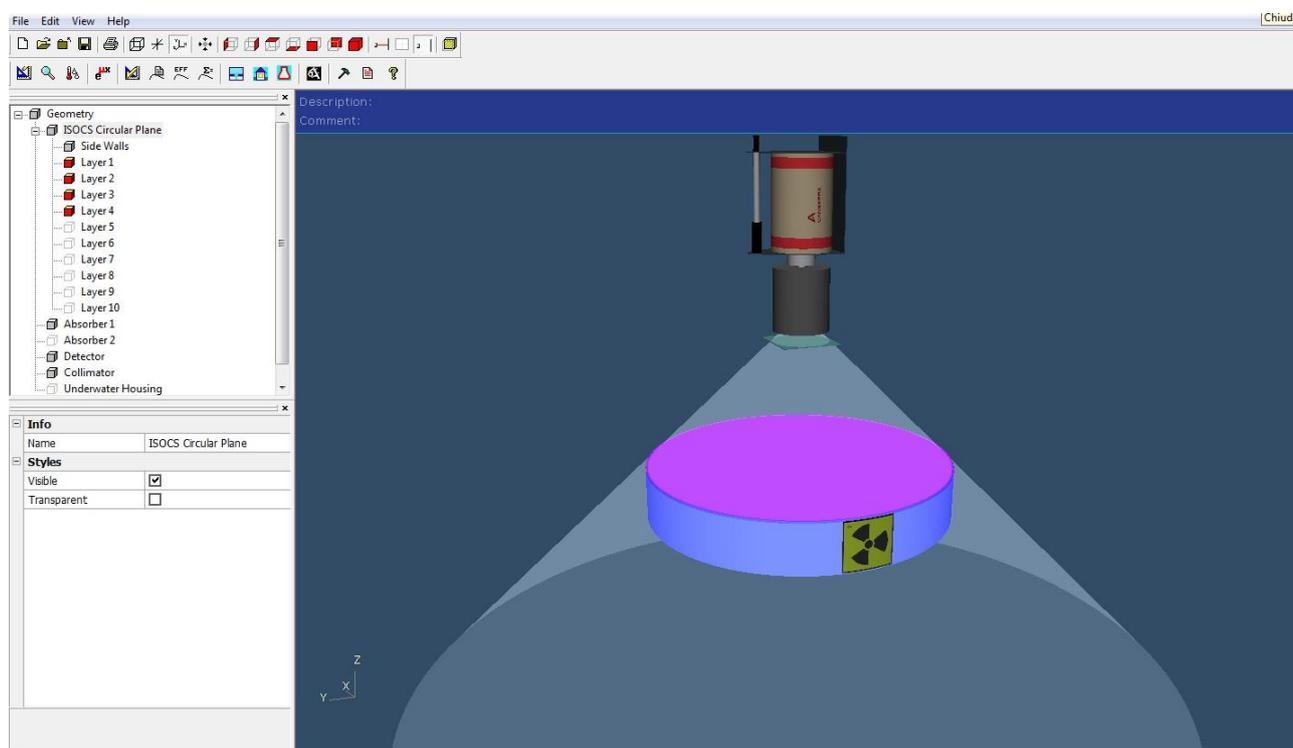


**Figura 4.8.** Spettrometria gamma *in situ* con collimatori

Le due configurazioni di misura, che sono state entrambe utilizzate durante la campagna di caratterizzazione del sito, vengono utilizzate con obiettivi diversi: l'utilizzo dei collimatori permette

di ottenere valori di concentrazione puntuali e limitati al punto di misura, mentre in assenza di schermatura è possibile ottenere una stima della contaminazione di più ampie superfici.

ARPA FVG ha dovuto acquistare il carrello con i diversi collimatori e mettere a punto il sistema di misura con questo accessorio. Nella configurazione utilizzata da ARPA FVG il rivelatore al Germanio posto sul carrellino si trova ad un'altezza di 56 cm dal suolo. I collimatori sono disposti in modo tale che il loro angolo rispetto alla verticale sia di 45°. Da semplici considerazioni trigonometriche si può concludere che il piano che il rivelatore “vede” sotto di lui è il piano costituito da un cerchio con centro la proiezione del rivelatore sul piano e diametro 112 cm. In figura 4.9 è possibile visualizzare tale piano.



**Figura 4.9.** Piano di riferimento per la spettrometria gamma *in situ* con collimatori

Su tutti i bersagli sono state eseguite misure in entrambe le configurazioni. Senza collimatori è stata eseguita una misura sulla sommità di ogni rilievo ed una misura di “bianco” ad una decina di metri dalla base del rilievo stesso. Nella configurazione con i collimatori sono state eseguite diverse misure su ogni bersaglio, allo scopo di ottenere la distribuzione della concentrazione del Th-232 sui rilievi e nei loro intorno. La scelta dei punti di misura è descritta in uno dei paragrafi successivi (4.6). Nello stesso paragrafo è descritta anche la modalità di scelta della griglia per la determinazione dei punti su cui sono state programmate 28 misure di spettrometria gamma senza collimatori allo scopo di valutare l'eventuale contaminazione nell'area circostante i rilievi.

Le misure di spettrometria gamma *in situ* effettuate sui bersagli hanno avuto una durata di 600 s, mentre quelle effettuate al di fuori di essi, dove l'attività di Th-232 è risultata pari ai valori di fondo ambientale, hanno avuto una durata di 900 s.

### 4.3 Campionamento e trattamento campioni di suolo, alimenti ed altre matrici

#### 4.3.1 Suoli

In tutti i bersagli, nel punto di "bianco" e sulla linea di tiro, sono stati prelevati campioni di suolo superficiale: sono stati asportati i primi 5 cm di suolo tal quale, su una superficie di 50x50 cm<sup>2</sup>. I campioni di suolo prelevati sui bersagli risultati contaminati, sono stati raccolti nel punto di maggiore livello di radiazione e quindi di maggiore contaminazione.

Sul bersaglio 7 sono stati inoltre prelevati ulteriori 3 strati di suolo, dello spessore di 5 cm ciascuno, sottostanti a quello superficiale, per un totale di 20 cm di profondità. Ciò è stato fatto allo scopo di ottenere una stima del profilo in profondità della concentrazione del Th-232. Questo dato è utile sia per la comprensione della penetrazione in profondità e quindi della potenziale mobilità nel suolo del radionuclide, sia per il suo uso, in fase di analisi dati, nella costruzione del profilo geometrico teorico da utilizzare nella valutazione della concentrazione di Th-232 negli altri bersagli. In figura 4.10 sono riportate alcune fasi del campionamento dei suoli.



**Figura 4.10.** Fasi di campionamento suoli

I campioni di suolo prelevati sono stati portati in laboratorio e trattati come da protocollo ANPA (2000): misura del peso fresco, essiccazione in stufa a 60°C, misura del peso secco e determinazione del rapporto fresco/secco, setacciatura a 2 mm, riempimento di becker di Marinelli con la massa fine così ottenuta ed infine misura di spettrometria gamma in laboratorio.

Il campione di materiale setacciato a 2 mm, ricavato dal prelievo fatto presso ciascun bersaglio, è risultato di quantità variabile, sono stati quindi preparati un numero variabile di becker (da 1 a 3) per ciascun bersaglio ed i risultati delle misure ottenute nel caso di più campioni per bersaglio sono stati mediati.

Poiché inevitabilmente una certa quantità di terra resta adesa ai sassi che compongono lo scheletro del campione, per ogni bersaglio è stata misurata anche un'aliquota del campione di scheletro. In figura 4.11 si vede il campione tal quale ed il risultato della setacciatura.



**Figura 4.11.** Campione di suolo tal quale (a sinistra) e dopo la setacciatura

Tenendo conto dello scheletro e delle superficie e profondità di prelievo, è possibile valutare la concentrazione di Th-232, in un determinato sito, in termini di concentrazione nella frazione fine, nello scheletro, nel tal quale ed anche in termini di concentrazione superficiale (in Bq/m<sup>2</sup>) nei primi 5 cm di suolo.

In considerazione dell'alto numero di frammenti di origine antropica, di diversa pezzatura, presenti sui bersagli (si veda ad esempio figura 4.3), per alcuni siti di campionamento, prima dell'ultimo vaglio a 2 mm, i frammenti sono stati separati dalla restante parte di scheletro, andando a costituire un cosiddetto "scheletro artificiale", che è stato misurato separatamente allo scopo di stabilire se esso rappresentasse la sorgente primaria di contaminazione. Anche il valore della concentrazione di Th-232 misurata nello scheletro artificiale è stato considerato per il calcolo della concentrazione nel tal quale e nella concentrazione superficiale.

### **4.3.2 Vegetali**

I campioni di vegetali sono stati prelevati sulla linea di tiro, nei punti di “bianco” e sulla sommità dei bersagli 1, 2, 6 e 8. In prossimità del rilievo 8 è stato prelevato un ulteriore campione di “bianco” ad una decina di metri dal rilievo stesso. I campioni sono stati prelevati raccogliendo le parti epigee di tutti i vegetali presenti su una superficie di 50x50 cm<sup>2</sup>.

Presso il bersaglio 7 è stato eseguito un campionamento di radici, che sono state poi lavate delicatamente allo scopo di eliminare la presenza di Th-232 dovuta al suolo che resta adeso ad esse.

Tutti i campioni sono stati poi essiccati in stufa a 60° C, ne è stato determinato il rapporto peso fresco/peso secco e sono stati posizionati in becker di Marinelli da 1 l o in contenitori più piccoli opportunamente tarati.

Nel corso dei diversi sopralluoghi effettuati sono stati raccolti un campione di feci di lepre e due di funghi spontanei. L'esigua quantità del campione ha tuttavia impedito che la misura del Th-232 risultasse significativamente superiore alla minima attività rilevabile dalla strumentazione utilizzata.

### **4.3.3 Alimenti**

In accordo e in collaborazione con l'allora A.S.S. n.6 “Pordenonese”, è stato predisposto un piano di campionamento di matrici alimentari significative prodotte, se non all'interno dell'area del poligono poiché in esso non esiste produzione alcuna, nei punti più vicini possibile ad esso. Sono stati quindi prelevati da personale della SOS Fisica Ambientale, accompagnato da personale dell'ASS n.6, 4 campioni di mele, 2 di succo di mela, 2 di vino, 1 di farina di mais, 1 di porro, 1 di cipolla e 1 di patate, per un totale di 12 campioni. La parte edule dei campioni è stata poi omogeneizzata ed inserita in becker di Marinelli da un litro. Le misure hanno avuto una durata media di 72000 s.

Poiché il Th-232 è un elemento naturale e come tale è spesso rilevabile all'interno dei costituenti la catena alimentare, i risultati ottenuti per questi campioni sono stati confrontati con quelli misurati nell'ambito delle normali campagne di monitoraggio della radioattività ambientale, in campioni degli stessi alimenti, dal laboratorio dell'ARPA FVG.

### **4.3.4 Particolato atmosferico**

Per valutare l'eventuale contaminazione dell'aria, dovuta ad una possibile risospensione del torio depositato a terra, sui bersagli 6 e 7 ed in un punto di “bianco” presso il poligono ed uno presso la sede di Gorizia di ARPA FVG, sono stati fatti prelievi di particolato atmosferico (depositato su filtro di cellulosa) mediante un campionatore portatile ad alto volume della portata di circa 150 l/min.

Durante i campionamenti eseguiti sui bersagli, sono stati effettuati, deliberatamente, prelievi di suolo sugli stessi bersagli, allo scopo di rendere più elevata la risospensione. La durata di ciascuna misura è stata compresa tra 180 e 210 minuti ed i filtri di cellulosa sono stati poi inseriti in appositi contenitori opportunamente tarati per la misura di spettrometria gamma in laboratorio. In questo caso la durata delle misure è stata di circa 5400 s.

#### 4.4 Uranio depleto nei suoli, torio ed $\alpha$ e $\beta$ totale nelle acque

##### 4.4.1 Uranio depleto nei suoli

Dai campioni prelevati nei punti 6, 7 ed 8, che sono poi stati essiccati e setacciati a 2 mm in laboratorio secondo le modalità già descritte nel paragrafo 4.3.1, sono state estratte 3 aliquote (una per ogni bersaglio) che sono state inviate al laboratorio della Struttura Semplice Radiazioni Ionizzanti del Dipartimento Tematico Radiazioni di ARPA Piemonte per la determinazione dell'eventuale presenza di uranio depleto. Il metodo utilizzato per la misura è il metodo ASTM International – Designation: C 1000 – 05 (U.RP.MA005).

##### 4.4.2 torio, $\alpha$ totale e $\beta$ totale nelle acque di falda

Il personale del Dipartimento di Pordenone di ARPA FVG ha effettuato 4 prelievi di acqua di falda, due a monte (S. Leonardo e Vivaro) del poligono e due a valle dello stesso (poco sotto il canale di sfioramento a servizio del Cellina) allo scopo di valutare l'eventuale contaminazione della falda a causa delle attività di esercitazione con missili MILAN all'interno dell'area.

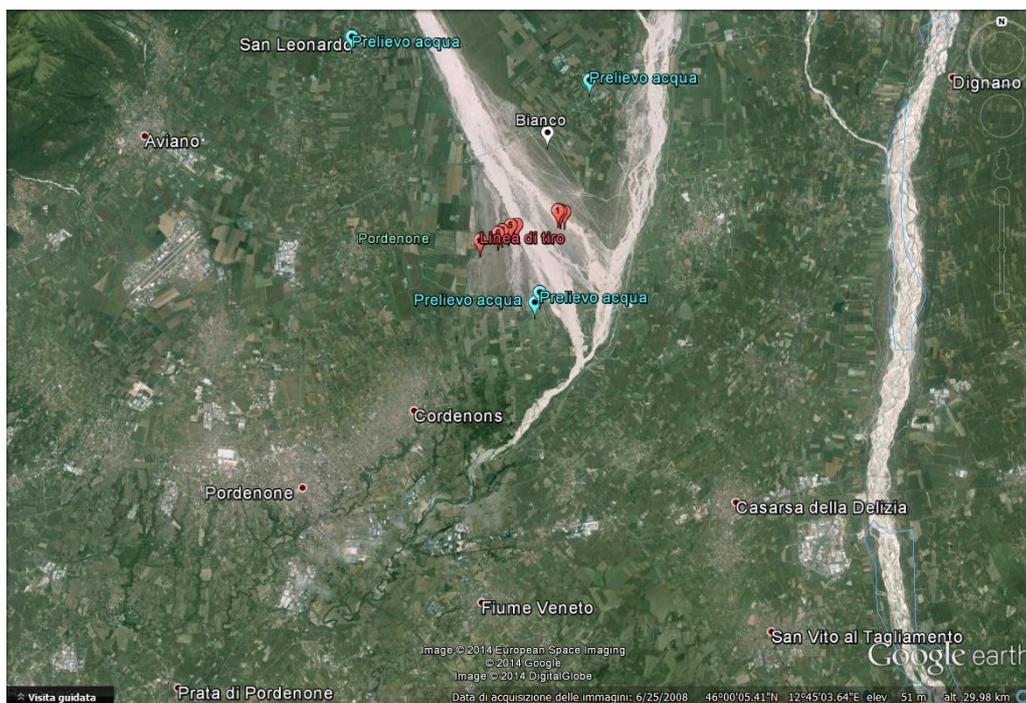


Figura 4.12. Localizzazione dei punti di prelievo delle acque di falda

In figura 4.12 sono riportate le localizzazioni dei punti di campionamento delle acque di falda.

I campioni sono stati inviati, per la determinazione delle concentrazioni  $\alpha$  totale,  $\beta$  totale e della concentrazione dei diversi isotopi del torio, al laboratorio di Radiochimica del Centro Regionale di Radioprotezione di ARPA Lombardia che li ha analizzati secondo i metodi di prova MT.M1.508 2010 rev 3 e MT.M1.529 2008 rev 0.

#### 4.4.3 $\alpha$ totale e $\beta$ totale nelle acque potabili

In collaborazione con l'allora A.S.S. n. 6 "Pordenonese" è stato definito un piano di campionamento di acque potabili nei comuni potenzialmente interessati da eventuali contaminazioni determinate dall'utilizzo di missili MILAN durante le esercitazioni presso il poligono. Il personale dell'A.S.S. n.6 ha quindi prelevato 8 campioni, la cui dislocazione è riportata in figura 4.13, presso i comuni di S. Giorgio della Richinvelda, Montebelluna, Cordenons, S. Martino al Tagliamento, Azzano X, Fiume Veneto e Zoppola (2 località). In tabella 4.3 è riportato il dettaglio delle località di prelievo.

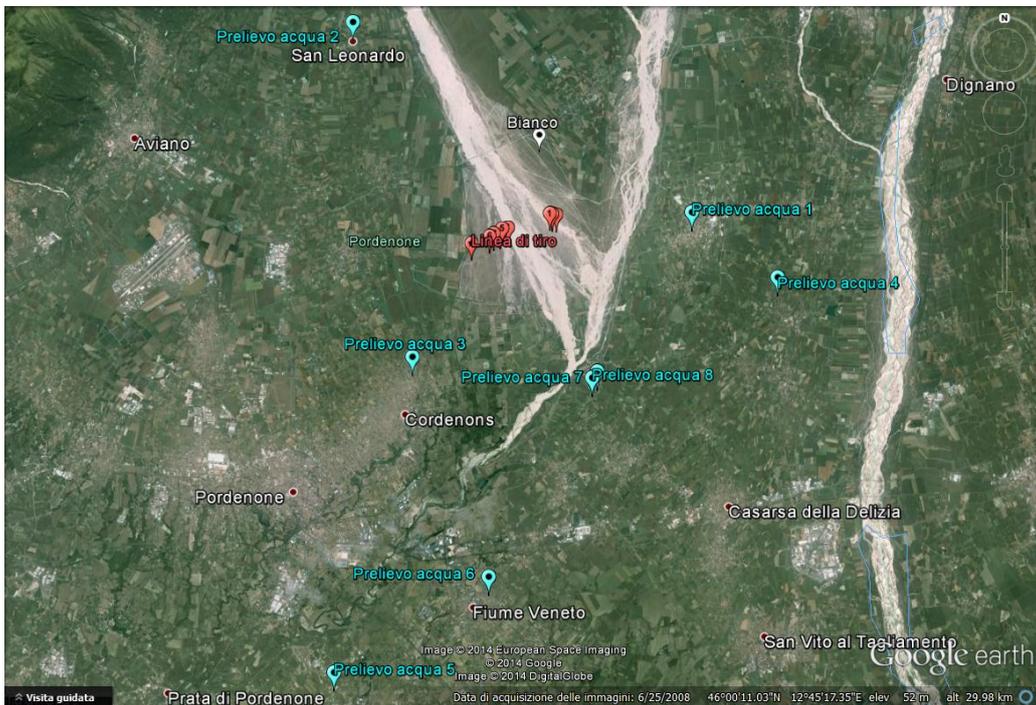


Figura 4.13. Localizzazione dei punti di prelievo delle acque potabili

**Tabella 4.3.** Località di prelievo delle acque potabili

<b>Punto</b>	<b>Comune prelievo</b>	<b>Punto prelievo</b>	<b>Profondità</b>
<b>1</b>	S. Giorgio della Richinvelda	Pozzo acquedotto loc. Rauscedo	-
<b>2</b>	Montereale Valcellina	Pozzo acquedotto loc. San Leonardo	170 m
<b>3</b>	Cordenons	Pozzo acquedotto Cordenons	330 m
<b>4</b>	S. Martino al Tagliamento	Pozzo acquedotto S.Martino al Tagliamento	-
<b>5</b>	Azzano Decimo	Pozzo acquedotto Basso Livenza	-
<b>6</b>	Fiume Veneto	Pozzo acquedotto Basso Livenza	-
<b>7</b>	Zoppola	Abitazione privata Murlis	84 m
<b>8</b>	Zoppola	Fontana pubblica	40 m

Anche questi campioni, come quelli di acqua di falda, sono stati inviati, per la determinazione della concentrazione  $\alpha$  totale e  $\beta$  totale, al laboratorio di Radiochimica del Centro Regionale di Radioprotezione di ARPA Lombardia che li ha analizzate secondo il metodo di prova UNI 11260: 2008.

#### 4.5 Disomogeneità della contaminazione dei suoli

Allo scopo di valutare la distribuzione della concentrazione del Th-232 all'interno di piccoli volumi di suolo, sono state effettuate alcune prove dividendo uno dei campioni raccolti in diverse aliquote che sono state poi sottoposte a misura di spettrometria gamma separatamente.

Il campione di suolo scelto per la suddivisione in aliquote è quello prelevato presso il bersaglio 8. Dal campione del volume di 1 l, già setacciato a 2 mm, sono state estratte 3 aliquote da 50 ml ciascuna che sono state poi sottoposte a misura di spettrometria gamma. I risultati della misura sono riportati in tabella 4.4.

**Tabella 4.4.** Concentrazione di Th-232 in diverse aliquote da 50 ml di un campione di suolo prelevato presso il bersaglio 8 (misura in spettrometria gamma)

<b>Campione</b>	<b>Th-232 (Bq/kg)</b>	<b>Errore (Bq/kg)</b>
Aliquota A	888,45	33,60
Aliquota B	640,07	27,50
Aliquota C	478,65	22,07
Media aliquote	669,06	175,63
Concentrazione 1l	639,91	10,34

La differenza di concentrazione misurata tra le diverse aliquote risulta molto elevata, tuttavia il valore medio delle concentrazioni misurate sulle 3 aliquote è praticamente identico alla concentrazione misurata sul campione da cui le aliquote sono state estratte (Concentrazione 1l).

**Tabella 4.5.** Concentrazione di Th-232 in diverse aliquote da 1g di un campione di suolo prelevato presso il bersaglio 8 (misura in spettrometria di massa)

<b>Aliquota A 1g</b>	<b>Th-232 (Bq/kg)</b>	<b>Aliquota B 1g</b>	<b>Th-232 (Bq/kg)</b>	<b>Aliquota C 1g</b>	<b>Th-232 (Bq/kg)</b>
Aliquota A1	32	Aliquota B1	89	Aliquota C1	25
Aliquota A2	65	Aliquota B2	30	Aliquota C2	49
Aliquota A3	731	Aliquota B3	29	Aliquota C3	17

Un ulteriore esperimento è stato condotto allo scopo di valutare la disomogeneità del campione: da ciascuna delle 3 aliquote da 50 ml, sono stati estratti 3 campioni da un grammo ciascuno. Le concentrazioni di Th-232 dei 9 campioni così ottenuti sono state determinate mediante spettrometria di massa effettuata presso la SOS laboratorio di Udine di ARPA FVG. I risultati sono riportati in tabella 4.5.

Anche in questo caso le disomogeneità sono evidenti e le concentrazioni, anche fra campioni prelevati all'interno della stessa aliquota, possono differire di un ordine di grandezza. Inoltre, in questo caso, la media aritmetica delle concentrazioni misurate su ognuna delle 9 aliquote, risulta pari a circa il 19% della concentrazione misurata nel campione originale (tuttavia in questo caso è stato considerato il risultato espresso in p.p.m. del solo Th-232).

E' quindi evidente come l'ossido di torio che, a causa dell'impatto dei missili MILAN con i bersagli ha contaminato alcune piccole aree del poligono, non si distribuisca in maniera omogenea nel terreno dove si disperde. E' altresì evidente che tecniche di misura quali la spettrometria di massa, che comporta analisi di campioni di massa molto piccola, non risultano adatte allo scopo di questo studio, a meno di non effettuare un grande numero di misure per ogni sito. Al contrario, tecniche di misura che siano in grado di fornire dati di concentrazione relativi a superfici più o meno estese, quali la spettrometria gamma *in situ*, risultano molto adatte a studi sulla distribuzione della concentrazione in un contesto quale quello oggetto di questo studio.

#### **4.6 Scelta dei punti di misura per la spettrometria gamma in campo**

Sulla base dei primi risultati ottenuti dalle misure di livello di radiazione e di spettrometria gamma sia *in situ* che in laboratorio, che hanno evidenziato la presenza di Th-232 in concentrazione superiore a quella del fondo naturale, in quattro degli otto bersagli all'interno del poligono, sono state definite le modalità di misura di spettrometria gamma *in situ* (con e senza collimatori) ed i punti di misura allo scopo di definire la distribuzione della concentrazione del Th-232 intorno ai bersagli e di delimitare le aree con anomalie radiometriche all'interno dell'intera zona oggetto di studio. Sono state quindi definite due modalità di misura, una relativa ai bersagli ed alle loro immediate vicinanze ed una relativa alla restante parte dell'area.

#### 4.6.1 Caratterizzazione bersagli

Sui quattro bersagli contaminati (5, 6, 7 e 8) sono state eseguite numerose misure: sulla sommità dei rilievi, attorno ai rilievi stessi ed in transetti sulla congiungente la sommità dei singoli rilievi con la linea di tiro. Poiché i 4 bersagli hanno dimensioni differenti, il numero di misure sulla sommità di ogni rilievo è variato tra 6 e 9.

Nelle figure 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17 sono riportate le localizzazioni dei punti di misura relativi, rispettivamente, ai bersagli 5, 6, 7 e 8. Come risulta evidente dalle figure 4.14-17, i punti di misura sulla sommità dei rilievi ed alla loro base sono stati fortemente influenzati dalla forma degli stessi.

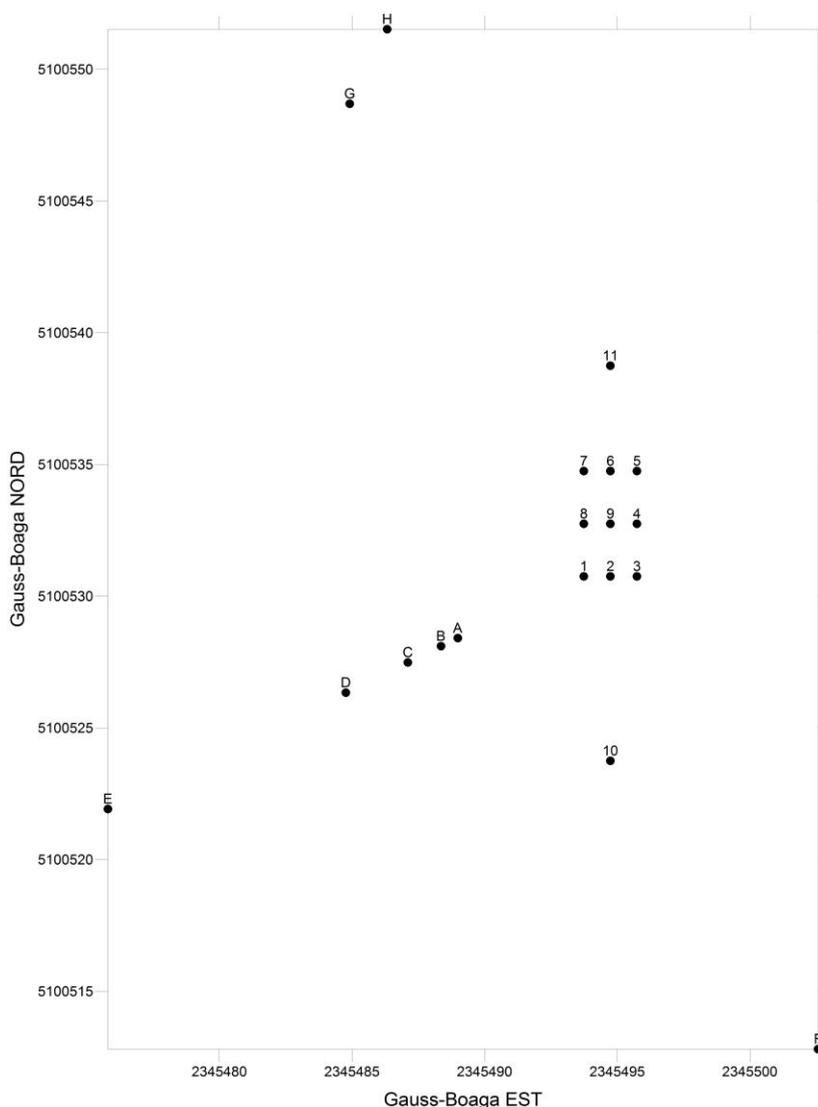
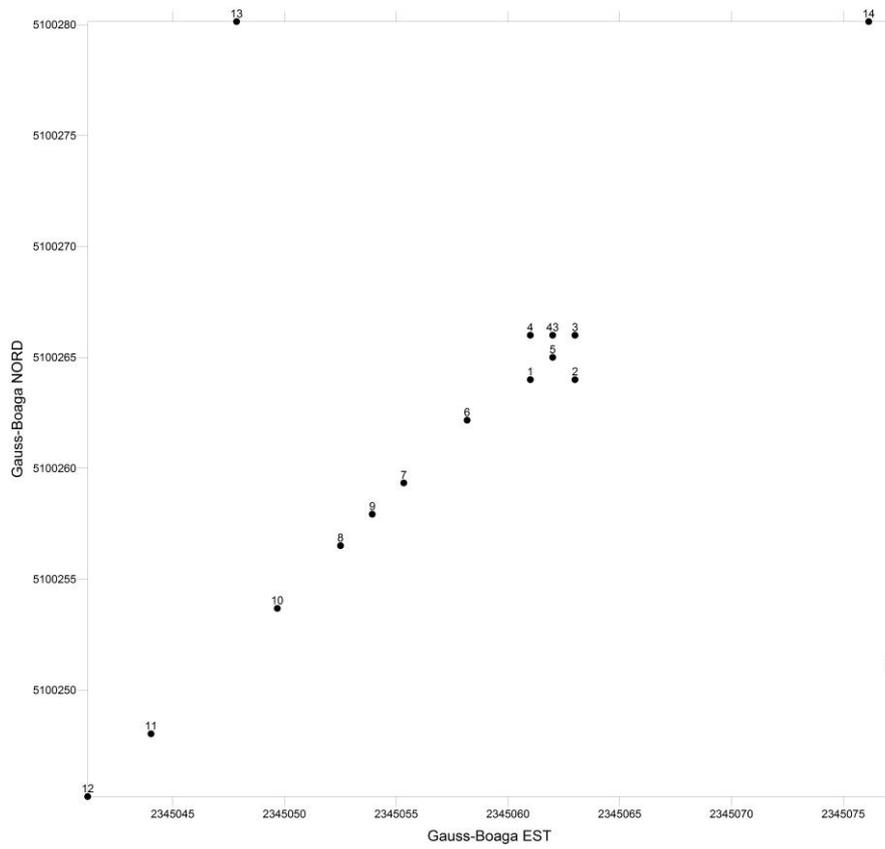
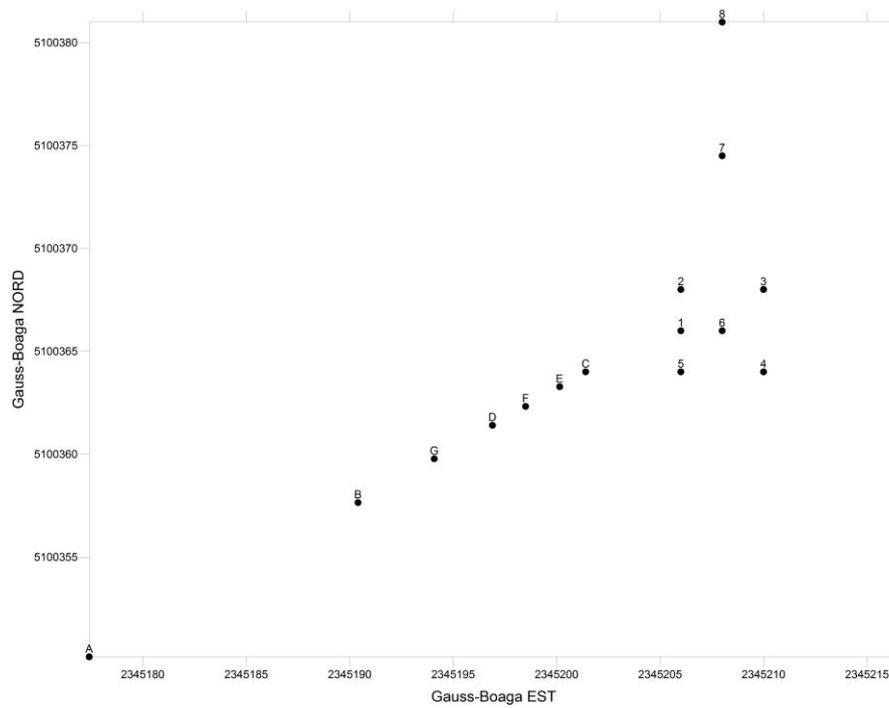


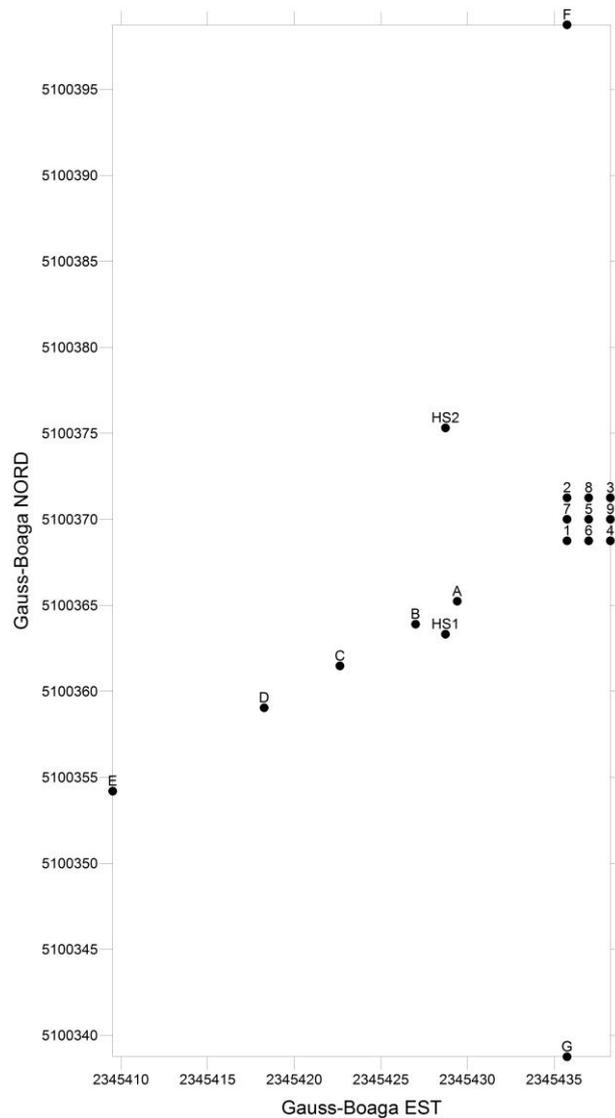
Figura 4.14. Punti di misura relativi al bersaglio 5



**Figura 4.15.** Punti di misura relativi al bersaglio 6



**Figura 4.16.** Punti di misura relativi al bersaglio 7



**Figura 4.17.** Punti di misura relativi al bersaglio 8

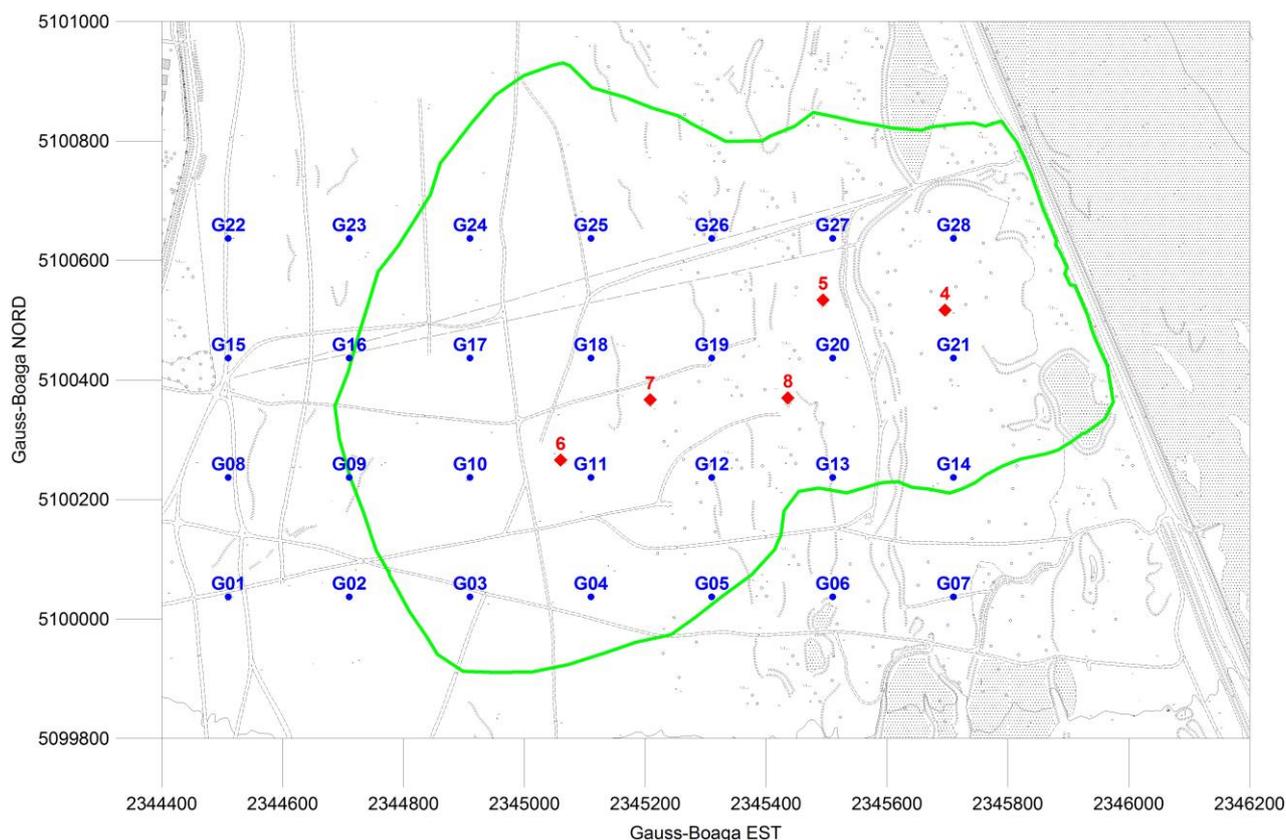
Sul bersaglio 4 sono state fatte 3 misure sulla sommità, mentre sui bersagli 1, 2 e 3, più piccoli, è stata fatta una sola misura sulla sommità dei rilievi ed una misura di “bianco”, presso il bersaglio 1.

#### 4.6.2 Caratterizzazione dell'area delimitata dalla concertina

Al fine di escludere la contaminazione nell'area esterna ai bersagli, è stata costruita una griglia con maglie quadrate, che definisce 28 punti di misura. Le dimensioni complessive dell'area monitorata sono risultate pari a 1,2 km x 0,6 km.

In figura 4.18 è riportata la localizzazione dei 28 punti di misura, dei 5 bersagli all'interno della superficie delimitata dalla concertina e della concertina stessa.

La griglia è stata costruita a partire dal punto G01, corrispondente alle coordinate della linea di tiro espresse in unità piane Gauss-Boaga. A partire da questo punto, con passo di 200 metri, sono state individuate le coordinate Gauss-Boaga dei restanti 27 punti che formano la griglia. Le coordinate sono state poi convertite in coordinate WGS84 in modo tale da essere impostate in un navigatore satellitare GPS per la localizzazione dei punti sul campo. In tutti i punti sono state effettuate misure di spettrometria gamma *in situ* ad esclusione dei punti G21 e G28, la cui posizione nel greto del torrente rendeva impossibile, ma anche non indispensabile, l'esecuzione della misura.



**Figura 4.18.** Punti di misura e posizione della concertina (in verde)

In seguito, allo scopo di coprire completamente la superficie delimitata dalla concertina, sono stati aggiunti ulteriori 7 punti di misura sulla base della griglia precedente. La posizione di alcuni punti di misura ha comunque risentito della conformazione del suolo, che rende di difficile realizzazione, e peraltro in genere di nullo significato, la misura in talune aree in corrispondenza del greto del torrente Cellina.

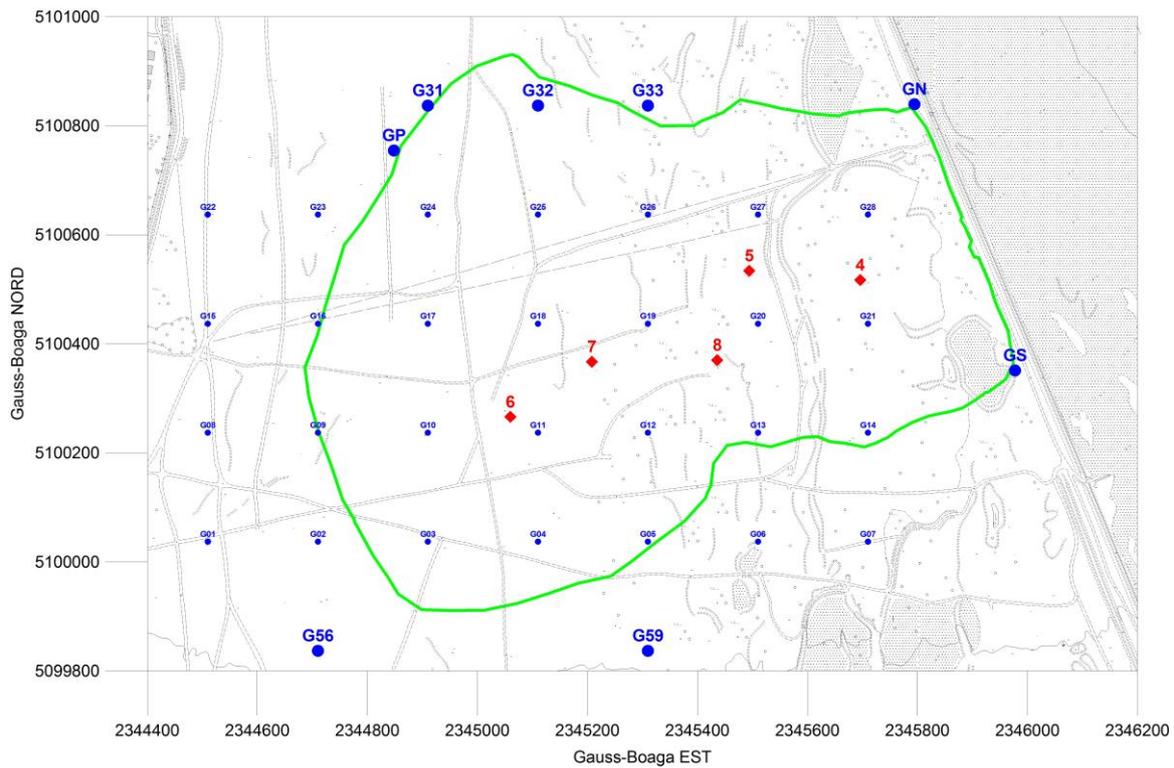
In figura 4.19 è riportata la localizzazione degli ulteriori punti di misura e nella tabella 4.3 sono riportate le coordinate Gauss Boaga e WGS84 di tutti i punti di misura.

Un'ulteriore misura di spettrometria gamma in campo è stata fatta nel punto GP in cui è stato prelevato il campione di particolato atmosferico denominato "bianco" (vedi paragrafo 4.3.4).

In ciascun punto di misura, allo scopo di coprire la superficie più ampia possibile, le misure di spettrometria gamma *in situ* sono state eseguite nella configurazione senza collimatori. In figura 4.20 si può vedere una delle sessioni di misura effettuata in un punto nei pressi della concertina.

**Tabella 4.6.** Coordinate dei punti di misura

<b>P.to</b>	<b>Gauss-Boaga Roma40</b>		<b>WGS84 GMS</b>	
	<b>(EST,NORD)</b>		<b>(EST,NORD)</b>	
<b>G01</b>	2344510	5100037	12°43'56"	46°01'52"
<b>G02</b>	2344710	5100037	12°44'05"	46°01'52"
<b>G03</b>	2344910	5100037	12°44'15"	46°01'53"
<b>G04</b>	2345110	5100037	12°44'24"	46°01'53"
<b>G05</b>	2345310	5100037	12°44'33"	46°01'53"
<b>G06</b>	2345510	5100037	12°44'43"	46°01'53"
<b>G07</b>	2345710	5100037	12°44'52"	46°01'53"
<b>G08</b>	2344510	5100237	12°43'56"	46°01'59"
<b>G09</b>	2344710	5100237	12°44'05"	46°01'59"
<b>G10</b>	2344910	5100237	12°44'14"	46°01'59"
<b>G11</b>	2345110	5100237	12°44'24"	46°01'59"
<b>G12</b>	2345310	5100237	12°44'33"	46°01'59"
<b>G13</b>	2345510	5100237	12°44'42"	46°02'00"
<b>G14</b>	2345710	5100237	12°44'52"	46°02'00"
<b>G15</b>	2344510	5100437	12°43'56"	46°02'05"
<b>G16</b>	2344710	5100437	12°44'05"	46°02'05"
<b>G17</b>	2344910	5100437	12°44'14"	46°02'06"
<b>G18</b>	2345110	5100437	12°44'23"	46°02'06"
<b>G19</b>	2345310	5100437	12°44'33"	46°02'06"
<b>G20</b>	2345510	5100437	12°44'42"	46°02'06"
<b>G21</b>	2345710	5100437	12°44'51"	46°02'06"
<b>G22</b>	2344510	5100637	12°43'55"	46°02'12"
<b>G23</b>	2344710	5100637	12°44'05"	46°02'12"
<b>G24</b>	2344910	5100637	12°44'14"	46°02'12"
<b>G25</b>	2345110	5100637	12°44'23"	46°02'12"
<b>G26</b>	2345310	5100637	12°44'33"	46°02'12"
<b>G27</b>	2345510	5100637	12°44'42"	46°02'13"
<b>G28</b>	2345710	5100637	12°44'51"	46°02'13"
<b>G31</b>	2344910	5100837	12°44'14"	46°02'19"
<b>G32</b>	2345110	5100837	12°44'23"	46°02'19"
<b>G33</b>	2345310	5100837	12°44'32"	46°02'19"
<b>G56</b>	2344710	5099837	12°44'06"	46°01'46"
<b>G59</b>	2345310	5099837	12°44'34"	46°01'47"
<b>GN</b>	2345795	5100839	12°44'55"	46°02'20"
<b>GS</b>	2345977	5100351	12°45'04"	46°02'04"
<b>GP</b>	2344848	5100755	12°44'11"	46°02'16"



**Figura 4.19.** Localizzazione degli ulteriori punti di misura e posizione della concertina (in verde)



**Figura 4.20.** Sessione di misura di spettrometria gamma *in situ* in un punto nei pressi della concertina

## **4.7 Utilizzo di “ISOCS - Geometry Composer” nelle misure di spettrometria gamma *in situ***

### **4.7.1 Calcolo della curva di efficienza teorica**

La presenza di una anomalia radiometrica, rivelata durante una sessione di misura in campo, può essere determinata da una contaminazione superficiale, da una contaminazione situata ad una certa profondità nel profilo pedologico o da una combinazione delle due. Densità e spessori diversi del suolo sono responsabili di un differente assorbimento dei fotoni emessi dai radionuclidi. Inoltre, i fotoni emessi dai diversi radionuclidi hanno energie differenti e vengono quindi assorbiti in maniera diversa nella materia che devono attraversare prima di essere rivelati dal sistema di misura.

Per ottenere una stima quantitativa dei radionuclidi presenti nel suolo da una misura di spettrometria gamma *in situ* è necessario calcolare una curva di efficienza teorica del sistema di misura che dipenderà da una serie di parametri relativi sia alle caratteristiche pedologiche del profilo in profondità del suolo, sia alle caratteristiche radiometriche dello stesso. Ciò può essere fatto mediante l'uso di un software: quello utilizzato in questo caso è ISOCS – Geometry Composer. Tale software permette di costruire la geometria di interesse, fissare tutti i parametri del profilo verticale (suddivisione dei diversi strati, composizione e quindi densità di ogni strato, percentuale di concentrazione dei radionuclidi nei diversi strati). Sulla base dei parametri inseriti, facendo uso di simulazioni numeriche di Montecarlo, il software calcola una curva di efficienza teorica che può essere utilizzata nel software di analisi dati (Genie 2000).

I risultati che si ottengono sono fortemente dipendenti dai parametri fissati. E' possibile variare sia la profondità del piano di riferimento (piano dal quale si suppone provenire la radiazione gamma rivelata dallo strumento), sia il suo diametro. Questo secondo parametro risulta essere più determinante, e si osserva che, anche assumendo un piano infinito, oltre un certo diametro (dell'ordine dei 10 m) il valore di concentrazione superficiale misurato non si discosta molto da un valore che ad esso tende asintoticamente. Ciò avviene poiché il rivelatore viene raggiunto con sempre minore probabilità da fotoni prodotti sempre più lontano.

E' stato quindi assunto, come parametro costante per il piano di riferimento, un diametro pari a 10 m. Nel riportare i risultati, quindi, dove non diversamente indicato, si intende utilizzato il diametro del piano di riferimento di 10 m.

Tuttavia, in considerazione della particolare geometria di misura, vengono anche proposti i risultati, riferiti esclusivamente ai bersagli contaminati, di concentrazione superficiale calcolata assumendo un piano di riferimento del diametro di 5 m.

### **4.7.2 Valutazione della profondità della contaminazione**

Come già indicato in precedenza, il rivelatore utilizzato in campo può rivelare una anomalia radiometrica determinata da materiale contaminato posto ad una certa profondità rispetto al

piano di campagna. E' quindi opportuno essere in grado di stimare la profondità della sorgente causa dell'anomalia e, per questo motivo, mediante il già citato software ISOCS - Geometry Composer, sono stati costruiti diversi profili ipotizzando la presenza di materiale contaminato della dimensione di  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ , costituito da ferro o da terra, e posizionato a diverse profondità (da 0 a 20 cm). Per ciascun profilo è stata creata una specifica curva di efficienza teorica.

Sono state quindi considerate le emissioni fotoniche a 238,6 keV e 727,2 keV, rispettivamente del Pb-212 e del Bi-212, entrambi discendenti del Th-232, devono fornire la medesima concentrazione e attività. Poiché l'assorbimento da parte del suolo è funzione sia della profondità che dell'energia del fotone gamma emesso, la curva di efficienza teorica che fornisce un rapporto tra le concentrazioni del Pb-212 e del Bi-212 pari ad 1, è quella che corrisponde all'impostazione dei parametri corretti nel profilo geometrico considerato.

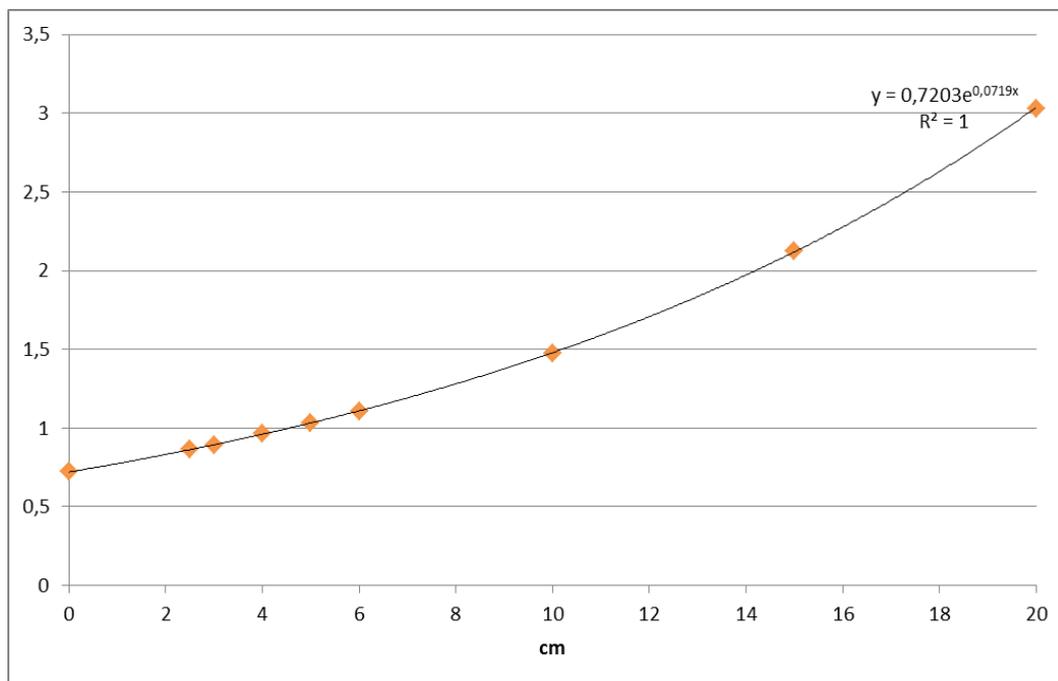
**Tabella 4.7.** Attività di Bi-212 e Pb-212 e loro rapporti, calcolate nell'ipotesi di un volumetto di suolo contaminato delle dimensioni di  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ , per profondità comprese tra 0 e 20 cm.

<b>Profondità</b>	<b>Bi-212</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>)</b>	<b>Pb-212</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>)</b>	<b>Rapporto</b>
<b>cm</b>	<b>Bq</b>	<b>Bq</b>	<b>Bq</b>	<b>Bq</b>	
<b>0</b>	6946,65	2778,33	5010,12	970,90	<b>0,72</b>
<b>2,5</b>	10377,78	4150,61	8941,03	1732,66	<b>0,86</b>
<b>3</b>	11228,79	4490,98	10006,67	1939,17	<b>0,89</b>
<b>4</b>	13177,17	5270,23	12689,61	2459,09	<b>0,96</b>
<b>5</b>	15433,43	6172,63	15917,73	3084,66	<b>1,03</b>
<b>6</b>	18061,77	7223,83	20036,71	3882,87	<b>1,11</b>
<b>10</b>	33789,07	13513,99	49904,79	9670,94	<b>1,48</b>
<b>15</b>	73223,94	29286,03	155777,60	30187,80	<b>2,13</b>
<b>20</b>	157001,30	62792,93	475680,30	92181,04	<b>3,03</b>

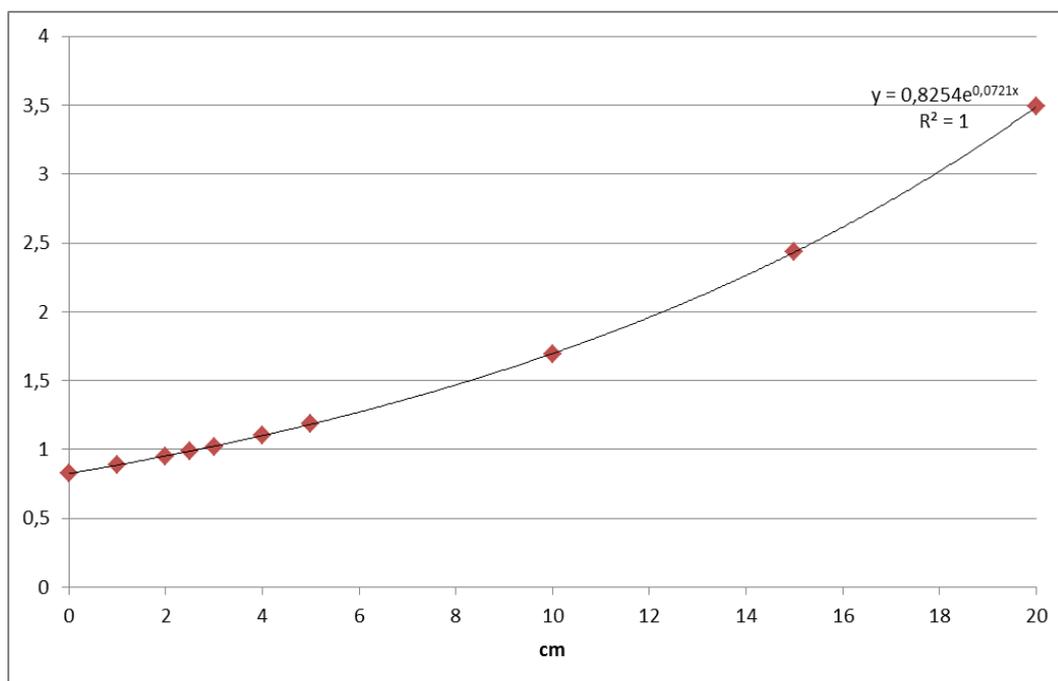
**Tabella 4.8.** Attività di Bi-212 e Pb-212 e loro rapporti, calcolate nell'ipotesi di un volumetto di ferro contaminato delle dimensioni di  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ , per profondità comprese tra 0 e 20 cm.

<b>Profondità</b>	<b>Bi-212</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>)</b>	<b>Pb-212</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>)</b>	<b>Rapporto</b>
<b>cm</b>	<b>Bq</b>	<b>Bq</b>	<b>Bq</b>	<b>Bq</b>	
<b>0</b>	8469,10	3387,23	7002,48	1357,00	<b>0,83</b>
<b>1</b>	9958,19	3982,79	8856,43	1716,27	<b>0,89</b>
<b>2</b>	11680,68	4671,71	11114,82	2153,92	<b>0,95</b>
<b>2,5</b>	12647,88	5058,54	12491,21	2420,64	<b>0,99</b>
<b>3</b>	13688,35	5474,68	13983,22	2709,78	<b>1,02</b>
<b>4</b>	16065,45	6425,40	17709,89	3431,96	<b>1,10</b>
<b>5</b>	18827,97	7530,28	22310,12	4323,43	<b>1,18</b>
<b>10</b>	41207,88	16481,16	69826,29	13531,48	<b>1,69</b>
<b>15</b>	89113,82	35641,22	216739,50	42001,47	<b>2,43</b>
<b>20</b>	191612,00	76635,55	669087,20	129660,90	<b>3,49</b>

In tabella 4.7 e 4.8 sono riportati le attività del Bi-212 e del Pb-212 ed i loro rapporti, sulla base della misura in campo, nell'ipotesi, rispettivamente, di materiale contaminato ferroso o rappresentato da suolo. Sono riportati i risultati per profondità variabili tra 0 e 20 cm.



**Figura 4.21.** Curva calcolata per il rapporto tra le attività di Bi-212 e Pb-212 nell'ipotesi di materiale contaminato rappresentato da suolo a profondità comprese tra 0 e 20 cm



**Figura 4.22.** Curva calcolata per il rapporto tra le attività di Bi-212 e Pb-212 nell'ipotesi di materiale contaminato rappresentato da ferro a profondità comprese tra 0 e 20 cm

In figura 4.21 e 4.22 sono riportate le curve calcolate per i rapporti tra le attività dei due radioisotopi, rispettivamente nel caso dell'ipotesi di materiale contaminato costituito da suolo e da ferro.

Il calcolo teorico porta a due ipotesi ugualmente probabili: un volumetto di suolo contaminato alla profondità di 4,56 cm od uno di ferro posto alla profondità di 2,66 cm. In questo caso è stato possibile verificare la validità del metodo di calcolo considerato effettuando uno scavo mediante il quale è stato possibile definire che l'anomalia radiometrica era determinata da un pezzo metallico, contaminato da Th-232, di dimensioni dell'ordine di quelle ipotizzate, posto alla profondità di circa 3 cm. I dati relativi al ritrovamento sono riportati nel capitolo 5 dedicato ai risultati.

#### **4.8 Valutazione di superfici, volumi e masse**

Allo scopo di effettuare le valutazioni radioprotezionistiche riportate nel capitolo 6, è stato necessario effettuare una stima delle superfici, dei volumi e delle masse interessati dalla contaminazione.

In particolare è stato necessario definire, seppure in maniera approssimativa anche se sempre cautelativa, la superficie laterale e superiore di ogni rilievo contaminato, allo scopo di valutare la dose derivante da esposizione, inalazione ed ingestione a causa della possibile sosta o passaggio nei pressi del rilievo da parte della popolazione. Mentre, con particolare riguardo ai lavoratori, nel caso della necessità di una bonifica, risultano importanti i volumi e le masse in gioco, anche al fine di valutare i tempi necessari alla bonifica stessa.

La delimitazione delle aree all'interno delle quali il suolo è risultato contaminato sono state fatte utilizzando le ortofoto relative alla carta tecnica regionale 1:5000 (<http://irdat.regione.fvg.it/WebGIS/>), dalle quali è possibile calcolare le distanze e le aree di una zona di interesse.

L'operazione è stata condotta, per le sommità, visualizzando sulla carta tecnica le isoipse relative al contorno della sommità stessa, dei rilievi di ogni bersaglio, come riportato in figura 4.23. Utilizzando gli strumenti di calcolo a disposizione (calcolo di distanze e di superfici) è possibile stimare sia la superficie della sommità del rilievo, sia la sua massima dimensione.

Ciascun rilievo è stato approssimato ad un tronco di cono, con R raggio della circonferenza di base, r raggio della circonferenza superiore ed h altezza del tronco di cono. Il raggio maggiore R e quello minore r, sono stati scelti pari alla massima dimensione, rispettivamente, della superficie di base e della sommità del rilievo, come rilevati dall'ortofoto. L'altezza media è stata supposta costante e pari a 3 m per ciascun bersaglio.

La superficie totale, di interesse ai fini del presente studio, risulta quella laterale del tronco di cono, sommata a quella della superficie superiore del rilievo. Essa risulta quindi pari a:  $Sl=(r+R)\pi a$  (con  $a$  = apotema)  $+ \pi r^2$ .

Il volume viene calcolato con la formula classica:  $1/3[\pi h(R^2+r^2+Rr)]$ .



**Figura 4.23.** Ortofoto da carta tecnica regionale e calcolo della superficie della sommità del bersaglio 5

In tabella 4.9 sono riportati i valori di  $R$  ed  $r$  considerati, le superfici totali (base inferiore esclusa) di ogni rilievo, le superfici della base superiore e i volumi, calcolati, come precedentemente indicato, approssimando ogni rilievo ad un tronco di cono.

Per un opportuno confronto, nella stessa tabella, sono inoltre riportate le superfici della sommità di ogni rilievo calcolate sulla base della carta tecnica regionale: ciò fornisce un'indicazione dell'entità della sovrastima che si compie approssimando il rilievo ad un tronco di cono con le dimensioni massime precedentemente indicate. Tuttavia nel prosieguo dello studio, verranno utilizzati, cautelativamente, i valori ottenuti dal calcolo già riportato.

I volumi dei rilievi, stimati cautelativamente, risultano quindi compresi tra circa 1000 e 2200  $m^3$ . Nella tabella 4.9 è anche indicata una stima della massa di ogni rilievo calcolata considerando la densità media standard per questo tipo di suolo pari a 1,7  $g/cm^2$ .

Vengono inoltre riportate, sempre in tabella 4.9, le somme delle superfici, dei volumi e delle masse, calcolate cautelativamente, che risultano contaminate all'interno del poligono. La superficie totale risulta pari a circa 0,4 ettari, a fronte di una superficie, delimitata dalla concertina, pari a circa 100 ettari, e della superficie dell'intero poligono pari a 3470 ettari.

**Tabella 4.9.** Stima delle superfici e dei volumi dei diversi bersagli

<b>Bersaglio</b>	<b>R massimo base inferiore</b>	<b>r massimo base superiore</b>	<b>Superficie Totale rilievo</b>	<b>Superficie Superiore rilievo</b>	<b>Superficie Sommità CTR</b>	<b>Volume rilievo</b>	<b>Massa rilievo</b>
<b>n.</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>t</b>
<b>5</b>	22	8	1550	201	85	2275	3867
<b>6</b>	14	7	656	154	54	1078	1833
<b>7</b>	16	7	839	154	56	1310	2227
<b>8</b>	17	10	960	314	98	1756	2985
<b>somma</b>	-	-	4005	823	293	6419	10912

#### 4.9 Quadro di sintesi della strumentazione e dei software utilizzati

In tabella 4.10 sono brevemente riassunti tutti gli strumenti di misura ed i software utilizzati durante l'esecuzione di questo studio.

**Tabella 4.10.** Strumentazioni e software utilizzati

<b>Elenco strumentazioni e software utilizzati</b>	
<b>Strumentazioni:</b>	
1.	Rivelatore di radiazione AUTOMESS mod. 6150 AD6 con sonda AUTOMESS mod.6150 AD-b
2.	Contaminometro BERTHOLD mod. LB 122
3.	Rivelatore di radiazione Thermo mod. ESM-FH40 G-L con sonda NaI mod. FHZ 502P
4.	Apparato per la spettrometria gamma in laboratorio costituita da: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tre rivelatori con cristallo al Germanio iperpuro HPGe ORTEC con efficienza variabile tra il 30 e l'80%</li> <li>- Elettronica costituita da amplificatori, convertitori analogici/digitali ADC e analizzatori multicanale ORTEC</li> <li>- Pc con software di acquisizione e analisi Genie 2000</li> </ul>
5.	Apparato per la spettrometria gamma sul campo costituita da: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rivelatore con cristallo al Germanio iperpuro HPGe CANBERRA mod. GX3020</li> <li>- Analizzatore multicanale CANBERRA Inspector2000 mod. IN2K</li> <li>- Pc portatile con software di acquisizione e analisi Genie 2000</li> <li>- Campionatore d'aria ad alto volume Zambelli mod.11080, portata 0-300 l/min</li> </ul>
<b>Software:</b>	
1.	Software di acquisizione a analisi CANBERRA Genie 2000 versione 3.3
2.	Software di analisi CANBERRA ISOCS-Geometry Composer versione 4.2.1
3.	Software di analisi CID Media GmbH GESPECOR
4.	Software di elaborazione dati Golden Software SURFER 8.04

#### 4.10 Quadro di sintesi dei campionamenti e delle misure effettuate

Dalla data del primo sopralluogo, nel novembre del 2013, il personale della SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG ha eseguito 27 giornate di campionamento e misura in campo, le ultime delle quali nel maggio 2015, durante le quali sono stati prelevati circa 50 campioni di matrici varie e sono state eseguite oltre 250 misure in campo e circa 100 misure in laboratorio. Ad esse si aggiungono numerose misure che sono state necessarie per la calibrazione e la messa a punto dei sistemi di misura. In tabella 4.11, è riportato il dettaglio dei campionamenti e delle misure, per tipologia, curate direttamente dalla SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG.

Nell'ambito dello studio sono stati inoltre eseguiti campionamenti di acque di falda da parte del personale afferente al Dipartimento di Pordenone di ARPA FVG e di acque potabili e alimenti dall'allora A.S.S. n. 6 "Pordenonese", in collaborazione con la SOS Fisica Ambientale. Alcuni campioni di suolo sono stati inviati al laboratorio di ARPA Piemonte per la determinazione dell'uranio depleto, mentre i campioni di acqua sono stati inviati al laboratorio di ARPA Lombardia, per la determinazione del contenuto di  $\alpha$  e  $\beta$  totale e di Th-232 e Th-228. Il dettaglio di questi campionamenti e misure è riportato in tabella 4.12.

**Tabella 4.11.** Dettaglio dei campionamenti e delle misure eseguite dalla SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG

<b><i>Totale campionamenti e misure a cura di SOS Fisica Ambientale ARPA FVG</i></b>	<b><i>Numero</i></b>
Giornate totali di campionamento e misura in campo	27
Misure di livello di radiazione in campo	Oltre 100
Campioni di suolo prelevati	15
Campioni di vegetali prelevati	11
Campioni di particolato atmosferico	4
Misure di spettrometrie gamma su suoli e vegetali in laboratorio	83
Misure di spettrometrie gamma su alimenti in laboratorio	12
Misure di spettrometrie gamma su particolato atmosferico	4
Misure di spettrometrie gamma in situ senza collimatori	63
Misure di spettrometrie gamma in situ con collimatori	78

**Tabella 4.12.** Campionamenti e/o misure eseguite a cura di strutture diverse dalla SOS Fisica Ambientale

<b><i>Totale campionamenti e misure a cura di altri enti</i></b>	<b><i>Numero</i></b>
Campioni di acque di falda prelevati dal Dipartimento di Pordenone	4
Campioni di acque potabili prelevati dall'azienda sanitaria A.S.S. n.6	8
Campioni di alimenti prelevati dall'azienda sanitaria A.S.S. n.6	12
Misure torio e $\alpha$ / $\beta$ totale sui campioni di acque a cura di ARPA Lombardia	12
Misure Uranio depleto su campioni di terreno a cura di ARPA Piemonte	3

## 5. Risultati

### 5.1 Valutazione del livello di radiazione

Durante l'esecuzione di questo studio, sono state eseguite oltre 100 misure di livello di radiazione. Le misure, che vengono tipicamente effettuate a circa un metro da terra, non hanno mai mostrato, a questa altezza, valori di radiazione superiori a quelli del fondo naturale. Gli strumenti utilizzati in campo sono stati in genere utilizzati a distanza molto ravvicinata dal suolo, come descritto nel capitolo 4, paragrafo 4.1, allo scopo di scegliere i punti a maggiore contaminazione dove effettuare i campionamenti di suole ed altre matrici o le misure di spettrometria gamma *in situ*. Per i suddetti motivi non vengono riportati ulteriori risultati di queste misure oltre a quelli già riportati nel paragrafo 4.1.

### 5.2 Risultati delle misure di spettrometria gamma in laboratorio

#### 5.2.1 Suoli

In tabella 5.1 sono riportate le concentrazioni di Th-232 relative alla massa fine (<2 mm), di tutte le aliquote dei campioni di suolo superficiale (primi 5 cm), prelevati sulla linea di tiro, nel punto di "bianco", e sugli 8 bersagli considerati.

Tabella 5.1. Concentrazione di Th-232 relativa alla massa fine di tutti campioni di suolo superficiale prelevati

<b>Bersaglio</b>	<b>Th-232 Aliquota A (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>) Aliquota A (Bq/kg)</b>	<b>Th-232 Aliquota B (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>) Aliquota B (Bq/kg)</b>	<b>Th-232 Aliquota C (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>) Aliquota C (Bq/kg)</b>
<b>Punto 1</b>	2,13	0,16	-	-	-	-
<b>Punto 2</b>	0,89	0,08	1,12	0,07	-	-
<b>Punto 3</b>	1,70	0,06	2,05	0,12	-	-
<b>Punto 4</b>	4,14	0,89	16,77	0,59	-	-
<b>Punto 5</b>	<b>252,44</b>	3,49	<b>243,60</b>	3,94	<b>192,48</b>	5,91
<b>Punto 6</b>	<b>207,75</b>	3,45	<b>211,98</b>	2,95	-	-
<b>Punto 7</b>	<b>329,92</b>	4,57	<b>252,52</b>	3,50	<b>218,10</b>	6,69
<b>Punto 8</b>	<b>639,91</b>	10,34	<b>631,73</b>	8,79	-	-
<b>Bianco</b>	7,14	0,31	6,78	0,23	8,10	0,32
<b>Linea tiro</b>	2,91	1,15	3,41	0,53	2,18	0,04

Risulta evidente come i bersagli 5,6,7 ed 8 mostrino una concentrazione di Th-232 decisamente superiore a quella misurata nei campioni provenienti dalla linea di tiro, dal punto di "bianco" e dagli altri bersagli. Tali concentrazioni, comprese tra circa 200 e 600 Bq/kg, che risultano quindi

indubbiamente superiori ai valori di fondo, sono state riscontrate nei bersagli più vicini alla linea di tiro, con distanze comprese tra circa 600 e 1100 m dalla linea di tiro stessa. Le concentrazioni di Th-232 misurate presso gli altri bersagli e sulla linea di tiro, risultano invece dell'ordine di quelle misurate presso il punto di "bianco". Per quanto riguarda i bersagli 1, 2 e 3, ciò è del tutto compatibile con il fatto che la loro distanza dalla linea di tiro (oltre i 2500 m), sia superiore alla massima gittata dei missili MILAN. Ciò è anche testimoniato dal fatto che, presso questi bersagli, non sono stati ritrovati residui e frammenti dovuti all'attività di esercitazione che invece sono stati ritrovati presso i bersagli 5, 6, 7 e 8.

Il bersaglio 4, che presenta anch'esso concentrazioni di Th-232 del tutto compatibili con quelle del fondo naturale, si trova ad una distanza inferiore alla massima gittata dei missili, tuttavia è situato all'interno del greto del torrente e l'eventuale contaminazione, risalente almeno al 2004, potrebbe essere stata dilavata dagli eventi di piena che si sono susseguiti negli anni. A rafforzare questa ipotesi vi è anche l'assenza di residui e frammenti presso il bersaglio. Naturalmente esiste anche la possibilità che tale bersaglio sia stato utilizzato in misura molto minore, o non utilizzato del tutto, nelle attività con i missili MILAN.

Tutti i campioni prelevati sono stati setacciati con diversi vagli, fino all'ultimo di 2 mm che determina la cosiddetta massa fine, ed è stato diviso lo scheletro naturale dal cosiddetto scheletro "artificiale". Oltre alla massa fine, sono state misurate anche tutte le altre parti di ogni campione.

A titolo di esempio, in tabella 5.2, vengono riportate le masse che costituiscono le diverse parti dei campioni, nel caso dei bersagli 5, 6, 7 e 8 che risultano contaminati.

La composizione dei campioni risulta molto disomogenea nei diversi bersagli e lo scheletro artificiale risulta, in genere, una componente significativa della parte più grossolana del campione. Il bersaglio 5, situato alla distanza maggiore dalla linea di tiro, tra quelli risultati contaminati, è quello che mostra la componente minore di scheletro artificiale.

**Tabella 5.2.** Massa fine, massa dello scheletro artificiale e delle due porzioni fine e grossolana dello scheletro naturale

<b><i>Bersaglio</i></b>	<b><i>Massa fine totale (kg)</i></b>	<b><i>Scheletro artificiale totale (kg)</i></b>	<b><i>Scheletro fine totale (kg)</i></b>	<b><i>Scheletro grossolano totale (kg)</i></b>
<b>5</b>	4,916	0,077	1,441	6,852
<b>6</b>	3,999	1,063	-	7,792
<b>7</b>	6,736	1,065	4,536	10,252
<b>8</b>	3,411	1,233	2,897	7,555

In tabella 5.3 sono riportate le concentrazioni di Th-232 delle diverse componenti in cui è stato diviso il campione: massa fine, scheletro artificiale, scheletro naturale fine e scheletro naturale grossolano.

**Tabella 5.3.** Concentrazioni di Th-232: massa fine, scheletro artificiale, scheletro fine e scheletro grossolano

<i>Bersaglio</i>	<i>Th-232 massa fine (Bq/kg)</i>	<i>Th-232 scheletro artificiale (Bq/kg)</i>	<i>Th-232 Scheletro fine (Bq/kg)</i>	<i>Th-232 Scheletro grossolano (Bq/kg)</i>
<b>5</b>	229,50 ± 32,37*	33,16 ± 1,81	189,90 ± 5,82	0,94 ± 0,04
<b>6</b>	209,90 ± 2,99*	242,00 ± 3,37	-	106,34 ± 3,69
<b>7</b>	266,80 ± 57,27*	647,99 ± 9,04	101,50 ± 2,63	42,47 ± 0,61
<b>8</b>	635,80 ± 5,78*	54,27 ± 0,85	229,50* ± 50,16	41,13* ± 67,25

\*media aritmetica su diverse aliquote

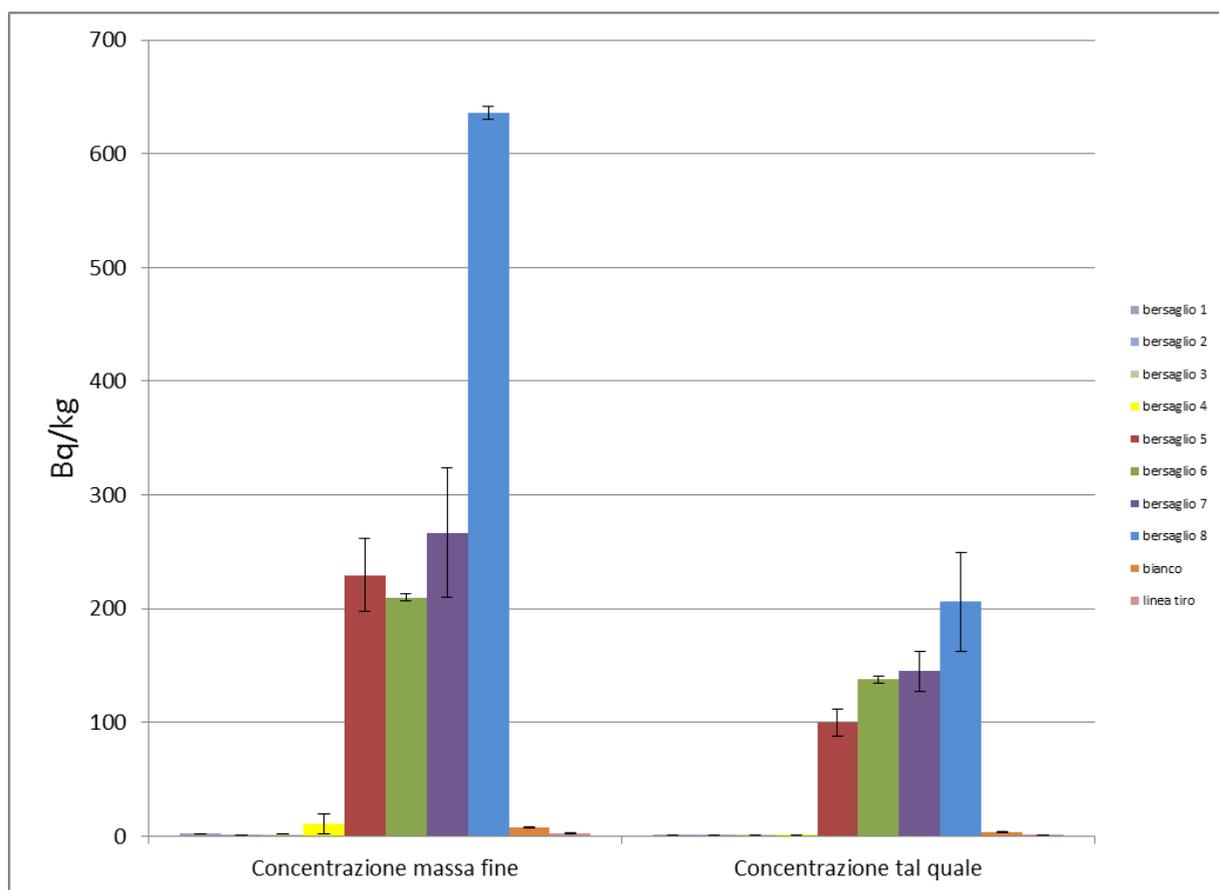
La concentrazione di Th-232 nello scheletro, sia artificiale che naturale, risulta significativa e talvolta addirittura più elevata in esso che nella terra fine. Di ciò dovrà quindi essere tenuto conto nelle valutazioni di radioprotezione. I valori sistematicamente minori misurati nello scheletro grossolano rispetto a quelli misurati nello scheletro fine, rendono conto del maggiore rapporto superficie/volume (e quindi massa) di quest'ultimo rispetto al precedente e della contaminazione superficiale dei grani costituenti lo scheletro. Le concentrazioni misurate nello scheletro artificiale risultano molto variabili, poiché molto diversi sono i materiali, e quindi le densità degli stessi, che lo costituiscono.

In tabella 5.4 sono riportate le concentrazioni medie di Th-232 sulla massa fine, calcolate sulle concentrazioni delle diverse aliquote per quei bersagli dove queste erano superiori ad uno. Tenendo conto dello scheletro, sono anche state calcolate le concentrazioni medie nel campione tal quale, che saranno utili per le valutazioni di radioprotezione, ed i valori medi di concentrazione superficiale (primi 5 cm) espresse in termini di Bq/m<sup>2</sup>.

**Tabella 5.4.** Concentrazione media di Th-232 nella massa fine, nel tal quale e concentrazione superficiale media

<i>Punto</i>	<i>Concentrazione massa fine Bq/kg</i>	<i>Errore (2σ) Bq/kg</i>	<i>Concentrazione tal quale Bq/kg</i>	<i>Errore Bq/kg</i>	<i>Concentrazione superficiale Bq/m<sup>2</sup></i>	<i>Errore Bq/m<sup>2</sup></i>
<b>Bersaglio 1</b>	2,14	0,16	1,28	0,11	23,89	2,08
<b>Bersaglio 2</b>	1,01	0,16	0,54	0,08	42,14	6,14
<b>Bersaglio 3</b>	1,88	0,25	0,75	0,10	52,43	6,96
<b>Bersaglio 4</b>	10,46	8,94	1,28	0,17	93,73	12,37
<b>Bersaglio 5</b>	<b>229,50</b>	32,37	<b>100,11</b>	11,92	<b>5636,02</b>	671,25
<b>Bersaglio 6</b>	<b>209,87</b>	2,99	<b>137,98</b>	3,17	<b>7700,37</b>	177,08
<b>Bersaglio 7</b>	<b>266,85</b>	57,27	<b>145,08</b>	17,72	<b>13530,23</b>	1653,86
<b>Bersaglio 8</b>	<b>635,82</b>	5,78	<b>206,02</b>	43,25	<b>12844,94</b>	2696,52
<b>Bianco</b>	7,34	0,68	3,35	0,29	167,89	14,48
<b>Linea tiro</b>	3,10	0,93	1,25	0,19	97,72	27,83

Allo scopo di evidenziare chiaramente le differenze tra punti di campionamento in cui la concentrazione di Th-232 appare chiaramente superiore a quella del fondo e quindi il Th-232 risulta introdotto artificialmente nell'ambiente e punti in cui la sua presenza è invece di origine naturale, in figura 5.1 e 5.2 sono riportate, rispettivamente, le concentrazioni misurate nella massa fine e nel tal quale, e la concentrazione superficiale media calcolata per i primi 5 cm di suolo per i diversi punti di misura.



**Figura 5.1.** Concentrazione media di Th-232 nella massa fine e nel tal quale nei diversi punti di prelievo

In figura 5.1 è possibile notare come, tenendo conto di tutte le componenti del campione e non della sola massa fine, la differenza di concentrazione tra il punto di misura 8 e gli altri punti non sia così marcata. Allo stesso modo, la concentrazione di Th-232 misurata presso il bersaglio 4 per la massa fine, che risulta paragonabile a quella misurata nel punto di "bianco", risulta invece nettamente inferiore a quella misurata nel campione tal quale prelevato nel punto di "bianco". Ciò conferma l'ipotesi che il bersaglio 4, se anche fosse stato contaminato da Th-232, ora presenti concentrazioni di tale radionuclide che sono da considerarsi uguali a quelle del fondo naturale.

Osservando i valori della concentrazione superficiale di Th-232 dei primi 5 cm di suolo prelevati nei diversi punti di campionamento (figura 5.2), i bersagli 7 e 8 risultano avere contaminazioni simili e pari a circa il doppio di quelle dei bersagli 5 e 6.

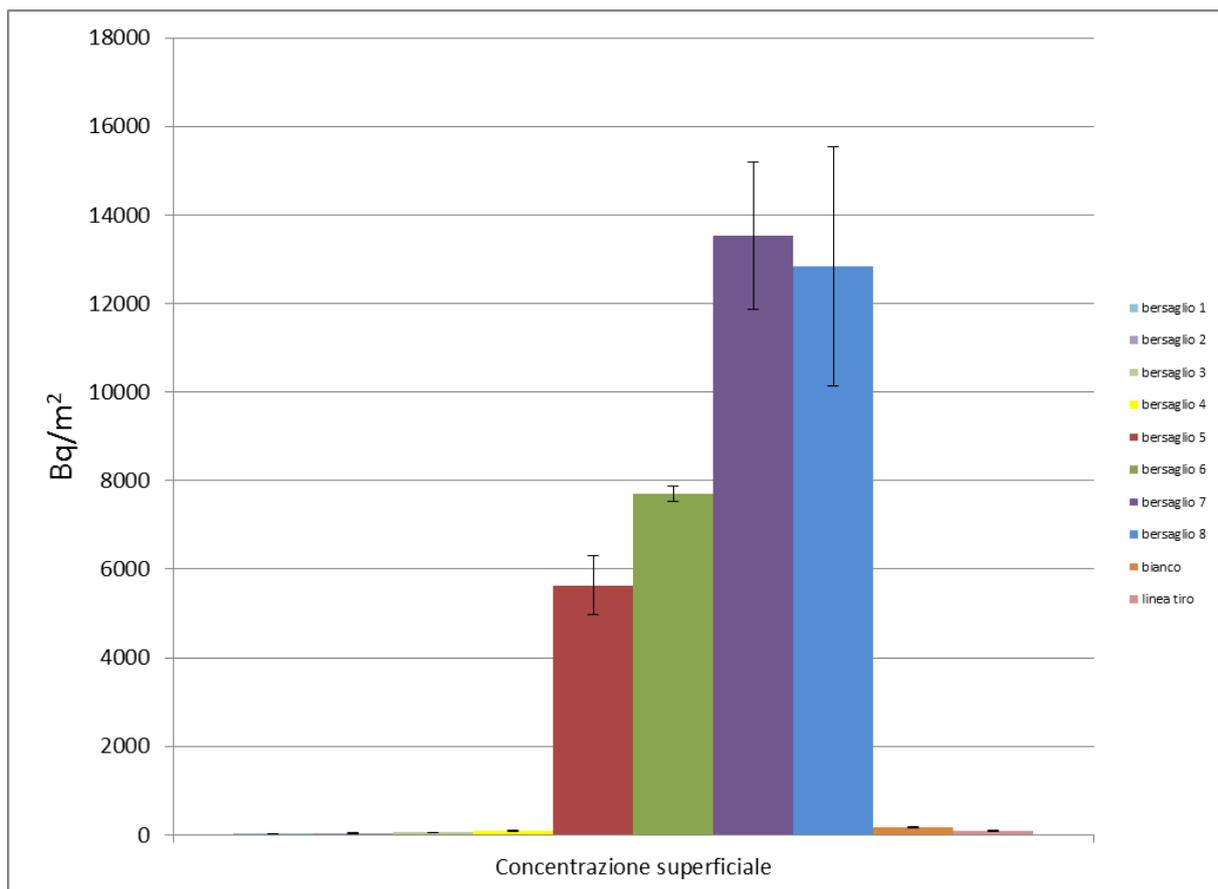


Figura 5.2. Concentrazione superficiale media (primi 5 cm) di Th-232 calcolata nei diversi punti di prelievo

### 5.2.2 Profilo in profondità

Presso il bersaglio 7 sono stati prelevati campioni di suolo, dello spessore di 5 cm, lungo il profilo pedologico, fino alla profondità di 20 cm.

In tabella 5.5 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate sulla massa fine relativa alle diverse aliquote ottenute dai campioni di suolo raccolti.

Tabella 5.5. Concentrazione di Th-232 nella massa fine lungo il profilo del bersaglio 7

<b>Bersaglio 7</b>	<b>Th-232 Aliquota A (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2σ) Aliquota A (Bq/kg)</b>	<b>Th-232 Aliquota B (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2σ) Aliquota B (Bq/kg)</b>	<b>Th-232 Aliquota C (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2σ) Aliquota C (Bq/kg)</b>
<b>0-5 cm</b>	329,92	4,57	252,52	3,50	218,10	6,69
<b>5-10 cm</b>	46,77	0,67	54,45	0,90	-	-
<b>10-15 cm</b>	36,96	1,14	50,94	0,71	-	-
<b>15-20 cm</b>	15,41	0,55	21,13	0,31	-	-

Il profilo della concentrazione presenta il tipico andamento in profondità di contaminanti che vengono depositi in superficie e poi, nel tempo, migrano in profondità a causa di fenomeni naturali. La concentrazione di Th-232, misurata nello strato prelevato alla profondità compresa tra 15 e 20 cm, è molto simile a quella riportata in tabella 5.1 relativa al punto di “bianco”. Per confronto con la naturale concentrazione di Th-232 nei suoli, in tabella 5.6 vengono riportate le concentrazioni relative alle masse fini lungo due profili di suolo, simili pedologicamente a quello raccolto presso il poligono, prelevati in due località situate a qualche chilometro dal poligono stesso. Le concentrazioni di Th-232, che variano nel suolo anche in funzione delle diverse composizioni del suolo stesso, sono dello stesso ordine di grandezza di quelle relative all’ultimo strato prelevato presso il bersaglio 7. E’ quindi possibile ipotizzare una profondità di penetrazione del Th-232 di origine antropica, presso il bersaglio 7, pari a circa 15-20 cm.

**Tabella 5.6.** Concentrazione di Th-232 nella massa fine lungo i profili prelevati in località Dandolo e Vajont

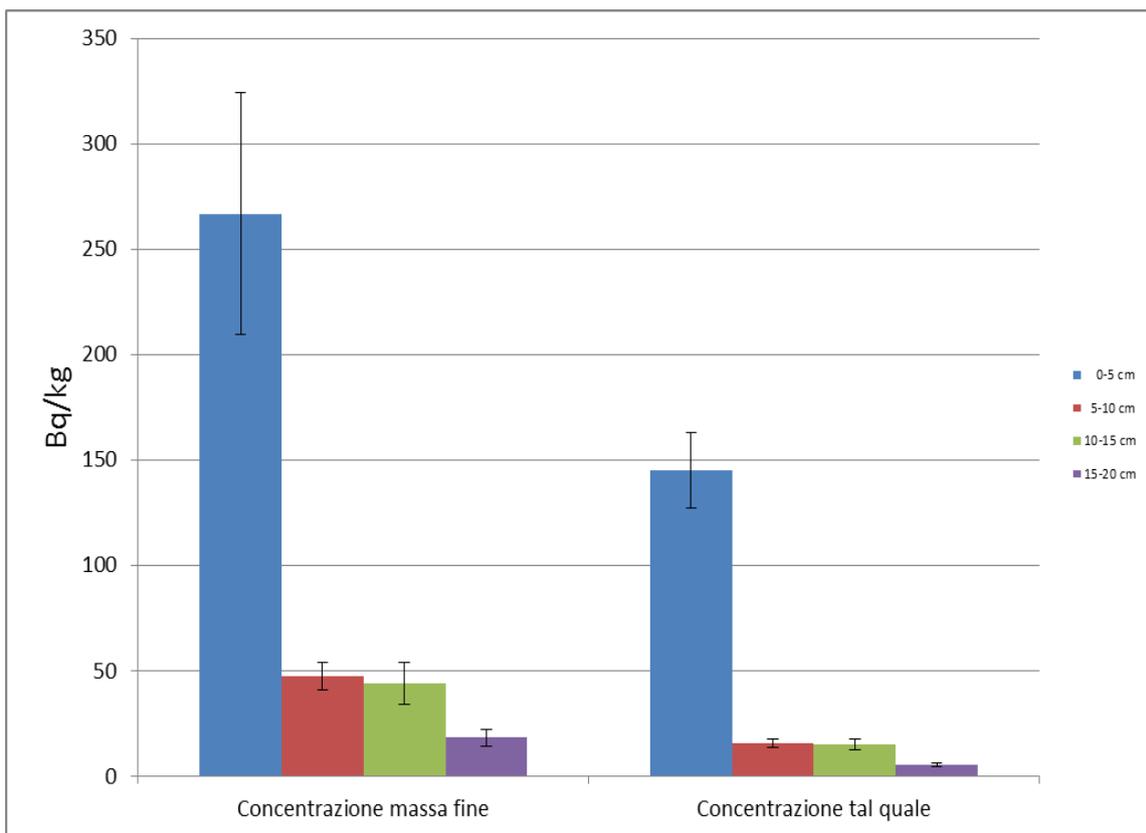
<b>Profondità</b>	<b>DANDOLO</b>		<b>VAJONT</b>	
	<b>Th-232 (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2σ) (Bq/kg)</b>	<b>Th-232 (Bq/kg)</b>	<b>Errore (2σ) (Bq/kg)</b>
<b>0-3 cm</b>	24,37	3,76	11,01	3,39
<b>3-5 cm</b>	19,02	4,52	12,80	3,38
<b>5-10 cm</b>	21,84	2,59	10,78	2,21
<b>10-15 cm</b>	20,60	2,16	10,63	1,94
<b>15-20 cm</b>	11,64	1,49	10,91	1,39
<b>20-25 cm</b>	11,55	2,81	4,78	1,17
<b>25-30 cm</b>	11,46	1,16	3,97	1,44

In tabella 5.7 sono riportate le concentrazioni medie di Th-232 sulla massa fine, calcolate sulle concentrazioni delle diverse aliquote per queglii strati dove queste erano superiori ad una. Tenendo conto dello scheletro, sono anche state calcolate le concentrazioni medie nel campione tal quale, ed i valori medi di concentrazione superficiale (primi 5 cm) espresse in termini di Bq/m<sup>2</sup>.

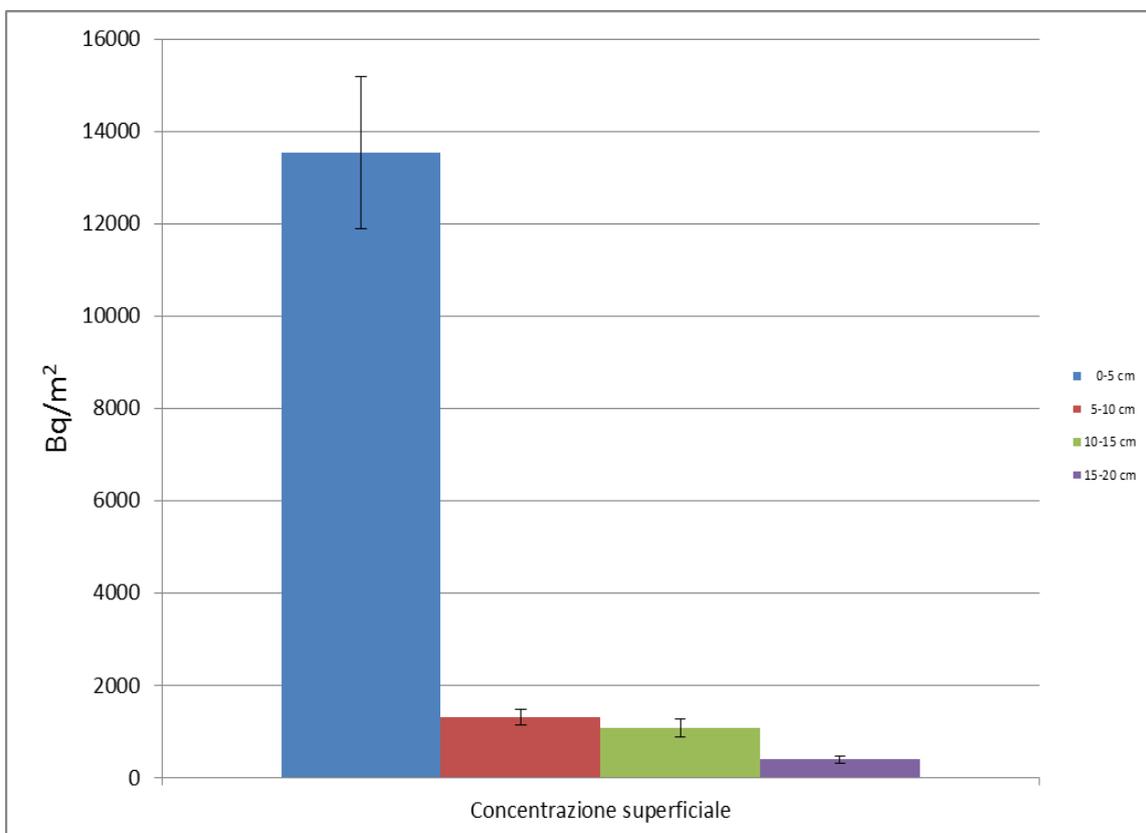
**Tabella 5.7.** Concentrazione media di Th-232 nella massa fine, nel tal quale e concentrazione superficiale per strato

<b>Bersaglio 7 profondità</b>	<b>Concentrazione massa fine Bq/kg</b>	<b>Errore 2σ Bq/kg</b>	<b>Concentrazione tal quale Bq/kg</b>	<b>Errore Bq/kg</b>	<b>Concentrazione superficiale Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>Errore Bq/m<sup>2</sup></b>
<b>0-5 cm</b>	266,85	57,27	145,08	17,72	13530,23	1653,86
<b>5-10 cm</b>	47,52	6,58	15,74	1,99	1316,02	162,80
<b>10-15 cm</b>	43,95	9,89	15,07	2,67	1073,18	190,17
<b>15-20 cm</b>	18,27	4,04	5,25	1,05	394,24	78,68

Il profilo in profondità della concentrazione di Th-232, misurato per il bersaglio 7, verrà utilizzato durante la fase di analisi ed elaborazione dati relativa alle misure di spettrometria gamma *in situ*.



**Figura 5.3.** Concentrazione media di Th-232 nella massa fine e nel tal quale, a diverse profondità, per il bersaglio 7



**Figura 5.4.** Concentrazione superficiale di Th-232 ( $Bq/m^2$ ), a diverse profondità, per il bersaglio 7

In figura 5.3 e 5.4 sono riportati graficamente i dati relativi alla tabella 5.7 e cioè, rispettivamente, le concentrazioni medie nella massa fine e nel tal quale, e la concentrazione superficiale media calcolata per i primi 20 cm di suolo.

La misura della concentrazione superficiale, espressa in Bq/m<sup>2</sup>, può essere sommata su tutti gli strati: il risultato è la quantità totale di contaminante, in questo caso il Th-232, depositata per unità di superficie. La quantità totale di Th-232 depositata sul bersaglio 7, risulta quindi pari a 16313,34 ± 2085,84 Bq/m<sup>2</sup>. Di questa concentrazione circa l'83% risulta ancora nei primi 5 centimetri di suolo.

Utilizzando le indicazioni fornite dai risultati delle misure effettuate sui campioni prelevati a diverse profondità presso il bersaglio 7, ed ipotizzando un andamento analogo della migrazione in profondità del Th-232 presso gli altri bersagli, sono state stimate, per tutti i bersagli risultati contaminati, le concentrazioni superficiali totali che sono riportate in tabella 5.8.

**Tabella 5.8.** Concentrazione superficiale totale (stimata) di Th-232, per i bersagli 5, 6, 7 e 8

<b>Bersaglio</b>	<b>Concentrazione superficiale</b> (Bq/m <sup>2</sup> )	<b>Errore</b> (Bq/m <sup>2</sup> )
<b>5</b>	6795,29	809,31
<b>6</b>	9284,27	213,51
<b>7</b>	16313,34	2085,51
<b>8</b>	15487,03	3251,17

### 5.2.3 Vegetali

I campioni di vegetali sono stati prelevati sulla linea di tiro, in due punti di "bianco" esterni al perimetro delimitato dalla concertina, e sulla sommità dei bersagli 1, 2, 6 e 8. In prossimità del rilievo 8 è stato prelevato un ulteriore campione di "bianco" ad una decina di metri dal rilievo stesso. Presso il bersaglio 7 è stato eseguito un campionamento di radici, che sono state poi lavate delicatamente allo scopo di eliminare la presenza di Th-232 dovuta al suolo che resta adeso ad esse.

In tabella 5.9 sono riportate le concentrazioni di Th-232, espresse in Bq/kg di peso secco, misurate in questi campioni. I risultati non sembrano evidenziare una contaminazione significativa nei campioni di vegetali raccolti. Va infatti considerato che la concentrazione misurata presso il bersaglio 8 risulta praticamente uguale a quella dei vegetali raccolti nel punto di "bianco 1" e quella più elevata, misurata presso il bersaglio 6, risulta sovrapponibile a quella misurata nel punto di "bianco 2". Va inoltre considerato che la differenza tra vegetali raccolti in punti diversi, potrebbe essere semplicemente imputata a differenze nelle specie prelevate o, poiché viene

fornito il dato relativo al solo peso secco, a differenze nello stato di idratazione dei vegetali che sono stati campionati in momenti diversi ed addirittura in stagioni vegetative diverse.

**Tabella 5.9.** Concentrazione di Th-232 nei campioni di vegetali (Bq/kg di peso secco)

<b>Punto</b>	<b>Th-232 (Bq/kg peso secco)</b>	<b>Errore (2σ) (Bq/kg peso secco)</b>
<b>1</b>	3,72	0,38
<b>2</b>	2,09	0,23
<b>6</b>	9,14	1,62
<b>8 sommità</b>	5,03	0,33
<b>8 Bianco</b>	2,06	0,21
<b>Bianco 1</b>	4,43	0,21
<b>Bianco 2</b>	7,27	0,68
<b>Linea tiro</b>	1,49	0,26
<b>7 (radici)</b>	11,54	0,97

Ricordando che il Th-232 è un elemento naturalmente presente in ambiente, e quindi nei vegetali, per un opportuno confronto, in tabella 5.10, sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate in alcuni vegetali, prelevati durante precedenti campagne di campionamento e misura di spettrometria, in località Dandolo e Vajont, a pochi chilometri di distanza dal poligono Cellina-Meduna, nel novembre 2011.

**Tabella 5.10.** Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali (Bq/kg di peso secco) raccolti in località Vajont e Dandolo (novembre 2011)

<b>Località</b>	<b>Vegetale</b>	<b>Th-232 (Bq/kg peso secco)</b>	<b>Errore (2σ) (Bq/kg peso secco)</b>
Dandolo	Misto	4,11	0,41
Vajont	Misto (campione 1)	1,50	0,43
Vajont	Misto (campione 2)	2,98	0,61
Vajont	Foglie carpino	6,43	0,81
Vajont	Fiori carpino	18,40	1,50
Vajont	Foglie euforbia	1,50	0,43
Vajont	Radici euforbia	9,91	1,47
Vajont	Euforbia	5,30	2,63

In tabella 5.11 sono riportate misure effettuate su campioni di vegetali misti prelevati tra il 2002 ed il 2010 in altre località della regione Friuli Venezia Giulia nelle normali campagne di monitoraggio della radioattività ambientale.

**Tabella 5.11.** Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali (Bq/kg di peso secco) raccolti in varie località della regione Friuli Venezia Giulia (2002-2010)

<i>Località</i>	<i>Vegetale</i>	<i>Th-232 (Bq/kg peso secco)</i>	<i>Errore (2σ) (Bq/kg peso secco)</i>
Matajur	Misto	11,53	4,02
Muzzana	Misto	1,12	0,52
Passo Pura	Misto	3,71	0,68
Val Pesarina	Misto	1,51	0,42
Gemona	Misto	10,01	0,90
Polcenigo	Misto	3,40	0,34
Basovizza	Misto	3,85	0,42
Flaibano	Misto	2,63	0,59
Malborghetto	Misto	34,93	7,52
Resia 1	Misto	18,98	5,99
Resia 2	Misto	29,96	22,26

La variabilità tra i diversi campioni e tra le diverse parti della stessa pianta risulta piuttosto elevata e l'ordine di grandezza della concentrazione di Th-232 misurato è lo stesso della concentrazione misurata nei campioni raccolti presso il poligono Cellina-Meduna e riportata in tabella 5.10, mentre i valori massimi sono decisamente superiori a quelli misurati sui campioni raccolti presso i bersagli 6 e 8.

#### **5.2.4 Alimenti**

Come indicato nel capitolo 4, paragrafo 4.3.3, sono stati prelevati 12 campioni di alimenti (farina di mais, cipolle, patate, porro, mele, succo di mela e vino), tutti prodotti nelle immediate vicinanze del poligono di tiro.

Poiché gli alimenti contengono naturalmente una certa quantità di radionuclidi naturali, tra cui il Th-232, i risultati delle misure di spettrometria gamma effettuate sui campioni prelevati, sono di seguito riportati, per un opportuno confronto, insieme agli ultimi risultati disponibili di misure effettuate sullo stesso tipo di alimenti dalla SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG, nell'ambito dei normali programmi annuali di monitoraggio delle matrici alimentari.

In tabella 5.12 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate nei campioni di patate nell'ambito del monitoraggio della radioattività nei campioni alimentari del Friuli Venezia Giulia, la media di queste concentrazioni e la concentrazione misurata nel campione di patate prelevato nei pressi del poligono.

**Tabella 5.12.** Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di patate misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nel campione prelevato nei pressi del poligono.

<b>Codice Campione</b>	<b>Data di prelievo</b>	<b>Luogo di prelievo</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Errore 2<math>\sigma</math> Bq/kg</b>
<b>3GEM06B02</b>	24/04/2006	VENZONE	0,12	0,03
<b>3GEM06C01</b>	03/08/2006	GEMONA DEL FRIULI	<0,17	MDA
<b>5BAS06A08</b>	15/02/2006	FIUMICELLO	0,17	0,10
<b>6PN06D12</b>	29/12/2006	VARMO	0,11	0,04
<b>6PN07B11</b>	17/05/2007	PORDENONE	<0,17	MDA
<b>5BAS08B14</b>	28/05/2008	UDINE	<0,16	MDA
<b>3GEM08D04</b>	01/10/2008	GEMONA DEL FRIULI	0,14	0,05
<b>3GEM09D05</b>	05/10/2009	ARTA TERME	<0,15	MDA
<b>3GEM09C03</b>	29/06/2009	CAMPOROSSO	<0,14	MDA
<b>3GEM09B02</b>	25/03/2009	MOGGIO UDINESE	0,16	0,09
<b>3GEM10A03</b>	26/01/2010	TOLMEZZO	<0,12	MDA
<b>3GEM10D04</b>	05/10/2010	GEMONA DEL FRIULI	<0,19	MDA
<b>3GEM11A08</b>	27/01/2011	TARVISIO	<0,17	MDA
<b>3GEM11C02</b>	04/07/2011	TOLMEZZO	<0,14	MDA
<b>3GEM12A02</b>	18/02/2012	GEMONA DEL FRIULI	<0,19	MDA
<b>3GEM14B05</b>	15/04/2014	AMPEZZO	<0,17	MDA
<b>3GEM14C06</b>	02/07/2014	BICINICCO	<0,11	MDA
<b>MEDIA</b>			<b>≤0,15</b>	-
<b>MISARPA15-12 (poligono)</b>	13/03/2015	SAN QUIRINO	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

In tabella 5.13 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate nei campioni di porro nell'ambito del monitoraggio della radioattività nei campioni alimentari del Friuli Venezia Giulia, la media di queste concentrazioni e la concentrazione misurata nel campione di porro prelevato nei pressi del poligono.

In tabella 5.14 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate nei campioni di cipolle nell'ambito del monitoraggio della radioattività nei campioni alimentari del Friuli Venezia Giulia, la media di queste concentrazioni e la concentrazione misurata nel campione di cipolle prelevato nei pressi del poligono.

In tabella 5.15 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate nei campioni di mele nell'ambito del monitoraggio della radioattività nei campioni alimentari del Friuli Venezia Giulia, la media di queste concentrazioni e la concentrazione misurata nei campioni di mele prelevati nei pressi del poligono.

In tabella 5.16 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate nei campioni di vino nell'ambito del monitoraggio della radioattività nei campioni alimentari del Friuli Venezia Giulia, la media di

queste concentrazioni e la concentrazione misurata nei campioni di vino prelevati nei pressi del poligono.

Per quanto riguarda le mele, le patate, la cipolla, il porro e il vino, i valori di concentrazione di Th-232 misurati nei campioni prelevati nei pressi del poligono sono del tutto compatibili con quelli misurati nei campioni prelevati nel resto della regione.

I due campioni di succo di mela hanno valori di concentrazione di Th-232 di 0,14 Bq/kg, un risultato consistente con quello relativo ai campioni di mela. La concentrazione di Th-232 nella farina di mais è risultata inferiore alla soglia di rilevazione del sistema di misura pari a 0,16 Bq/kg.

**Tabella 5.13.** Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di porro misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nel campione prelevato nei pressi del poligono.

<b>Codice Campione</b>	<b>Data di prelievo</b>	<b>Luogo di prelievo</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Errore 2<math>\sigma</math> Bq/kg</b>
<b>6PN10D05</b>	06/12/2010	ARZENE	0,19	0,03
<b>5BAS11B04</b>	06/04/2011	TRIVIGNANO UDINESE	0,17	0,06
<b>MEDIA</b>			<b>0,18</b>	<b>0,01</b>
<b>MISARPA15-09 (Poligono)</b>	13/03/2015	SAN QUIRINO	<b>0,20</b>	<b>0,12</b>

**Tabella 5.14.** Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di cipolle misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nel campione prelevato nei pressi del poligono.

<b>Codice Campione</b>	<b>Data di prelievo</b>	<b>Luogo di prelievo</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Errore 2<math>\sigma</math> Bq/kg</b>
<b>3GEM08D07</b>	01/10/2008	GEMONA DEL FRIULI	<0,24	MDA
<b>3GEM08C05</b>	30/06/2008	VENZONE	<0,22	MDA
<b>4UD09D01</b>	30/10/2009	CASTIONS DI STRADA	<0,13	MDA
<b>6PN13D02</b>	14/10/2013	SAN VITO AL TAGLIAMENTO	<0,18	MDA
<b>MEDIA</b>			<b>&lt;0,19</b>	<b>MDA</b>
<b>MISARPA15-10 (poligono)</b>	13/03/2015	SAN QUIRINO	<b>0,13</b>	<b>0,06</b>

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.15.** Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di mele misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nei campioni prelevati nei pressi del poligono.

<b>Codice Campione</b>	<b>Data di prelievo</b>	<b>Luogo di prelievo</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>) Bq/kg</b>
<b>1TS14C-16</b>	24/09/2014	TRIESTE	0,13	0,04
<b>1TS14D-12</b>	02/12/2014	TRIESTE	0,38	0,04
<b>2GO14B-09</b>	27/05/2014	STARANZANO	<0,16	MDA
<b>3GEM14A-03</b>	15/01/2014	TARVISIO	0,24	0,03
<b>3GEM14B-04</b>	14/04/2014	AMPEZZO	<0,13	MDA
<b>3GEM14C-05</b>	02/07/2014	PALUZZA	<0,14	MDA
<b>4UD14A-11</b>	17/02/2014	TAVAGNACCO	0,14	0,03
<b>4UD14D-12</b>	04/11/2014	SAN PIETRO AL NATISONE	0,14	0,04
<b>6PN14D-05</b>	17/11/2014	SAN VITO AL TAGLIAMENTO	0,11	0,03
<b>MEDIA</b>			<b><math>\leq 0,17</math></b>	-
<b>MISARPA15-01</b>	06/03/2015	DANDOLO	0,25	0,03
<b>MISARPA15-02</b>	06/03/2015	DANDOLO	<0,13	MDA
<b>MISARPA15-08</b>	06/03/2015	VIVARO	<0,12	MDA
<b>MISARPA15-11</b>	13/03/2015	SAN QUIRINO	0,19	0,03
<b>MEDIA (poligono)</b>			<b><math>\leq 0,17</math></b>	-

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.16.** Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di vino misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nei campioni prelevati nei pressi del poligono.

<b>Codice Campione</b>	<b>Data di prelievo</b>	<b>Luogo di prelievo</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Errore (2<math>\sigma</math>) Bq/kg</b>
<b>6PN13A-13</b>	19/03/2013	CASARSA DELLA DELIZIA	<0,11	MDA
<b>1TS14A-12</b>	17/03/2014	SGONICO	0,12	0,01
<b>1TS14B-11</b>	20/06/2014	SGONICO	0,16	0,03
<b>1TS14C-11</b>	18/09/2014	SGONICO	0,11	0,03
<b>2GO14B-13</b>	16/06/2014	CAPRIVA DEL FRIULI	0,09	0,03
<b>2GO14C-12</b>	25/09/2014	DOLEGNA DEL COLLIO	0,14	0,03
<b>2GO14D-14</b>	10/12/2014	SAN LORENZO ISONTINO	0,06	0,02
<b>4UD14C-08</b>	05/08/2014	POZZUOLO DEL FRIULI	<0,11	MDA
<b>5BAS14A-01</b>	10/02/2014	LATISANA	<0,10	MDA
<b>MEDIA</b>			<b><math>\leq 0,11</math></b>	-
<b>MISARPA15-03</b>	06/03/2014	MANIAGO	0,20	0,04
<b>MISARPA15-04</b>	06/03/2014	MANIAGO	0,15	0,03
<b>MEDIA (Poligono)</b>			<b>0,17</b>	<b>0,04</b>

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

## 5.2.4 Particolato atmosferico

Allo scopo di valutare l'eventuale risospensione del Th-232 depositato al suolo, in corrispondenza del bersaglio 6 e del bersaglio 7 sono stati effettuati 2 campionamenti di particolato atmosferico mediante un campionatore ad alto volume. Analogo campionamento è stato effettuato in corrispondenza del punto di bianco. Per confronto è stato anche effettuato, con la stessa metodica, un campionamento di particolato atmosferico presso la sede di Gorizia di ARPA FVG.

In tabella 5.17 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate sui campioni di particolato atmosferico.

**Tabella 5.17.** Concentrazione di Th-232 nei campioni di particolato atmosferico

<b>Punto di prelievo</b>	<b>Data di prelievo</b>	<b>Durata del prelievo h</b>	<b>Volume aspirato m<sup>3</sup></b>	<b>Concentrazione Th-232 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>Errore 2σ Bq/ m<sup>3</sup></b>
<b>Punto 6</b>	25/05/2015	3,0	27,0	0,0215	0,0047
<b>Punto 7</b>	31/03/2014	3,5	29,7	<0,0057	MDA
<b>BIANCO</b>	07/04/2014	3,5	31,5	0,0091	0,0088
<b>Gorizia</b>	22/05/2015	3,5	32,0	0,0034	0,0020

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

Le concentrazioni di Th-232 misurate nei quattro campioni risultano dello stesso ordine di grandezza ed uguali a meno dell'errore. Va sottolineato che le misure sono state fatte in giornate diverse, in cui le condizioni metereologiche, velocità del vento e precipitazioni delle ultime 24 ore, in particolare, potevano essere molto diverse. Per un opportuno confronto vengono riportate, in tabella 5.18, le concentrazioni di Th-232 misurate in campioni di particolato atmosferico giornaliero che vengono prelevati h24, sul tetto del laboratorio della SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG a Udine. I dati si riferiscono ad aprile 2015.

Tutte le concentrazioni di Th-232 misurate sui campioni di particolato atmosferico prelevato a Udine nel mese di aprile del 2015, risultano superiori a quelle misurate presso il bersaglio 6.

Si può quindi concludere che le concentrazioni di Th-232 nel particolato atmosferico prelevato presso i bersagli 6 e 7 del poligono Cellina-Meduna, non risultano significativamente diverse da quelle del fondo naturale. Si ricorda che, durante il campionamento sui bersagli 6 e 7, deliberatamente, sono stati effettuati anche i prelievi di suolo, allo scopo di rendere più elevata la risospensione.

**Tabella 5.18.** Concentrazione di Th-232 in campioni di particolato atmosferico misurati a Udine nell'aprile 2015

<b>Data (2015)</b>	<b>Th-232 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>Errore (2σ) Bq/m<sup>3</sup></b>
01-apr	0,135	0,006
03-apr	0,081	0,004
07-apr	0,072	0,004
08-apr	0,047	0,003
09-apr	0,047	0,003
10-apr	0,040	0,003
14-apr	0,138	0,010
15-apr	0,035	0,002
16-apr	0,022	0,001
17-apr	0,061	0,004
22-apr	0,047	0,003
23-apr	0,049	0,003
28-apr	0,034	0,003
29-apr	0,021	0,001
<b>MEDIA</b>	<b>0,059</b>	<b>0,037</b>

### 5.2.5 Frammento di missile

Nell'ambito delle misure di caratterizzazione dei bersagli è stata riscontrata un'anomalia radiometrica alla base del rilievo relativo al bersaglio 6. Sulla base delle considerazioni riportate nel capitolo precedente al paragrafo 4.7.2, mediante l'utilizzo del software ISOCS - Geometry Composer, era stato possibile valutare teoricamente che tale anomalia poteva dipendere da materiale ferroso contaminato, ipotizzato della misura di 3x3x1 cm<sup>3</sup>, posto a circa 2,56 cm. Un piccolo scavo ha permesso di ritrovare, ad una profondità pari a circa 3 cm, il pezzo metallico che si può vedere in figura 5.5.

La procedura seguita per l'individuazione del pezzo è stata la seguente: è stato asportato un campione di vegetali epigei nella zona interessata dall'anomalia radiometrica; il suolo è stato asportato in strati successivi di 1 cm di spessore ed una superficie di 20x20 cm<sup>2</sup>; una volta rinvenuto il pezzo metallico alla profondità di circa 3 cm, esso è stato asportato e lo scavo è continuato fino ad una profondità di 10 cm. Il pezzo rinvenuto e i 10 campioni di suolo sono stati posti in opportuni contenitori da 65 ml e misurati sul campo, facendo uso di un pozzetto a basso fondo realizzato *ad hoc* con i collimatori a disposizione. In questo modo è stato possibile determinare la profondità di campionamento in base alla contaminazione rilevata: il campione relativo allo strato 9-10 cm, è risultato avere concentrazioni di Th-232 compatibili con quelle del fondo naturale della zona.



**Figura 5.5.** Frammento metallico rinvenuto a 3 cm di profondità presso il bersaglio 6

In figura 5.6 si vede una fase della procedura di campionamento mentre in figura 5.7 si vede la configurazione per la misura di spettrometria gamma in campo effettuata con i collimatori a disposizione.



**Figura 5.6.** Una fase della procedura di campionamento



**Figura 5.7.** Configurazione per la misura di spettrometria gamma in campo con i collimatori

Una volta portati in laboratorio i campioni, dopo essere stati pesati, sono stati essiccati in stufa a 60°C e sono stati poi sottoposti a misura di spettrometria gamma in laboratorio. I campioni di suolo non sono stati setacciati.

In tabella 5.19 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate in campo, nei campioni di suolo raccolti in prossimità del materiale contaminato, espressa in termini di Bq/kg di peso fresco nel campione tal quale, mentre in tabella 5.20 sono riportate le concentrazioni di Th-232 misurate in laboratorio, nel campione di vegetali, espressa in termini di Bq/kg di peso secco, e nei campioni di suolo raccolti in prossimità del materiale contaminato, espressa in termini di Bq/kg di peso secco nel campione tal quale.

**Tabella 5.19.** Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali e di suolo raccolti intorno al pezzo contaminato. Misure in campo. Concentrazioni espresse in termini di peso fresco

<i><b>campione</b></i>	<i><b>Th-232</b></i> <b>Bq/kg</b>	<i><b>Errore (2σ)</b></i> <b>Bq/kg</b>
<b>0-1 cm</b>	105,66	27,88
<b>1-2 cm</b>	136,58	31,48
<b>2-3 cm</b>	126,75	22,40
<b>3-4 cm</b>	243,94	31,10
<b>4-5 cm</b>	85,95	19,14
<b>5-6 cm</b>	156,81	21,19
<b>6-7 cm</b>	74,48	13,11
<b>7-8 cm</b>	41,06	10,44
<b>8-9 cm</b>	19,45	9,13
<b>9-10 cm</b>	10,85	6,82

**Tabella 5.20.** Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali e di suolo raccolti intorno al pezzo contaminato. Misure in laboratorio. Concentrazioni espresse in termini di peso secco

<i><b>campione</b></i>	<i><b>Th-232</b></i> <b>Bq/kg</b>	<i><b>Errore (2σ)</b></i> <b>Bq/kg</b>
<b>0-1 cm</b>	161,83	11,61
<b>1-2 cm</b>	270,63	19,29
<b>2-3 cm</b>	179,20	11,00
<b>3-4 cm</b>	342,05	9,74
<b>4-5 cm</b>	118,47	7,46
<b>5-6 cm</b>	184,78	11,48
<b>6-7 cm</b>	104,99	6,44
<b>7-8 cm</b>	54,01	3,46
<b>8-9 cm</b>	27,08	1,71
<b>9-10 cm</b>	4,46	0,43
<b>vegetali</b>	71,14	6,60

Il massimo della concentrazione misurata risulta negli strati a profondità compresa tra 1 e 4 cm, profondità alla quale è stato rinvenuto il pezzo che è responsabile della contaminazione del suolo intorno ad esso e dei vegetali che su di esso crescono.

Allo scopo di verificare che la contaminazione determinata dal pezzo ritrovato fosse confinata ai pochi cm intorno ad esso, a 30 cm dal punto di scavo è stato fatto un prelievo di suolo superficiale: la concentrazione di Th-232 misurata sul campione tal quale è risultata inferiore a circa 40 Bq/kg che, confrontati con le concentrazioni misurate nei primi strati dei campioni di suolo asportati intorno al pezzo rinvenuto, confermano la delimitazione della contaminazione.

Il pezzo rinvenuto è stato misurato in campo all'interno del pozzetto realizzato *ad hoc* e la sua concentrazione è risultata pari a  $47313 \pm 7599$  Bq/kg. Portato in laboratorio è stato nuovamente misurato e la sua concentrazione è risultata pari a  $51480 \pm 723$  Bq/kg, valore del tutto compatibile con quello relativo alla concentrazione misurata in campo.

Tuttavia queste valutazioni soffrono della particolare geometria di misura del pezzo che, solo indicativamente, può essere approssimata ad una delle geometrie di riferimento calibrate per il sistema di misura. Tra l'altro non era evidente se la parte contaminata fosse il materiale metallico o altro materiale contenuto al suo interno.

Si è quindi provveduto a riportare il pezzo alle condizioni più vicine possibile alle sue condizioni iniziali. Il risultato di tale operazione ha permesso di identificare il pezzo come il diffusore di un missile MILAN, che è normalmente posto nel retro del missile stesso con la funzione di contenere l'ossido di torio (vedi figura 5.8).



**Figura 5.8.** Diffusore di missile MILAN rinvenuto presso il bersaglio 6

Il diffusore è stato ripulito della terra che lo avvolgeva e questa è stata posta in un beaker per la misura (terra 1). Successivamente è stata prelevata la terra contaminata presente all'interno dell'oggetto (terra 2, vedi figura 5.9). I due campioni così ottenuti sono stati preparati per la misura di spettrometria gamma. I risultati delle misure sono riportati in tabella 5.21.

**Tabella 5.21.** Concentrazione di Th-232 nei campioni di materiale all'esterno (terra 1) ed all'interno del diffusore (terra 2). Concentrazioni espresse in termini di peso secco

<i><b>campione</b></i>	<i><b>Concentrazione</b></i>		<i><b>Attività</b></i>	
	<i><b>Th-232 Bq/kg</b></i>	<i><b>Errore (2σ) Bq/kg</b></i>	<i><b>Th-232 Bq</b></i>	<i><b>Errore (2σ) Bq</b></i>
<b>Terra 1</b>	62863	2306	274	10
<b>Terra 2</b>	286648	10542	3916	144

L'attività totale è risultata pari a 4210 Bq, corrispondente a circa 1 grammo di Th-232.

Tale attività è compatibile con la presenza di 2-3 grammi di torio all'interno di ogni missile: devono infatti essere considerati i seguenti due fattori:

- a. il diffusore, rimisurato dopo l'asportazione della terra, risultava comunque avere una concentrazione di Th-232 pari a  $23762 \pm 885$  Bq/kg, quindi non è stato asportato tutto il Th-232 contenuto nel diffusore che risulta averne ancora al proprio interno;
- b. parte della contaminazione è stata rinvenuta nel suolo intorno al pezzo contaminato e non è compresa nell'attività complessiva dei campioni di terra 1 e terra 2.



**Figura 5.9.** Materiale rinvenuto all'interno del diffusore

### **5.3 Spettrometria gamma *in situ***

Le misure di spettrometria gamma *in situ*, effettuate sia in configurazione senza collimatori che in configurazione con collimatori, hanno evidenziato la presenza di contaminazione da Th-232 sui bersagli 5, 6, 7 e 8 ed i valori di concentrazione superficiale misurati risultano in buon accordo con quelli calcolati sulla base delle misure in laboratorio dei campioni di suolo prelevati presso gli stessi bersagli. Le misure *in situ* sono state utilizzate nell'ambito della caratterizzazione dei bersagli e della mappatura della distribuzione della concentrazione del Th-232 all'interno del poligono di tiro. Vengono di seguito illustrati i risultati relativi ad oltre un centinaio di misure eseguite in entrambe le configurazioni. Poiché la misura di spettrometria gamma permette la rivelazione contemporanea di tutti i radionuclidi gamma emettitori all'interno di un range di energia stabilito a priori, viene infine riportata anche una mappatura della distribuzione della concentrazione del Cs-137 all'interno dello stesso sito.

#### **5.3.1 Configurazione senza collimatori**

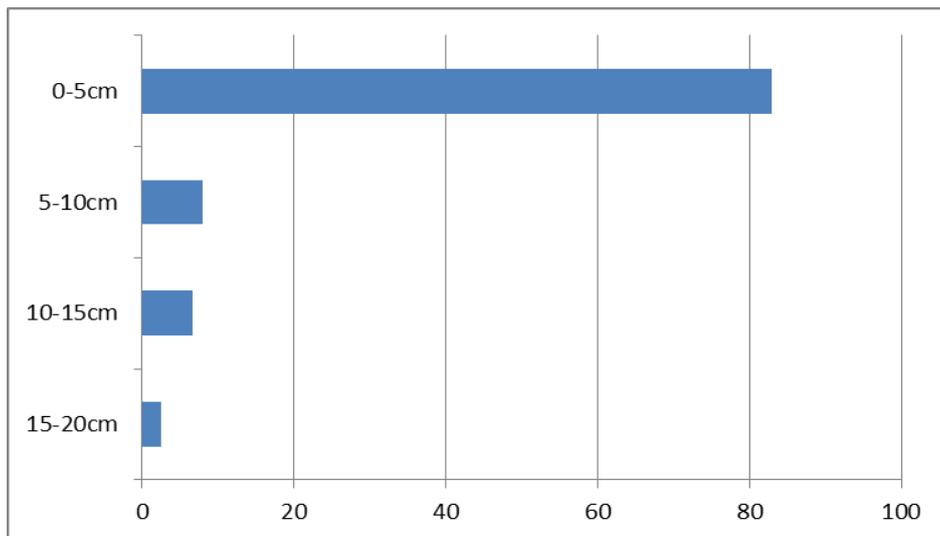
Misure di spettrometria gamma *in situ* senza collimatori sono state fatte in tutti i bersagli (sulla sommità e ad un paio di metri di distanza dai rilievi), sulla linea di tiro, nel punto di "bianco" e in altri 33 punti, 26 dei quali appartenenti alla griglia principale e 7 all'infittimento della stessa (vedi capitolo 4, paragrafo 4.6.2).

Come indicato nel capitolo 4, paragrafo 4.7.1, per l'analisi degli spettri ottenuti in campo è necessario calcolare una curva di efficienza teorica. Ciò viene fatto attraverso un opportuno software una volta che siano definiti alcuni parametri. Sulla base dei risultati forniti dall'analisi in laboratorio dei campioni prelevati lungo il profilo pedologico presso il bersaglio 7, è stato possibile

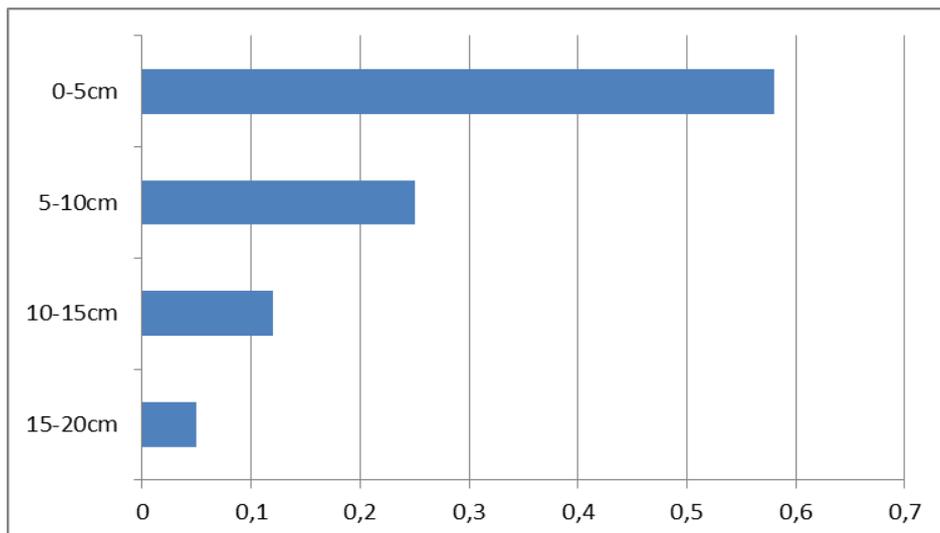
determinare un profilo sperimentale della concentrazione del Th-232 fino ad una profondità di 20 cm.

E' ragionevole ipotizzare che, anche per gli altri bersagli risultati contaminati, il profilo della distribuzione della concentrazione del Th-232 possa essere lo stesso. E' anche possibile valutare l'utilizzo di un profilo diverso da quello sperimentale, cioè un profilo teorico esponenziale.

Nelle figure 5.10 e 5.11 sono riportati, rispettivamente, il profilo sperimentale derivato dalle misure relative al bersaglio 7 e quello teorico esponenziale.



**Figura 5.10.** Profilo sperimentale di distribuzione del Th-232 in profondità



**Figura 5.11.** Profilo teorico esponenziale di distribuzione del Th-232 in profondità

Nella tabella 5.22, vengono riportati i valori di concentrazione superficiale ( $Bq/m^2$ ) ottenuti sulla base dei parametri relativi al profilo sperimentale utilizzando un piano di riferimento di diametro

rispettivamente di 10 e 5 m. Nel secondo caso i valori ottenuti risultano, correttamente, più elevati perché mediati su una superficie minore.

**Tabella 5.22.** Concentrazione superficiale Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale, ø piano di riferimento: 5 e 10 m).  
Misure sui bersagli, sulla linea di tiro e sul punto di “bianco”

<b>Punto</b>	<b>5 m</b>		<b>10 m</b>	
	<b>Concentrazione Superficiale (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Concentrazione Superficiale (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Bersaglio 1</b>	-	-	<734,00	MDA
<b>Bersaglio 2</b>	-	-	<735,00	MDA
<b>Bersaglio 3</b>	-	-	<730,00	MDA
<b>Bersaglio 4</b>	-	-	<620,00	MDA
<b>Bersaglio 5</b>	<b>6944,96</b>	690,10	<b>5152,71</b>	512,77
<b>Bersaglio 6</b>	<b>9704,23</b>	863,24	<b>7320,72</b>	650,81
<b>Bersaglio 7</b>	<b>11953,18</b>	1019,46	<b>8851,80</b>	756,07
<b>Bersaglio 8</b>	<b>10243,38</b>	740,20	<b>9735,88</b>	817,70
<b>Bianco</b>	-	-	<748,00	MDA
<b>Linea tiro</b>	-	-	<647,00	MDA

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.23.** Concentrazione superficiale Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale, ø piano di riferimento: 10 m) sui punti della griglia

<b>P.to</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>P.to</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
<b>G01</b>	<616,00	MDA	<b>G19</b>	<560,00	MDA
<b>G02</b>	<562,00	MDA	<b>G20</b>	<536,00	MDA
<b>G03</b>	<358,00	MDA	<b>G21</b>	-	-
<b>G04</b>	<560,00	MDA	<b>G22</b>	<535,00	MDA
<b>G05</b>	<595,00	MDA	<b>G23</b>	<588,00	MDA
<b>G06</b>	<500,00	MDA	<b>G24</b>	<605,00	MDA
<b>G07</b>	<428,38	MDA	<b>G25</b>	<572,00	MDA
<b>G08</b>	<583,00	MDA	<b>G26</b>	<550,00	MDA
<b>G09</b>	<588,00	MDA	<b>G27</b>	<487,00	MDA
<b>G10</b>	<609,00	MDA	<b>G28</b>	-	-
<b>G11</b>	<531,00	MDA	<b>G31</b>	<467,00	MDA
<b>G12</b>	<568,00	MDA	<b>G32</b>	<577,00	MDA
<b>G13</b>	<478,00	MDA	<b>G33</b>	<470,00	MDA
<b>G14</b>	<400,00	MDA	<b>G56</b>	<612,00	MDA
<b>G15</b>	<554,00	MDA	<b>G59</b>	<525,00	MDA
<b>G16</b>	<578,00	MDA	<b>GN</b>	<538,00	MDA
<b>G17</b>	<592,00	MDA	<b>GS</b>	<541,00	MDA
<b>G18</b>	<568,00	MDA	<b>GP</b>	<826,00	MDA

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

Nella tabella 5.23 sono invece riportati i risultati delle misure di spettrometria gamma *in situ* senza collimatori, relativi ai punti della griglia principale (26 punti effettivi di misura) e dell'infittimento. Le concentrazioni di Th-232 sono risultate inferiori alla soglia di rilevabilità dello strumento.

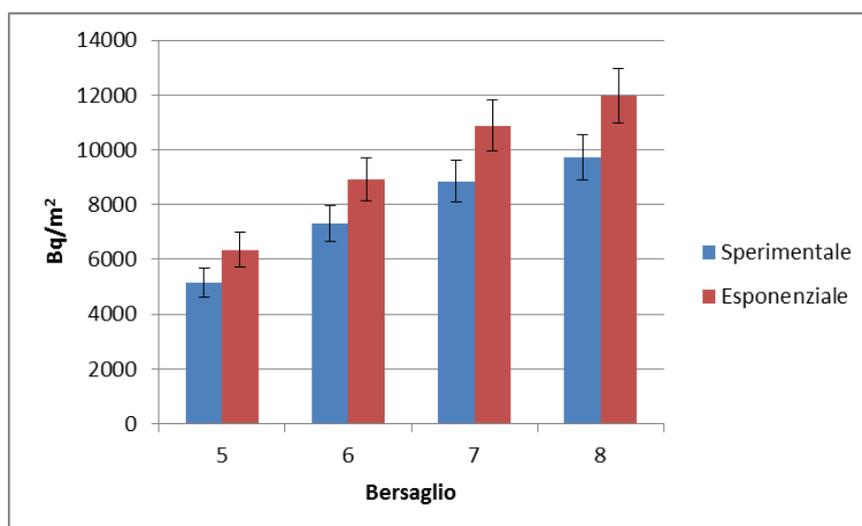
Limitatamente ai bersagli contaminati, sono state calcolate sia le concentrazioni superficiali ( $Bq/m^2$ ), che le concentrazioni medie ( $Bq/kg$ ) di Th-232, utilizzando sia il profilo sperimentale che quello teorico esponenziale. I risultati così ottenuti, relativi alle concentrazioni superficiali, sono riportati in tabella 5.24, mentre quelli relativi alle concentrazioni medie sono riportati in tabella 5.25.

**Tabella 5.24.** Concentrazione superficiale di Th-232: confronto profilo sperimentale e profilo esponenziale

<b>Bersaglio</b>	<b>Th-232 Sperimentale (<math>Bq/m^2</math>)</b>	<b>Errore (<math>Bq/m^2</math>)</b>	<b>Th-232 Esponenziale (<math>Bq/m^2</math>)</b>	<b>Errore (<math>Bq/m^2</math>)</b>
<b>5</b>	5152,71	512,77	6345,68	632,45
<b>6</b>	7320,72	650,81	8917,72	792,79
<b>7</b>	8851,80	756,07	10887,14	931,23
<b>8</b>	9735,88	817,70	11963,98	1006,54

**Tabella 5.25.** Concentrazione media di Th-232: confronto profilo sperimentale e profilo esponenziale ( $Bq/kg$  sul peso fresco tal quale)

<b>Bersaglio</b>	<b>Th-232 Sperimentale (<math>Bq/kg</math>)</b>	<b>Errore (<math>Bq/kg</math>)</b>	<b>Th-232 Esponenziale (<math>Bq/kg</math>)</b>	<b>Errore (<math>Bq/kg</math>)</b>
<b>5</b>	16,09	1,60	19,82	1,98
<b>6</b>	22,56	2,01	27,85	2,48
<b>7</b>	27,65	2,36	34,01	2,91
<b>8</b>	30,41	2,55	37,37	3,14



**Figura 5.12.** Confronto tra concentrazione superficiale di Th-232 ( $Bq/m^2$ ), calcolata con l'utilizzo del profilo sperimentale e di quello esponenziale, per i diversi bersagli contaminati

In figura 5.12 è riportato il confronto tra la concentrazione superficiale di Th-232 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), calcolata con l'utilizzo del profilo sperimentale e di quello esponenziale, per i diversi bersagli contaminati (diametro del piano di riferimento: 10 m).

Tutti i risultati riportati mostrano un buon accordo sia tra le concentrazioni superficiali, che tra le concentrazioni medie, ottenute con l'utilizzo dei parametri relativi ai due diversi profili.

I risultati relativi alle concentrazioni superficiali risultano anche in buon accordo con quelle ricavate dalla misura in laboratorio dei campioni prelevati presso i bersagli: i valori sono un po' inferiori a quelli mostrati in tabella 5.8, che riportano la concentrazione superficiale totale relativa ai punti di massima contaminazione sulla sommità dei rilievi, e dell'ordine di grandezza di quelli riportati in tabella 5.4, relativi alla concentrazione superficiale dei primi 5 cm di suolo negli stessi punti.

Sulla base di questi risultati ed in mancanza di ulteriori informazioni sulla distribuzione del Th-232 in profondità nei diversi siti, i calcoli sono stati effettuati utilizzando, dove non diversamente indicato, i parametri relativi al profilo ottenuto sperimentalmente.

I valori di concentrazione media di Th-232 riportati in tabella 5.25, sono espressi in termini di  $\text{Bq}/\text{kg}$  e sono riferiti al peso fresco del campione tal quale. Possono essere quindi interpretati come valori medi della concentrazione del torio sul bersaglio considerato, mentre i valori riportati in tabella 5.4 sono riferiti, in virtù delle modalità di campionamento, ai punti di massima contaminazione sul bersaglio stesso.

Sulla base dei risultati riportati in tabella 5.25 è possibile calcolare la concentrazione del Th-232 di ciascuno strato di 5 cm. I dati sono stati corretti per tenere conto del contenuto d'acqua e dello scheletro, sulla base dei dati ricavati dalle misure di laboratorio.

Sono stati quindi ricostruiti i profili dei bersagli in termini di concentrazione di Th-232 nella massa fine: si ottengono così concentrazioni di Th-232 nella massa fine dei primi 5 cm di suolo comprese tra 132  $\text{Bq}/\text{kg}$  e 414  $\text{Bq}/\text{kg}$ , valori che risultano molto vicini a quelli misurati in laboratorio e riportati in tabella 5.4, relativi ai campioni effettuati sui punti più contaminati di ogni bersaglio.

Nelle tabelle 5.26, 5.27, 5.28 e 5.29, sono riportati i profili di concentrazione di Th-232, ricostruiti mediante l'utilizzo del profilo sperimentale e di quello esponenziale, per il campione tal quale fresco e sul peso secco nella terra fine, relativi, rispettivamente, ai bersagli 5, 6, 7 e 8.

**Tabella 5.26.** Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 5

<b>Strato</b>	<b>Sperimentale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Sperimentale corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale corretto (Bq/kg)</b>
<b>0-5 cm</b>	50,20	132,48	45,98	121,35
<b>5-10 cm</b>	7,08	24,93	19,82	69,78
<b>10-15 cm</b>	5,15	18,25	9,51	33,73
<b>15-20 cm</b>	1,93	6,94	3,96	14,25

**Tabella 5.27.** Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 6

<b>Strato</b>	<b>Sperimentale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Sperimentale corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale corretto (Bq/kg)</b>
<b>0-5 cm</b>	70,39	207,84	52,34	154,54
<b>5-10 cm</b>	9,93	34,95	22,56	79,43
<b>10-15 cm</b>	7,22	25,60	10,83	38,39
<b>15-20 cm</b>	2,71	9,73	4,51	16,22

**Tabella 5.28.** Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 7

<b>Strato</b>	<b>Sperimentale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Sperimentale corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale corretto (Bq/kg)</b>
<b>0-5 cm</b>	86,27	279,17	78,90	255,34
<b>5-10 cm</b>	12,17	42,83	34,01	119,74
<b>10-15 cm</b>	8,85	31,37	16,32	57,88
<b>15-20 cm</b>	3,32	11,93	6,80	24,45

**Tabella 5.29.** Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 8

<b>Strato</b>	<b>Sperimentale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Sperimentale corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale non corretto (Bq/kg)</b>	<b>Esponenziale corretto (Bq/kg)</b>
<b>0-5 cm</b>	94,88	414,26	86,70	378,54
<b>5-10 cm</b>	13,38	47,11	37,37	131,57
<b>10-15 cm</b>	9,73	34,50	17,94	63,60
<b>15-20 cm</b>	3,65	13,12	7,47	26,87

### 5.3.2 Configurazione con collimatori

Le misure di spettrometria gamma *in situ* senza collimatori hanno permesso la realizzazione di misure su larga scala e sono state particolarmente utili per la realizzazione delle misure sui punti della griglia definita allo scopo di escludere la presenza di Th-232 di origine antropica al di fuori dei bersagli già individuati come contaminati.

L'utilizzo dei collimatori, costituiti da schermi di piombo, già descritti nel capitolo 4, paragrafo 4.2.3, permette, invece, di ottenere misure puntuali, relative ad un'area circoscritta.

Su tutti i bersagli è stato eseguito un numero variabile di misure, come indicato nel capitolo 4, paragrafo 4.6.1. I risultati di tutte le analisi, eseguite utilizzando il profilo sperimentale, sono riportate nelle tabelle 5.30-35: la tabella 5.30 è relativa ai bersagli 1,2,3 ed al "bianco"; le tabelle 5.31, 5.32, 5.33, 5.34 e 5.35 sono relative alle misure eseguite, rispettivamente, presso i bersagli 4, 5, 6, 7 e 8.

Alcuni punti sulla sommità dei bersagli contaminati presentano valori di concentrazione superficiale particolarmente elevati: fino a circa 25000 Bq/m<sup>2</sup>. I risultati delle misure effettuate sui transetti in direzione della linea di tiro, confermano l'ipotesi che i missili MILAN sparati nel corso delle esercitazioni siano andati ad impattare con buona precisione i bersagli posti sui rilievi e che materiale radioattivo non sia stato disperso in quantità significativa durante il volo.

L'effettuazione di queste misure ha quindi permesso la delimitazione delle aree contaminate da Th-232 dovuto alle attività di esercitazione con missili MILAN.

**Tabella 5.30.** Concentrazione superficiale di Th-232  
(Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale) bersagli 1,2,3 e "bianco"

<b>P.to</b>	<b>Xboaga</b>	<b>Yboaga</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	2346885	5100959	<1200,00	MDA
<b>1 bianco</b>	2346905	5100979	720,37	402,35
<b>2</b>	2347049	5100907	<1180,00	MDA
<b>3</b>	2347307	5100900	<888,00	MDA

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.31.** Concentrazione superficiale di Th-232  
(Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale) bersaglio 4

<b>P.to</b>	<b>Xboaga</b>	<b>Yboaga</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	2345697,00	5100514,00	<1350,00	MDA
<b>2</b>	2345697,00	5100518,00	<1170,27	MDA
<b>3</b>	2345699,00	5100514,00	<1161,69	MDA

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.32.** Concentrazione superficiale di Th-232  
(Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale) bersaglio 5

<b>P.to</b>	<b>Xboaga</b>	<b>Yboaga</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
1	2345493,74	5100530,75	11599,11	1525,23
2	2345494,74	5100530,75	13333,35	1756,26
3	2345495,74	5100530,75	11703,32	1500,10
4	2345495,74	5100532,75	7062,35	1237,13
5	2345495,74	5100534,75	2961,10	782,62
6	2345494,74	5100534,75	5882,39	1068,02
7	2345493,74	5100534,75	9581,32	1349,86
8	2345493,74	5100532,75	7380,91	1207,03
9	2345494,74	5100532,75	6531,35	1129,38
10	2345494,74	5100523,75	<1870,00	MDA
11	2345494,74	5100538,75	4691,16	986,32
A	2345488,98	5100528,41	3500,63	1063,44
B	2345488,36	5100528,10	1560,00	633,57
C	2345487,10	5100527,48	<1399,03	MDA
D	2345484,77	5100526,33	<1560,00	MDA
E	2345475,79	5100521,92	<1800,00	MDA
F	2345502,57	5100512,80	<1650,00	MDA
G	2345484,91	5100548,70	<1790,00	MDA
H	2345486,32	5100551,52	9675,14	1350,03

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.33.** Concentrazione superficiale di Th-232  
(Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale) bersaglio 6

<b>P.to</b>	<b>Xboaga</b>	<b>Yboaga</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
1	2345061,00	5100264,00	23690,05	2425,39
2	2345063,00	5100264,00	4956,10	1026,14
3	2345063,00	5100266,00	5175,90	1046,98
4	2345061,00	5100266,00	5977,65	1064,23
43	2345062,00	5100266,00	24650,74	2456,77
5	2345062,00	5100265,00	7871,55	1295,00
6	2345058,17	5100262,17	10633,00	1473,89
7	2345055,34	5100259,34	21791,38	2273,74
8	2345052,51	5100256,51	<1840,00	MDA
9	2345053,93	5100257,93	1794,87	659,92
10	2345049,68	5100253,68	<1820,00	MDA
11	2345044,03	5100248,03	<1460,00	MDA
12	2345041,20	5100245,20	<1800,00	MDA
13	2345047,86	5100280,14	<1940,00	MDA
14	2345076,14	5100280,14	<1760,00	MDA
15	2345077,14	5100250,86	<1560,00	MDA

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.34.** Concentrazione superficiale di Th-232  
(Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale) bersaglio 7

<b>P.to</b>	<b>Xboaga</b>	<b>Yboaga</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
1	2345206,00	5100366,00	12673,04	1272,16
2	2345206,00	5100368,00	11799,07	1206,86
3	2345210,00	5100368,00	8812,40	976,92
4	2345210,00	5100364,00	8047,76	926,30
5	2345206,00	5100364,00	8338,19	967,79
6	2345208,00	5100366,00	12383,71	1251,74
7	2345208,00	5100374,50	<1150,00	MDA
8	2345208,00	5100381,00	<1230,00	MDA
A	2345177,41	5100350,15	<743,00	MDA
B	2345190,40	5100357,65	<1080,00	MDA
C	2345201,40	5100364,00	7124,01	884,19
D	2345196,90	5100361,40	2823,93	565,84
E	2345200,14	5100363,28	5241,67	774,29
F	2345198,50	5100362,33	3879,83	686,10
G	2345194,08	5100359,78	2378,89	505,66
H	2345216,50	5100366,00	1060,90	408,40

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

**Tabella 5.35.** Concentrazione superficiale di Th-232  
(Bq/m<sup>2</sup>, profilo sperimentale) bersaglio 8

<b>P.to</b>	<b>Xboaga</b>	<b>Yboaga</b>	<b>Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Errore (Bq/m<sup>2</sup>)</b>
1	2345435,75	5100368,75	18455,84	2051,40
2	2345435,75	5100371,25	13140,15	1624,28
3	2345438,25	5100371,25	1956,57	692,78
4	2345438,25	5100368,75	9414,72	1396,93
5	2345437,00	5100370,00	19888,26	2133,55
6	2345437,00	5100368,75	10605,72	1401,49
7	2345435,75	5100370,00	17351,03	1966,86
8	2345437,00	5100371,25	9681,62	1405,93
9	2345438,25	5100370,00	13593,63	1635,68
A	2345429,41	5100365,23	5023,20	980,62
B	2345427,01	5100363,90	3471,42	796,69
C	2345422,63	5100361,47	<1430,00	MDA
D	2345418,26	5100359,04	<1580,00	MDA
E	2345409,52	5100354,19	<1840,00	MDA
F	2345435,75	5100398,75	<1720,00	MDA
G	2345435,75	5100338,75	<1670,00	MDA
HS1	2345428,73	5100363,32	7332,18	901,56
HS2	2345428,73	5100375,32	10573,60	1148,78

MDA= Minimum Detectable Activity (soglia di rilevabilità dello strumento)

Sulla base delle misure effettuate sulla sommità dei rilievi, è stato possibile calcolare una media delle concentrazioni superficiali rilevate che può essere confrontata con la concentrazione superficiale derivata dalla misura di spettrometria gamma *in situ*, effettuata su ogni rilievo, nella configurazione senza collimatori.

Vengono di seguito riportati i risultati ottenuti dalle misure di spettrometria gamma *in situ*, effettuate sulle sommità dei bersagli, utilizzando, per ciascuna configurazione, due diversi diametri per il piano di riferimento: 5 e 10 m per le misure senza collimatori e 1,12 e 1,50 m per le misure con collimatori.

Come già detto in precedenza, nel caso di piani di riferimento più grandi, la concentrazione superficiale risulta minore rispetto a quella calcolata per superfici minori. I risultati, riportati in tabella 5.36, sono comunque dello stesso ordine di grandezza.

**Tabella 5.36.** Concentrazione superficiale di Th-232, profilo sperimentale (Bq/m<sup>2</sup>, configurazione senza collimatori:  $\phi = 5, 10$  m, con collimatori:  $\phi = 1.12, 1.5$  m)

P.to	Senza collimatori		Con collimatori	
	$\phi = 5m$ Bq/m <sup>2</sup>	$\phi = 10m$ Bq/m <sup>2</sup>	$\phi = 1.12m$ Bq/m <sup>2</sup>	$\phi = 1.50m$ Bq/m <sup>2</sup>
<b>5</b>	6945 ± 690	5153 ± 513	8488 ± 3337	6910 ± 2748
<b>6</b>	9704 ± 863	7321 ± 651	11851 ± 8640	9710 ± 7601
<b>7</b>	11953 ± 1019	8852 ± 756	10343 ± 2161	8486 ± 1774
<b>8</b>	10243 ± 740	9736 ± 818	12676 ± 5558	10384 ± 4559

Gli spettri ottenuti dalle misure effettuate sulle sommità dei bersagli, sono stati analizzati anche allo scopo di ottenere stime della concentrazione del Th-232 (Bq/kg) per ogni punto di misura e per ogni strato di suolo. Per fare ciò è stato calcolato il valore medio della concentrazione per ogni punto, utilizzando il profilo sperimentale, e la concentrazione così ottenuta è stata redistribuita su ciascuno strato, secondo il profilo utilizzato, ed infine corretta per contenuto in acqua e scheletro con i dati ricavati dalle misure di laboratorio, ottenendo quindi le concentrazioni di Th-232 nella massa fine (peso secco) per ogni punto e per ogni strato nei 4 bersagli indagati.

I risultati così ottenuti sono riportati nelle tabelle 5.37, 5.38, 5.39 e 5.40, relative, rispettivamente, ai bersagli 5, 6, 7 e 8. Nelle stesse tabelle 5.41, 5.42, 5.43 e 5.44, sono anche riportate le concentrazioni medie di Th-232 calcolate sul peso fresco tal quale per ogni punto misurato. Tutti i risultati delle misure risultano in buon accordo con quelli ottenuti nell'ambito delle misure in laboratorio ed in campo, senza i collimatori.

**Tabella 5.37.** Concentrazione di Th-232 nella massa fine,  
per strato e per punto per il bersaglio 5

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>									
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>	<b>Punto7</b>	<b>Punto8</b>	<b>Punto9</b>
<b>0-5cm</b>	298,30	342,90	300,98	176,74	76,15	151,28	246,41	189,82	167,97
<b>5-10cm</b>	56,12	64,52	56,63	33,25	14,33	14,33	28,46	46,36	35,71
<b>10-15cm</b>	41,10	47,25	41,47	24,35	10,49	10,49	20,85	33,95	26,16
<b>15-20cm</b>	15,83	18,20	15,97	9,38	4,04	4,04	8,03	13,08	10,07

**Tabella 5.38.** Concentrazione di Th-232 nella massa fine,  
per strato e per punto per il bersaglio 6

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>							
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto43</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>
<b>0-5cm</b>	681,73	142,61	148,94	172,01	709,33	226,51	305,97
<b>5-10cm</b>	114,64	23,98	25,04	28,92	119,28	38,09	51,45
<b>10-15cm</b>	83,96	17,56	18,34	21,18	87,36	27,89	37,68
<b>15-20cm</b>	32,34	6,76	7,06	8,16	33,65	10,74	14,51

**Tabella 5.39.** Concentrazione di Th-232 nella massa fine,  
per strato e per punto per il bersaglio 7

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>							
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>	<b>Punto7</b>
<b>0-5cm</b>	399,66	372,10	277,91	253,80	262,96	390,54	36,45
<b>5-10cm</b>	61,32	57,09	42,64	38,94	40,35	59,92	5,59
<b>10-15cm</b>	44,91	41,81	31,23	28,52	29,55	43,88	4,10
<b>15-20cm</b>	17,30	16,11	12,03	10,98	11,38	16,90	1,58

**Tabella 5.40.** Concentrazione di Th-232 nella massa fine,  
per strato e per punto per il bersaglio 8

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>									
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>	<b>Punto7</b>	<b>Punto8</b>	<b>Punto9</b>
<b>0-5cm</b>	785,29	559,11	83,25	400,59	846,24	451,27	738,28	411,95	578,40
<b>5-10cm</b>	89,30	63,58	9,47	45,55	96,23	51,32	83,96	46,85	65,77
<b>10-15cm</b>	65,40	46,57	6,93	33,36	70,48	37,58	61,49	34,31	48,17
<b>15-20cm</b>	25,19	17,94	2,67	12,85	27,15	14,48	23,68	13,22	18,55

**Tabella 5.41.** Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale,  
per strato e per punto, per il bersaglio 5

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>									
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>	<b>Punto7</b>	<b>Punto8</b>	<b>Punto9</b>
<b>0-5cm</b>	113,04	129,94	114,05	66,97	28,86	57,33	93,37	71,93	63,65
<b>5-10cm</b>	15,94	18,32	16,08	9,45	4,07	8,08	13,17	10,14	8,98
<b>10-15cm</b>	11,59	13,33	11,70	6,87	2,96	5,88	9,57	7,38	6,52
<b>15-20cm</b>	4,40	5,06	4,44	2,61	1,12	2,23	3,64	2,80	2,48

**Tabella 5.42.** Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 6

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>							
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto43</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>
<b>0-5cm</b>	230,88	48,30	50,44	58,25	240,23	76,71	103,62
<b>5-10cm</b>	32,56	6,81	7,11	8,22	33,88	10,82	14,61
<b>10-15cm</b>	23,68	4,95	5,17	5,97	24,64	7,87	10,63
<b>15-20cm</b>	9,00	1,88	1,97	2,27	9,36	2,99	4,04

**Tabella 5.43.** Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 7

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>							
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>	<b>Punto7</b>
<b>0-5cm</b>	123,50	114,99	85,88	78,43	81,26	120,68	123,50
<b>5-10cm</b>	17,42	16,22	12,11	11,06	11,46	17,02	17,42
<b>10-15cm</b>	12,67	11,79	8,81	8,04	8,33	12,38	12,67
<b>15-20cm</b>	4,81	4,48	3,35	3,06	3,16	4,70	4,81

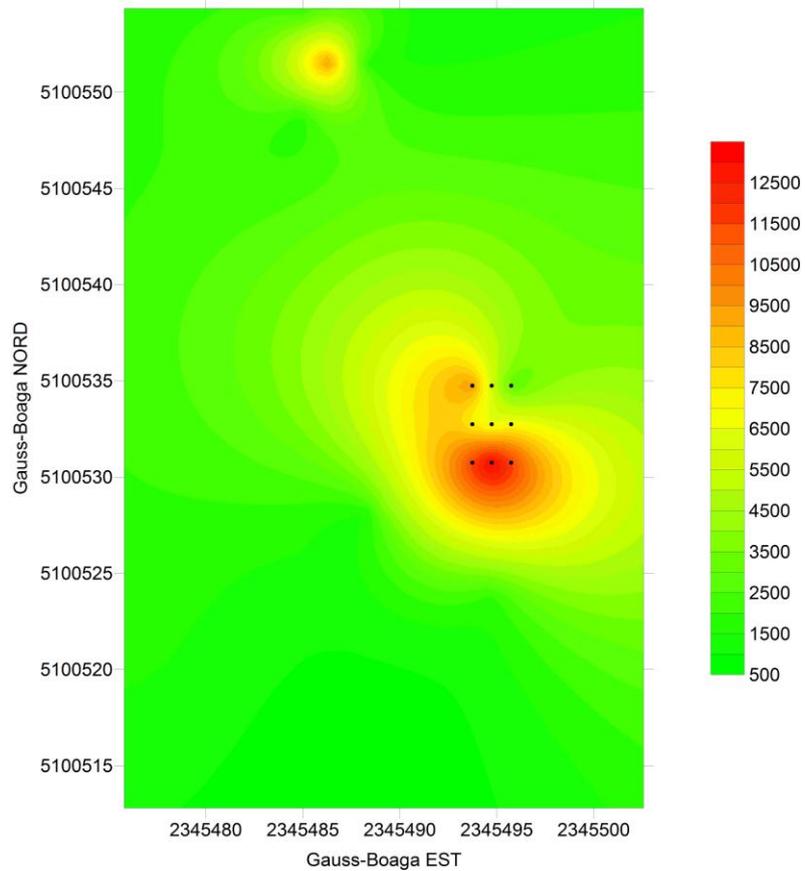
**Tabella 5.44.** Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 8

<b>Concentrazione di Th-232 (Bq/kg)</b>									
	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>	<b>Punto6</b>	<b>Punto7</b>	<b>Punto8</b>	<b>Punto9</b>
<b>0-5cm</b>	179,86	128,06	19,07	91,75	193,82	103,36	169,09	94,35	132,47
<b>5-10cm</b>	25,36	18,06	2,69	12,94	27,33	14,58	23,84	13,31	18,69
<b>10-15cm</b>	18,45	13,13	1,96	9,41	19,88	10,60	17,34	9,68	13,59
<b>15-20cm</b>	7,01	4,99	0,74	3,57	7,55	4,03	6,59	3,68	5,16

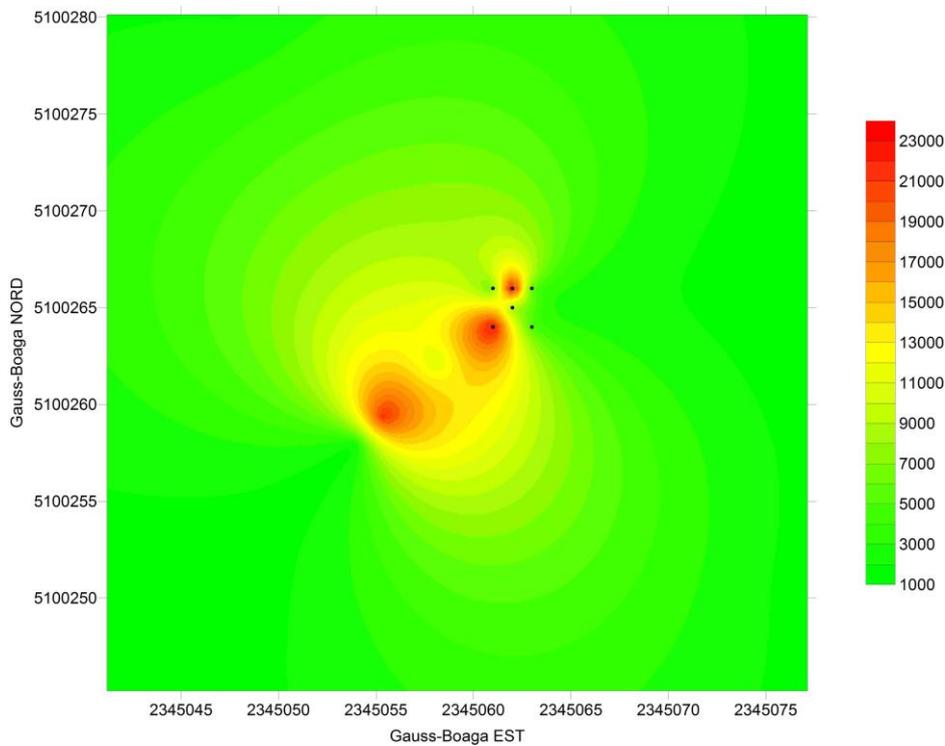
Nell'ambito delle misure per la caratterizzazione dei bersagli, i cui risultati sono stati riportati in questo paragrafo, sono state eseguite anche misure di livello di radiazione e sono così stati individuati 4 cosiddetti hotspot: uno presso il punto 7 del bersaglio 6, che ha dato luogo al ritrovamento di un diffusore di Missile MILAN, già descritto nel paragrafo 5.2.5, uno presso il punto H del bersaglio 5 e due nei punti HS1 e HS2 del bersaglio 8, dove non si è indagato ulteriormente.

### 5.3.3 Distribuzione della concentrazione superficiale di Th-232

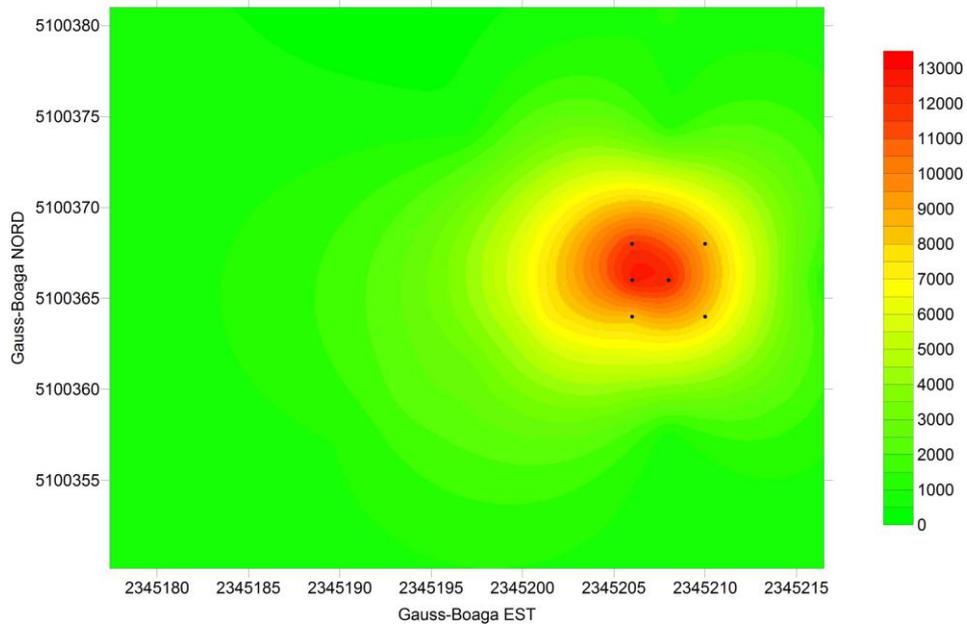
Sulla base dei risultati delle misure di spettrometria gamma *in situ*, effettuate sia sui bersagli, che lontano da essi, sono state elaborate, mediante il software Surfer 8.04, con il metodo del kriging, mappe della distribuzione della concentrazione superficiale del Th-232 nei primi 20 cm di suolo. Nelle figure 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16, sono riportate quelle relative, rispettivamente, ai bersagli 5, 6, 7 e 8.



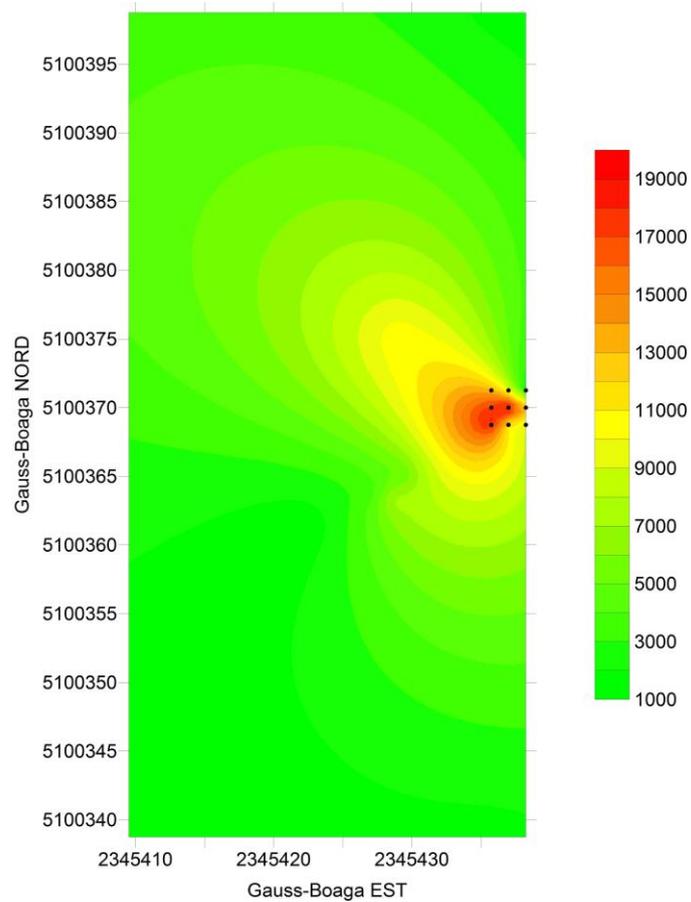
**Figura 5.13.** Distribuzione della concentrazione superficiale (Bq/m<sup>2</sup>) relativa al bersaglio 5



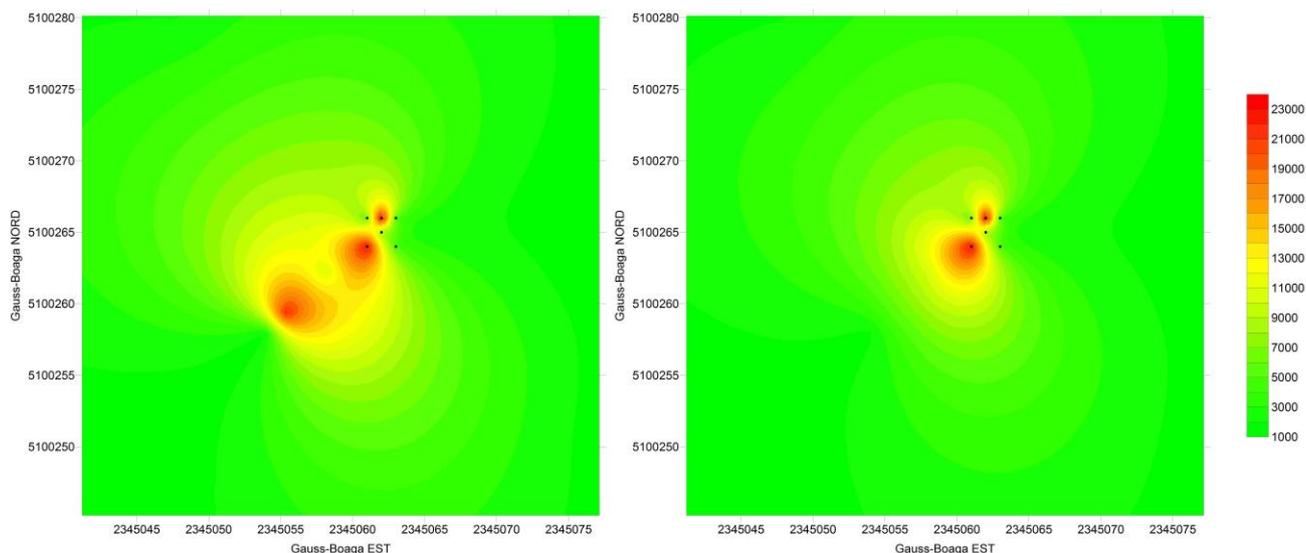
**Figura 5.14.** Distribuzione della concentrazione superficiale (Bq/m<sup>2</sup>) relativa al bersaglio 6



**Figura 5.15.** Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 7



**Figura 5.16.** Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 8



**Figura 5.17.** Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq/m}^2$ ) relativa al bersaglio 6, prima (a sinistra) e dopo (a destra), l'asportazione del diffusore

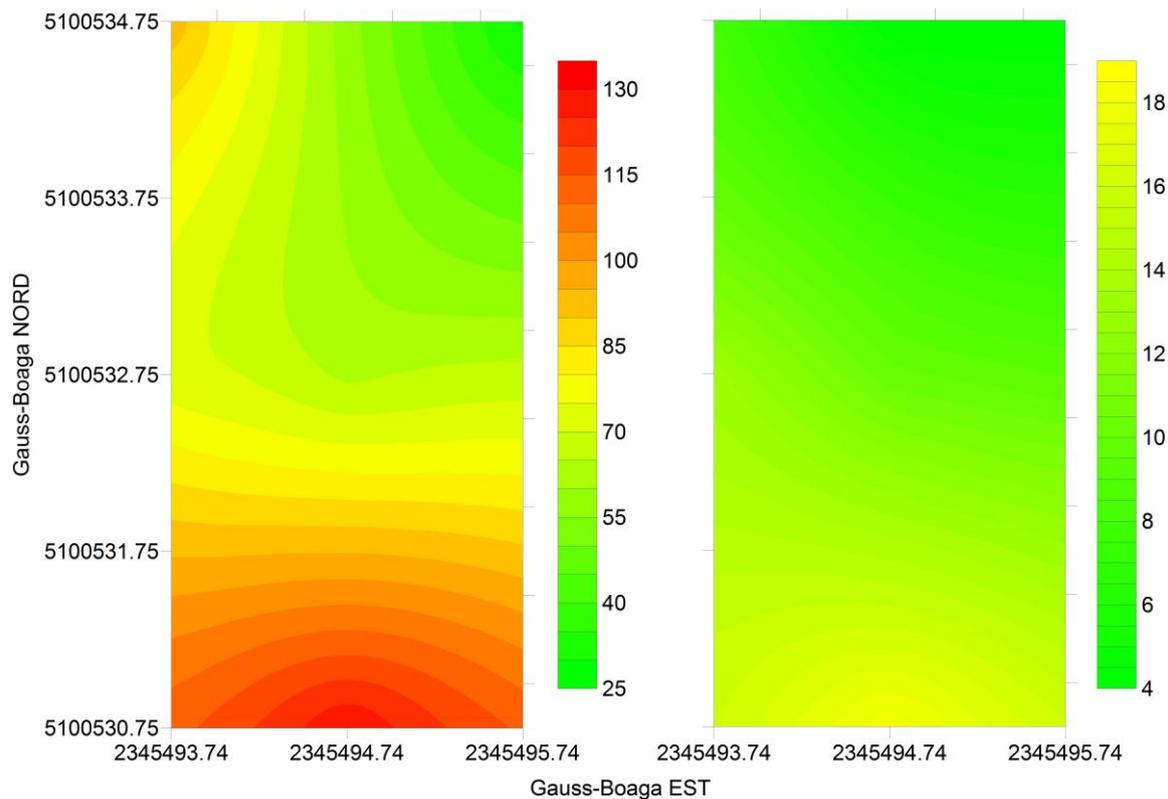
Nelle mappe di distribuzione della concentrazione superficiale misurata presso i bersagli 5 e 6 sono ben visibili gli hotspot precedentemente citati, posti ad una decina di metri dai rilievi.

In genere, è inoltre possibile riconoscere una direzione di massima contaminazione che risulta essere, approssimativamente, quella congiungente i bersagli con la linea di tiro.

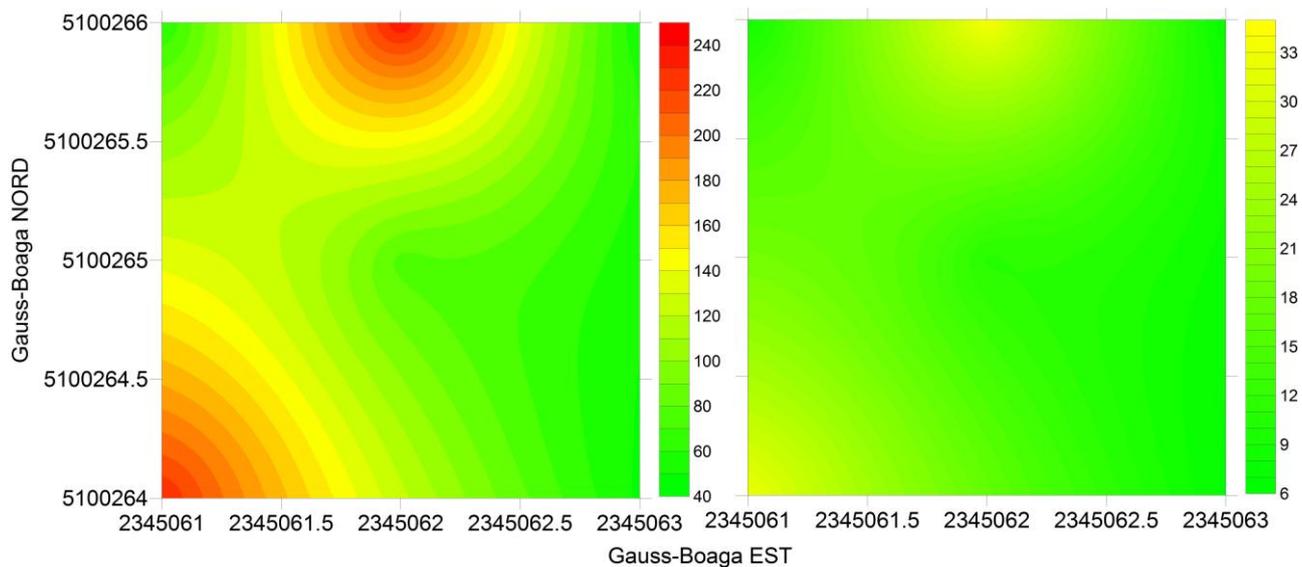
In figura 5.17, è riportato il confronto tra le mappe di distribuzione della concentrazione di Th-232 misurate presso il bersaglio 6 prima e dopo l'asportazione del diffusore.

Nelle figure 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21 sono riportate le concentrazioni di Th-232 calcolate dai risultati delle misure di spettrometria gamma *in situ*, rispettivamente per le sommità dei bersagli 5, 6, 7 e 8, per le profondità 0-5cm e, per confronto, 5-10 cm. Le concentrazioni si riferiscono al campione tal quale e sono espresse in Bq/kg di peso fresco.

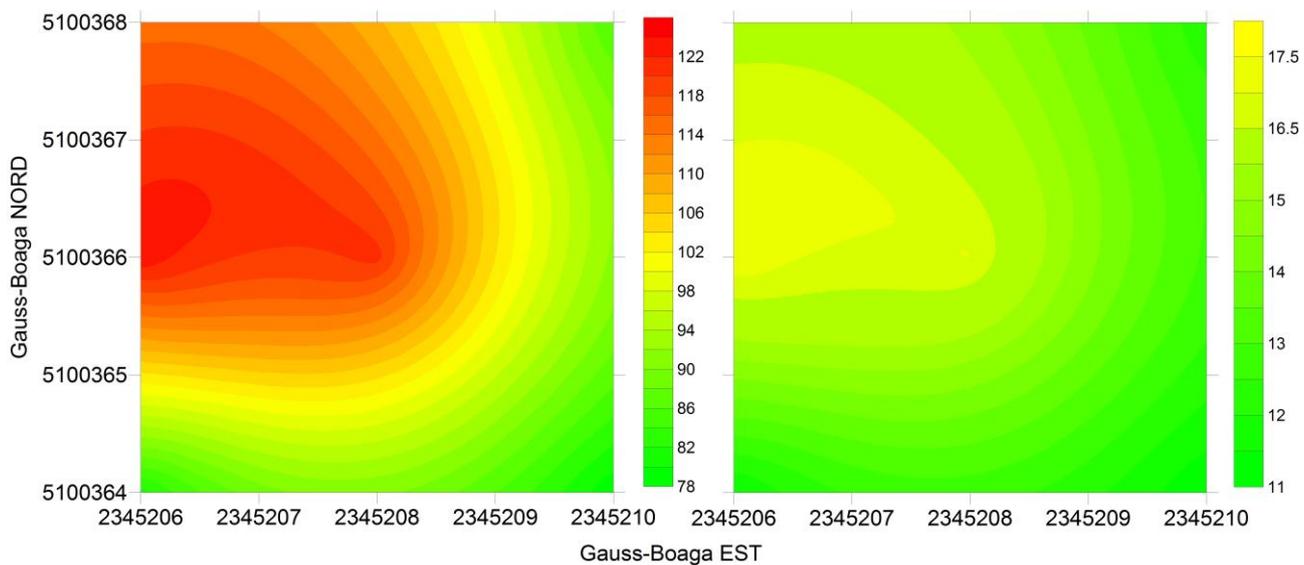
Dal confronto tra le due serie di mappe (figure 5.18-21), risulta evidente come, nello strato 5-10 cm, generalmente le concentrazioni di Th-232 risultino confrontabili con quelle del fondo naturale, misurate nel punto di bianco, che sono dell'ordine di qualche Bq/kg di peso fresco (vedi tabella 5.4).



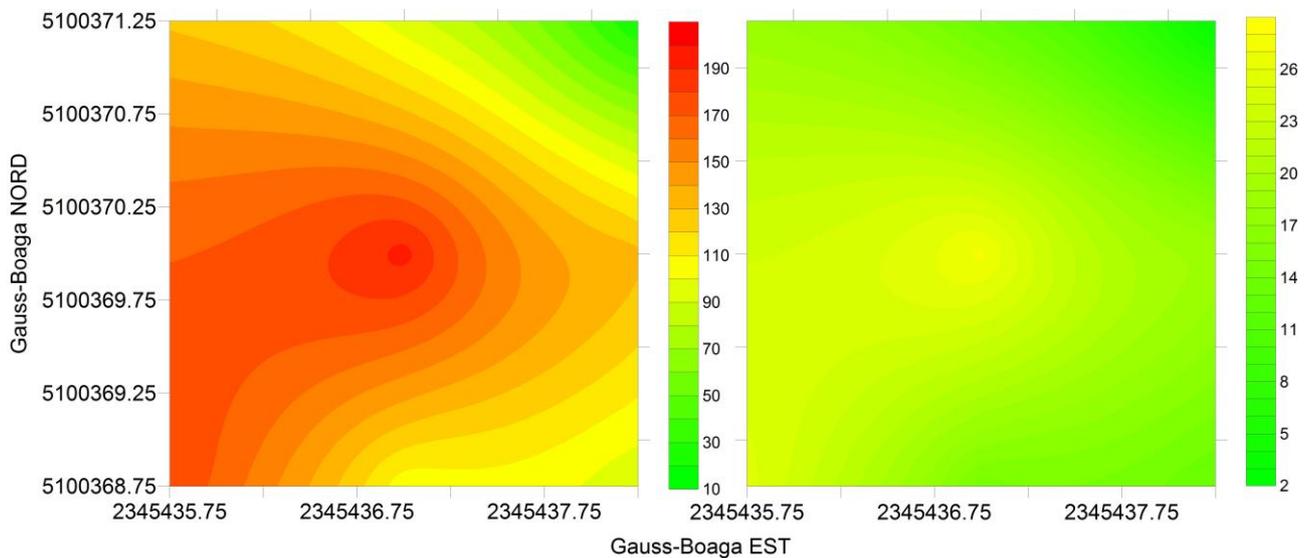
**Figura 5.18.** Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 5



**Figura 5.19.** Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 6



**Figura 5.20.** Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 7

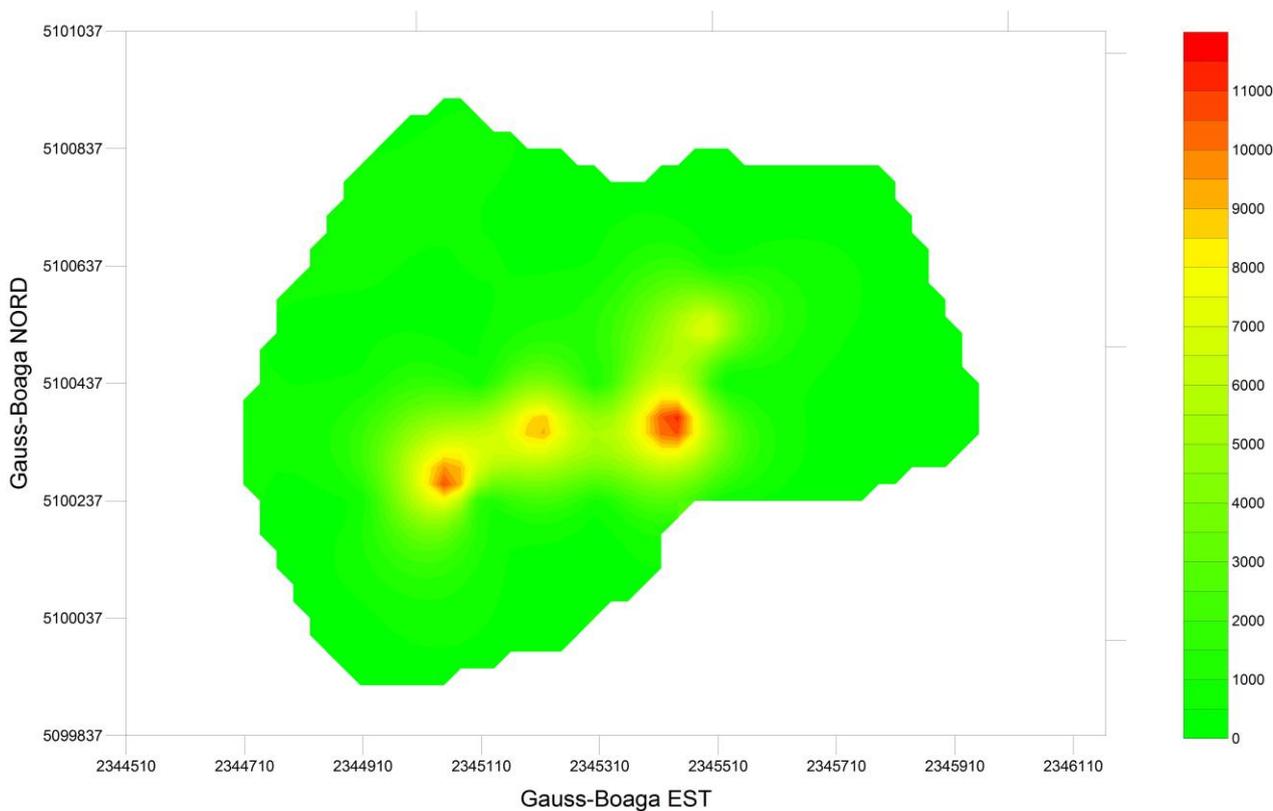


**Figura 5.21.** Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 8

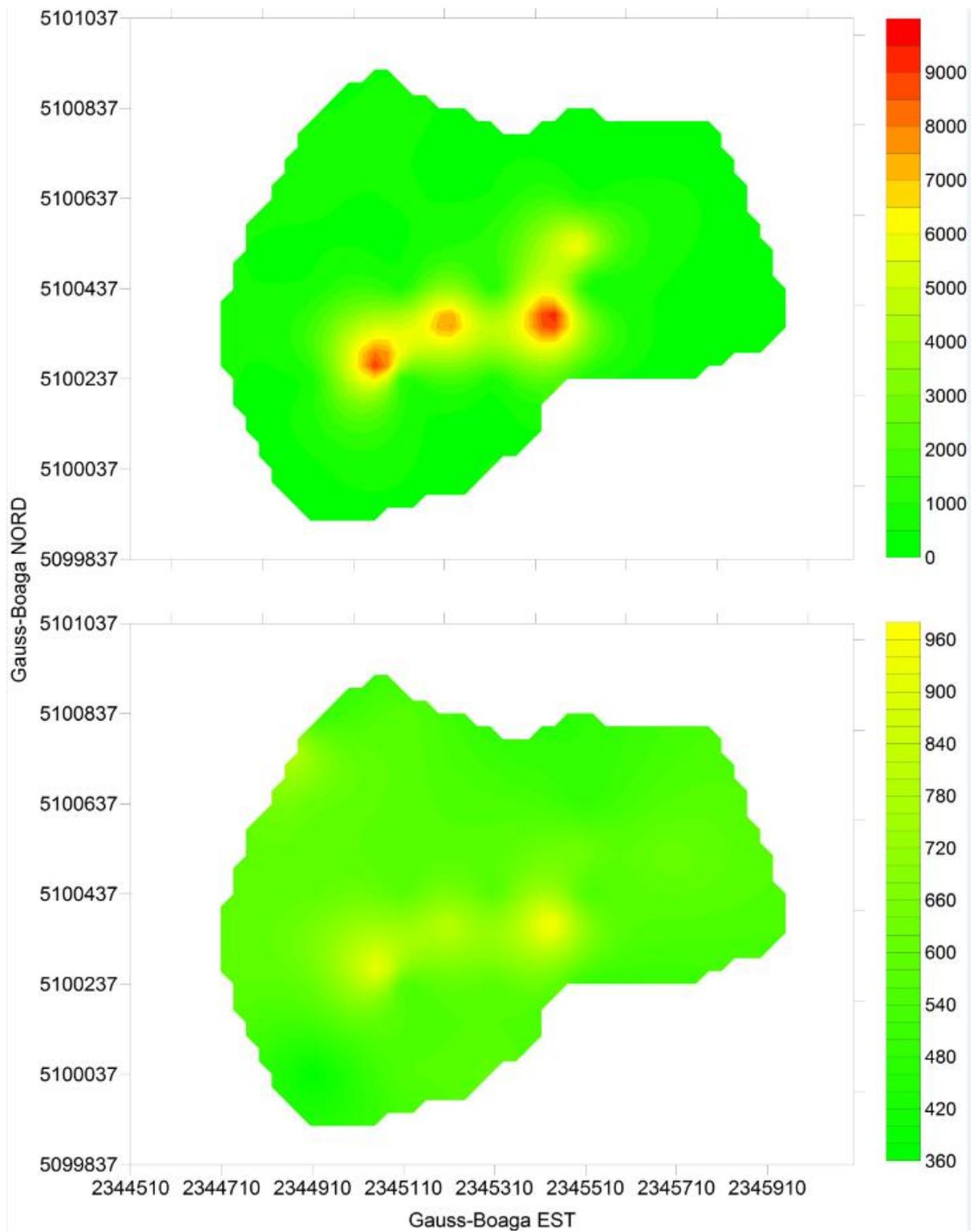
In figura 5.22 è riportata la mappa della distribuzione della concentrazione superficiale di Th-232, relativa ai primi 20 cm di suolo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), nell'intera area delimitata dalla concertina. La contaminazione risulta chiaramente limitata ai rilievi relativi ai bersagli 5, 6, 7 e 8 già citati ed alle loro immediate vicinanze.

In figura 5.23 sono riportate, per un opportuno confronto, le mappe della distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), relative, rispettivamente, allo strato di suolo 0-5 cm ed allo strato di suolo 5-10 cm, nell'intera area delimitata dalla concertina, analogamente a quanto fatto per la figura 5.22.

Mediamente, già nello strato di suolo 5-10 cm, pur in prossimità dei bersagli, le concentrazioni superficiali sono paragonabili a quelle del fondo naturale relativo al punto di "bianco", dell'ordine di qualche centinaio di  $\text{Bq}/\text{m}^2$ .



**Figura 5.22.** Distribuzione della concentrazione superficiale (0-20cm) di Th-232 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) dell'intera area delimitata dalla concertina

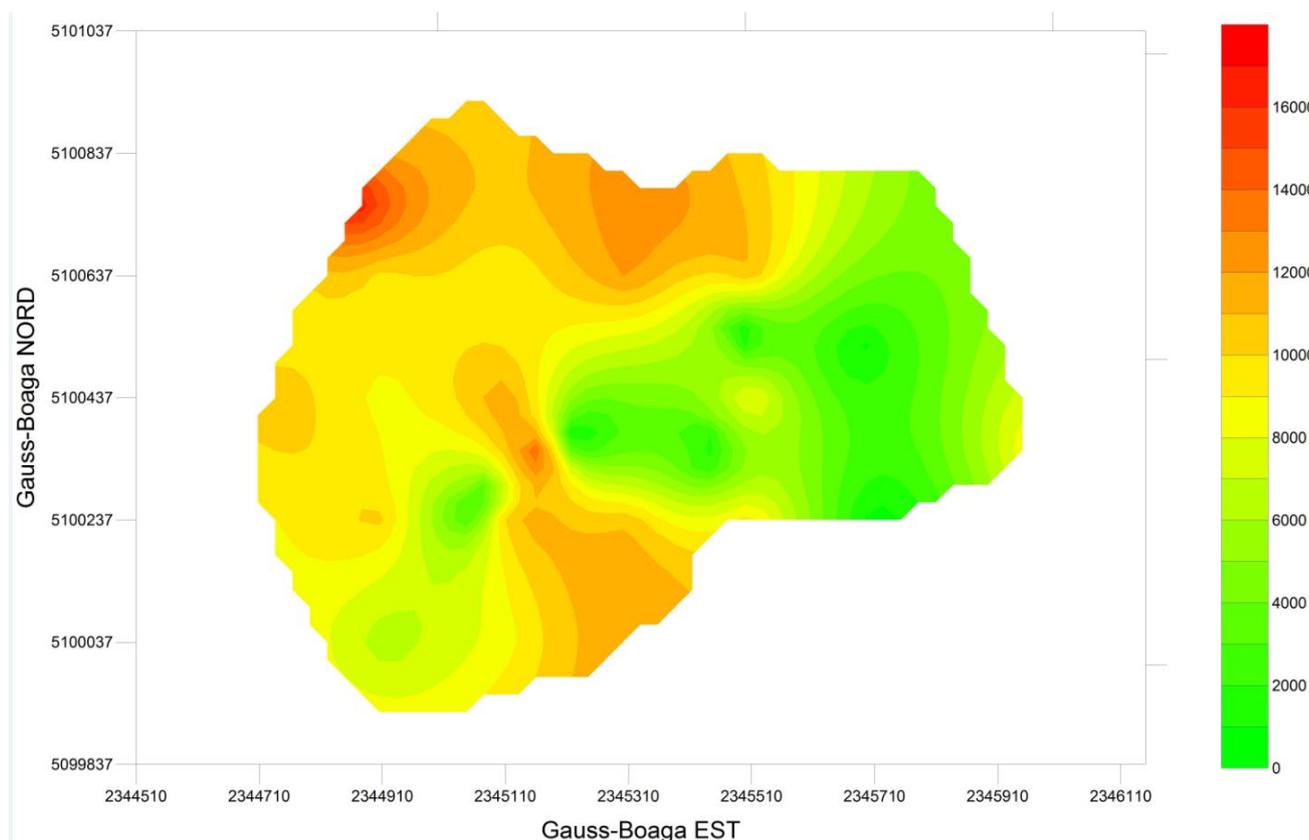


**Figura 5.23.** Distribuzione della concentrazione superficiale (strati 0-5 cm e 5-10 cm) di Th-232 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) dell'intera area delimitata dalla concertina

### 5.3.4 Distribuzione della concentrazione superficiale di Cs-137

Come indicato precedentemente, le misure di spettrometria gamma in campo forniscono anche i dati relativi alla concentrazione del Cs-137. In figura 5.24 è quindi riportata la mappa della distribuzione della concentrazione superficiale del Cs-137 nella stessa area, delimitata dalla concertina, riportata in figura 5.22. Come si può notare la mappa risulta molto diversa dalla precedente, come deve essere data la diversa natura della deposizione e migrazione del Cs-137, rispetto al Th-232, che dipende essenzialmente dalla deposizione avvenuta nel 1986 a seguito dell'incidente nucleare di Chernobyl.

Osservando la mappa, la zona relativa ai bersagli, risulta essere quella a minor concentrazione di Cs-137, paragonabile con quella rilevata sul greto del torrente Cellina. In assenza di informazioni relative all'età dei rilievi, si possono ipotizzare due scenari: nel primo i rilievi erano già presenti all'epoca dell'incidente di Chernobyl e la conformazione dei rilievi, a seguito delle precipitazioni, ha reso minima la deposizione sui rilievi stessi; nel secondo scenario i rilievi sono stati creati dopo l'incidente di Chernobyl, con materiale di riporto meno contaminato.



**Figura 5.24.** Distribuzione della concentrazione superficiale di Cs-137 (Bq/m<sup>2</sup>) dell'intera area delimitata dalla concertina

#### 5.4 Attività totale stimata

Sulla base dei risultati fino a qui presentati, è stato possibile effettuare una stima delle attività totali (esprese in Bq) di Th-232 presenti nelle aree relative a ciascun bersaglio contaminato. Poiché la stima vuole essere cautelativa, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle misure effettuate in laboratorio sui campioni prelevati in campo nei punti di maggior contaminazione di ogni bersaglio.

Il calcolo della superficie è stato effettuato, come indicato nel capitolo 4, paragrafo 4.8, approssimando ogni rilievo ad un tronco di cono. Si suppone inoltre, cautelativamente, che la concentrazione misurata nei campioni prelevati (50x50x5 cm<sup>3</sup>), sia costante su tutta la superficie dei rilievi, che era già stata calcolata in precedenza.

Facendo riferimento al profilo di attività utilizzato, è possibile stimare la concentrazione superficiale fino alla profondità di 20 cm. Ipotizzando per tutti i rilievi una distribuzione in profondità uguale a quella del profilo citato, per il quale circa l'83% della concentrazione di Th-232 nei primi 20 cm, sia nei primi 5 cm, è possibile stimare la concentrazione superficiale dei primi 20 cm per tutti i bersagli.

In tabella 5.45 sono riportate le concentrazioni superficiali (Bq/m<sup>2</sup>), rispettivamente, nei primi 5 cm e nei primi 20 cm, per ogni bersaglio.

**Tabella 5.45.** Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m<sup>2</sup>) per gli strati 0-5 cm e 0-20 cm per ogni bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Concentrazione superficiale Bq/m<sup>2</sup></b>	
	<b>Strato 0-5 cm</b>	<b>Strato 0-20 cm</b>
<b>5</b>	5644	6804
<b>6</b>	7700	9284
<b>7</b>	13536	16320
<b>8</b>	12844	15484

**Tabella 5.46.** Superficie totale (m<sup>2</sup>), attività (per gli strati 0-5 cm e 0-20 cm) di Th-232 per ogni bersaglio (Bq) e per tutto il sito

<b>Bersaglio</b>	<b>Superficie rilievo m<sup>2</sup></b>	<b>Attività Strato 0-5 cm Bq</b>	<b>Attività Strato 0-20 cm Bq</b>
<b>5</b>	1550	8,75E+06	1,05E+07
<b>6</b>	656	5,05E+06	6,09E+06
<b>7</b>	839	1,14E+07	1,37E+07
<b>8</b>	960	1,23E+07	1,49E+07
<b>somma</b>	4005	3,75E+07	4,52E+07

In tabella 5.46 sono riportate le attività totali, per ogni bersaglio e la somma su tutti i bersagli, calcolate sulla base delle concentrazioni riportate in tabella 5.45 e delle superfici già calcolate e riportate anch'esse in tabella 5.46.

La somma delle attività dei rilievi fornisce una stima dell'attività totale che può essere confrontata con l'attività che teoricamente dovrebbe essere presente sul sito, calcolata sulla base del numero di missili MILAN che il comando della Brigata "ARIETE" ha dichiarato che sono stati utilizzati presso il poligono Cellina-Meduna.

La somma delle attività misurate, seppure calcolate cautelativamente, risulta pari a 37,5 MBq nel caso si considerino soltanto i primi 5 cm, e pari a 45,2 MBq nel caso in cui si consideri lo strato 0-20 cm. Considerato che il numero di missili dichiarati è 308, che ciascun missile conteneva 3,12 g di Th-232 e che l'attività specifica di 1 g di Th-232 è 4070 Bq (ANL, 2001), il valore complessivo di Th-232 che dovrebbe essere stato disperso sul sito risulta pari a 3,91 MBq (in termini di Th-232 puro e non all'equilibrio secolare come fino qui considerato).

La differenza tra la quantità stimata sulla base delle misure effettuate in laboratorio sui campioni, prelevati nei punti di massima concentrazione di Th-232 di ogni bersaglio, e quella calcolata sulla base delle dichiarazioni fornite dalla Brigata "ARIETE" è compatibile con le molte assunzioni cautelative che sono state fatte nel primo caso, ossia che la concentrazione sia uguale a quella massima su tutta la superficie del bersaglio e che la superficie contaminata sia così ampia.

Per confronto possono essere considerate indicative le attività che si ottengono ipotizzando, per ogni bersaglio, una concentrazione nei primi 5 cm pari a quella misurata, e nei primi 20 cm pari a quella stimata, costanti sulla sola sommità del rilievo e nulle sul resto della superficie del rilievo stesso. Il risultato è quello riportato in tabella 5.47 che porta ad un valore di attività totale, sui 4 bersagli, pari a 2,91 MBq, considerando il solo strato 0-5 cm e pari a 3,51 MBq, considerando lo strato 0-20 cm.

**Tabella 5.47.** Superficie sommità (m<sup>2</sup>), attività di Th-232 relativa agli strati strati 0-5 cm e 0-20 cm sulla sommità di ogni bersaglio (Bq)

<b>Bersaglio</b>	<b>Superficie sommità rilievo m<sup>2</sup></b>	<b>Attività Strato 0-5 cm Bq</b>	<b>Attività Strato 0-20 cm Bq</b>
<b>5</b>	85	4,80E+05	5,78E+05
<b>6</b>	54	4,16E+05	5,01E+05
<b>7</b>	56	7,58E+05	9,14E+05
<b>8</b>	98	1,26E+06	1,52E+06
<b>somma</b>	293	2,91E+06	3,51E+06

**Tabella 5.48.** Superficie totale (m<sup>2</sup>), attività di Th-232 relativa allo strato 0-5 cm (Bq), basata sulle misure di concentrazione superficiale misurate *in situ* per ogni bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Superficie rilievo m<sup>2</sup></b>	<b>Attività Strato 0-20 cm Bq</b>
<b>5</b>	1550	7,99E+06
<b>6</b>	656	4,80E+06
<b>7</b>	839	7,43E+06
<b>8</b>	960	9,35E+06
<b>somma</b>	4005	2,96E+07

Effettuando le stesse valutazioni, utilizzando i valori medi di concentrazione superficiale, per ogni bersaglio, derivanti dalle misure di spettrometria gamma *in situ*, si ottengono le attività, per ogni bersaglio, riportate in tabella 5.48, ed un valore di attività totale pari a 29,6 MBq.

### 5.5 Uranio depleto nei suoli

Di seguito vengono riassunti i risultati delle misure relative alla determinazione dell'eventuale presenza di uranio depleto effettuate dal laboratorio della struttura semplice Radiazioni Ionizzanti del Dipartimento Tematico Radiazioni di ARPA Piemonte, su tre aliquote di massa fine relative ai bersagli 6, 7 e 8. I risultati completi sono riportati nell'Allegato B.

Per valutare l'eventuale presenza di uranio depleto è necessario valutare le concentrazioni dei diversi isotopi dell'uranio ed, in particolare, deve essere stimato il rapporto tra la concentrazione dell'U-234 e quella dell'U-238.

In tabella 5.49, sono riportate le concentrazioni di U-234, U-235 ed U-238 ed il rapporto tra le concentrazioni di U-234 ed U-238.

**Tabella 5.49.** Concentrazione di U-234, U-235 ed U-238 (Bq/kg) e rapporto tra le concentrazioni di U-234 e U-238 per i bersagli 6, 7 e 8

<b>Campione</b>	<b>U-234 Bq/kg</b>	<b>U-235 Bq/kg</b>	<b>U-238 Bq/kg</b>	<b>U-234/U-238</b>
<b>Bersaglio 6</b>	53±4	3±1	51±4	1,037±0,102
<b>Bersaglio 7</b>	43±8	3±2	44±8	0,973±0,243
<b>Bersaglio 8</b>	46±6	6±2	52±7	0,894±0,167

Le concentrazioni dei radioisotopi dell'uranio sono pari a quelle del fondo naturale ed i rapporti riportati in tabella non si discostano in modo significativo dal valore 1 tipico dell'uranio naturale: questi dati escludono, quindi, la presenza di Uranio depleto.

## 5.6 Misure di torio, $\alpha$ totale e $\beta$ totale nelle acque di falda

Di seguito vengono riassunti i risultati delle misure effettuate dal laboratorio di Radiochimica del Centro di Radioprotezione di ARPA Lombardia, su 4 campioni di acqua di falda, prelevati da personale del Dipartimento di Pordenone di ARPA FVG, a monte ed a valle del poligono Cellina-Meduna. I risultati completi sono riportati nell'Allegato C.

I valori delle concentrazioni di  $\alpha$  totale e  $\beta$  totale, riportati in tabella 5.50, risultano pari a quelle del fondo naturale.

In tabella 5.51 sono riportati i valori delle concentrazioni degli isotopi del torio: Th-228, Th-230 e Th-232 negli stessi campioni di acqua di falda.

**Tabella 5.50.** Concentrazione  $\alpha$  totale e  $\beta$  totale nei campioni di acqua di falda prelevati a monte ed a valle del poligono Cellina-Meduna

<i>Campione</i>	<i>Comune</i>	<i>Data di Campionamento</i>	<i>Posizione rispetto al poligono</i>	<i><math>\alpha</math> totale (Bq/kg)</i>	<i><math>\beta</math> totale (Bq/kg)</i>
PL22051401	Cordenons	22/05/2014	Valle	0,024	< 0,056
PL22051402	Cordenons	22/05/2014	Valle	< 0,014	< 0,049
VP27051401	Montereale Valcellina	27/05/2014	Monte	0,032	< 0,049
VP27051402	Vivaro	27/05/2014	Monte	0,024	< 0,049

**Tabella 5.51.** Concentrazione di Th-228, Th-230 e Th-232 nei campioni di acqua di falda prelevati a monte ed a valle del poligono Cellina-Meduna

<i>Campione</i>	<i>Posizione rispetto al poligono</i>	<i>Data di Campionamento</i>	<i>Th-228 (Bq/kg)</i>	<i>Th-230 (Bq/kg)</i>	<i>Th-232 (Bq/kg)</i>
PL22051401	Valle	22/05/2014	<0,00018	<0,00022	<0,000083
PL22051402	Valle	22/05/2014	<0,00025	<0,00032	<0,00015
VP27051401	Monte	27/05/2014	<0,00015	<0,00022	<0,00011
VP27051402	Monte	27/05/2014	<0,00012	<0,00021	<0,000082

Le misure sono state effettuate, come già indicato, presso il laboratorio di radiochimica di ARPA Lombardia che utilizza le metodologie più sensibili oggi possibili: i risultati sono tutti al di sotto del limite di rilevabilità strumentale che, per il Th-232, è tre ordini di grandezza al di sotto del limite derivato (ISSN 1123-3117 Rapporti ISTISAN 00/16).

### 5.7 Misure di $\alpha$ totale e $\beta$ totale nelle acque potabili

Di seguito vengono riassunti i risultati delle misure effettuate dal laboratorio di Radiochimica del Centro di Radioprotezione di ARPA Lombardia, su 8 campioni di acqua potabile, prelevati da personale dell'allora A.S.S. n.6 "Pordenonese" nel territorio dei comuni potenzialmente interessati dall'eventuale contaminazione derivante dall'utilizzo di missili MILAN presso il poligono Cellina-Meduna. I risultati completi sono riportati nell'Allegato D.

In tabella 5.52, sono riportate le concentrazioni  $\alpha$  totale e  $\beta$  totale, misurate sui campioni di acqua potabile prelevati nei comuni di S. Giorgio della Richinvelda, Montereale Valcellina, Cordenons, S. Martino al Tagliamento, Azzano X, Fiume Veneto e Zoppola (2 località).

**Tabella 5.52.** Concentrazione  $\alpha$  totale e  $\beta$  totale in campioni di acqua potabile

<b>Campione</b>	<b>Comune</b>	<b>Data di campionamento</b>	<b><math>\alpha</math> totale (Bq/kg)</b>	<b><math>\beta</math> totale (Bq/kg)</b>
112	San Martino al Tagliamento	02/04/2014	0,018	< 0,052
114	Azzano Decimo	02/04/2014	0,023	< 0,052
116	Fiume Veneto	02/04/2014	0,036	< 0,052
117	Zoppola	02/04/2014	0,036	< 0,052
118	Zoppola	02/04/2014	0,052	< 0,052
19/14	San Giorgio della Richinvelda	02/04/2014	0,031	< 0,052
20/14	Montereale Valcellina	03/04/2014	0,031	< 0,052
21/14	Cordenons	03/04/2014	0,028	< 0,052

I valori di concentrazione dei radionuclidi naturali nelle acque potabili misurate sono risultati pari a quelli del fondo naturale e possono essere confrontati con i "Limiti derivati per il rispetto del valore limite per la DTI (dose totale indicativa) contenuti nel Decreto Legislativo 31/2001, in attuazione della Direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano e pari a:  $\alpha$  totale: 0,5 Bq/l;  $\beta$  totale: 1 Bq/l.

## 6. Considerazioni di radioprotezione

### 6.1 Premessa

Nel paragrafo successivo verranno svolte alcune valutazioni di radioprotezione sulla base di possibili scenari di esposizione. Prima di ciò, tuttavia, è opportuno ricordare alcuni dei risultati ottenuti nel corso dello studio che forniscono importanti indicazioni sull'eventuale rischio a cui la popolazione potrebbe essere stata esposta a causa dell'utilizzo di missili MILAN contenenti Th-232 presso il Poligono Cellina-Meduna.

La prima considerazione è relativa all'eventuale esposizione per persone del pubblico che si siano trovate a sostare o passeggiare nei pressi della zona interessata dalle indagini. A questo proposito va ricordato, come riportato nel capitolo precedente al paragrafo 5.1, che in nessun caso misure di livello di radiazione hanno segnalato valori di esposizione diversi dal fondo, a meno che, come si vede in figura 6.1, l'operatore non abbia effettuato misure praticamente a contatto con il suolo. Ciò vale anche per le misure effettuate direttamente sui bersagli risultati contaminati.



**Figura 6.1.** Misura di livello di radiazione a contatto con il suolo

Una seconda considerazione è legata all'estensione spaziale delle aree contaminate: come già indicato più volte, sono risultati contaminati soltanto i bersagli 5, 6, 7 ed 8, per una superficie complessiva, valutata cautelativamente, pari a 0,4 ettari che risulta essere circa il 4% dell'area delimitata dalla concertina ed un decimillesimo di quella dell'intero poligono.

Un'ulteriore considerazione deriva dai risultati relativi all'eventuale contaminazione da Th-232 della falda acquifera e degli acquedotti: tale contaminazione è risultata del tutto assente. Anche le concentrazioni di Th-232 misurate su campioni di particolato atmosferico, prelevate presso due dei bersagli contaminati, sono risultate paragonabili a quelle del fondo ambientale.

Sulla base di questi elementi, e del fatto che la frequentazione delle aree del poligono sia comunque bassa e le abitazioni più vicine si trovino ad alcuni chilometri dai bersagli contaminati, a luglio 2014, nel corso di un incontro pubblico svoltosi a Cordenons, era già stato escluso che vi fosse rischio sanitario alcuno per la popolazione.

Tuttavia, anche sulla base di indicazioni contenute nel parere n.10 del 19/11/2012 del Ministero della Salute, Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare, relativo ad una richiesta della regione Sardegna per un problema analogo dal titolo "Parere sul rischio legato alla presenza di torio in matrici alimentari" (riportato in Allegato E), sono state effettuate misure su campioni alimentari prodotti nelle immediate vicinanze del poligono. Queste misure hanno escluso la presenza di Th-232, al di sopra dei valori del fondo naturale, anche in queste matrici.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per i vegetali, pur non eduli, raccolti presso i bersagli. L'unico caso in cui il valore di Th-232 è risultato significativo, è nel piccolo campione raccolto immediatamente sopra il frammento di missile trovato in prossimità del bersaglio 6. Si tratta comunque di un campione di vegetali non eduli con concentrazioni dello stesso ordine di grandezza di quelle misurate in campioni analoghi raccolti in altre zone della regione sicuramente non interessate da contaminazione da Th-232 di origine antropica.

L'ultima considerazione importante riguarda le stime di concentrazione di Th-232 nel suolo e delle superfici interessate dalla contaminazione: in tutti i casi le stime sono state effettuate in maniera molto cautelativa e, sulla base di queste stime, vengono comunque effettuate le valutazioni riportate nel paragrafo successivo, nel quale, tuttavia, vengono riportate anche alcune valutazioni effettuate sulla base di concentrazioni e superfici considerate in maniera più realistica.

ARPA Friuli Venezia Giulia ha, infine, inoltrato una richiesta all'Istituto Superiore di Sanità, relativa alla determinazione di valori di riferimento in acque e suoli per l'uranio e il torio (composti "non normati"), allo scopo di confrontare tali livelli di riferimento con i valori di concentrazione di Th-232 misurati nei suoli e nelle acque per la valutazione della dose alla popolazione ed ai lavoratori.

Le valutazioni che seguono sono state effettuate sulla base della risposta dell'Istituto Superiore di Sanità, riportata in allegato F, al quesito posto da ARPA FVG.

Il caso del poligono militare Cellina-Meduna rientra nei casi per i quali la contaminazione ambientale del sito può essere considerata come effetto di una pratica non più in atto. Tali situazioni sono normate dalla legislazione italiana secondo l'art.115-bis del D.lgs. 230/95, in cui si afferma che, non essendoci valori di riferimento o limiti prefissati da utilizzare in ogni situazione, bisogna valutare singolarmente ciascun caso, con la conseguente elaborazione di livelli di dose e livelli derivati di concentrazione di attività validi solo per la situazione considerata.

Per effettuare valutazioni sugli aspetti radiologici derivanti dalla contaminazione da uranio e torio è stata utilizzata la linea guida Radiation Protection 122 part II (RP 122 part II).

Il livello di azione fissato dal D.lgs. 230/95, espresso in termini di dose efficace, vale 0,3 mSv/anno per la popolazione e 1 mSv/anno per i lavoratori.

## 6.2 Valutazione di scenari

Sono stati presi in considerazione due scenari del documento RP 122 parte seconda, denominati A.1.1.1 e A.1.2.1 nel documento in allegato F, rispettivamente relativi ai lavoratori ed alla popolazione.

### 6.2.1 Lavoratori

Lo scenario A.1.1.1 prevede una situazione in cui il materiale contaminato sia costituito da un cumulo del volume di 10000 m<sup>3</sup> e con una superficie del cumulo pari a 2127 m<sup>2</sup>. Analogamente a quanto fatto in questo lavoro, per la valutazione di superfici e volumi, il cumulo è stato considerato di forma tronco-conica. Il lavoratore di riferimento si trova ad una distanza media di 10 m, senza alcuna schermatura interposta tra esso ed il cumulo, ed il tempo di esposizione in questa area è considerato pari a 1800 ore/anno. Nello scenario vengono considerati una concentrazione di polvere a seguito della movimentazione pari a 1 mg/m<sup>3</sup> ed un rateo di respirazione per il lavoratore di 1,2 m<sup>3</sup>/h. Infine si assume un rateo di ingestione di 10 mg/h per l'intero anno di lavoro.

Con queste assunzioni è possibile calcolare le concentrazioni di attività corrispondenti, rispettivamente, ai livelli di azione di 0,3 mSv/anno e 1 mSv/anno che sono riportate in tabella 6.1.

**Tabella 6.1.** Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori  
Scenario A.1.1.1: Cumulo

<b>Scenario</b>	<b>Dose efficace (mSv/anno)</b>	<b>Concentrazione (Bq/kg)</b>
<b>Cumulo</b>	0,3	1400
<b>Cumulo</b>	1	4700

In nessun caso la concentrazione di Th-232 misurata nei suoli, sia espressa in termini di suolo tal quale, che in termini di terra fine, supera neppure la più bassa delle concentrazioni indicate in tabella 6.1, per lo scenario A.1.1.1.

Nello stesso documento vengono anche effettuate stime dei livelli di riferimento nel caso di uno scenario (A.1.1.3) in cui viene considerata l'esposizione dei lavoratori in una discarica e che comprende lo smaltimento dei residui NORM, nonché procedure di lavoro quali la profilatura della

superficie e la copertura di aree piene. Per i dettagli si veda l'allegato F. Nonostante questa situazione sia molto lontana da quella di lavoratori che dovessero trovarsi ad operare sui rilievi contaminati del poligono Cellina-Meduna, essendo i livelli di riferimento per la concentrazione di Th-232 risultanti dalla stima, più bassi dei precedenti, essi vengono riportati in tabella 6.2.

**Tabella 6.2.** Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori  
Scenario A.1.1.3: Discarica

<b>Scenario</b>	<b>Dose efficace (mSv/anno)</b>	<b>Concentrazione (Bq/kg)</b>
<b>Discarica</b>	0,3	490
<b>Discarica</b>	1	1600

Il più alto valore di concentrazione di Th-232 misurato sul campione tal quale, per i campioni prelevati sui bersagli contaminati del Poligono Cellina-Meduna, risulta pari a 240 Bq/kg ed esso può essere, al più, attribuito ai primi 5 cm della superficie dei rilievi, mentre, in entrambi gli scenari indicati, si ipotizza, nel calcolo del livello di riferimento, una concentrazione costante di tutto il materiale appartenente al cumulo o alla discarica presi in esame.

Sia cumulo che discarica hanno, tra l'altro, volumi molto più elevati della somma dei volumi dei rilievi contaminati all'interno del poligono Cellina-Meduna.

Sulla base dello scenario A.1.1.1, relativo al cumulo, più aderente alla realtà dei bersagli del poligono, fatte le debite considerazioni di scala, sono state stimate le concentrazioni relative ai livelli di riferimento, per la concentrazione di Th-232, nei suoli di ogni bersaglio, affinché vengano rispettati i livelli di azione.

Sono state considerate, cautelativamente, le superfici totali massime stimate per ogni bersaglio, e sono state rapportate alla superficie considerata nello scenario citato. Nella tabella 6.3, sono riportati, oltre alle concentrazioni di Th-232 corrispondenti ai livelli d'azione di 0,3 mSv/anno e 1 mSv/anno, anche i rapporti fra le superfici del cumulo relativo allo scenario considerato e quello del cumulo relativo ad ogni singolo bersaglio.

**Tabella 6.3.** Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori  
Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato alle superfici bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Rapporto superficie Scenario/ bersaglio</b>	<b>Concentrazione (0,3 mSv/anno) Bq/kg</b>	<b>Concentrazione (1 mSv/anno) Bq/kg</b>
<b>5</b>	1,4	1921	6450
<b>6</b>	3,2	4539	15239
<b>7</b>	2,5	3549	11915
<b>8</b>	2,2	3102	10413

In tabella 6.4 sono riportate le stesse valutazioni, scalando le concentrazioni sulla base del rapporto tra il volume del cumulo relativo allo scenario e quello del cumulo relativo ad ogni bersaglio.

**Tabella 6.4.** Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori  
Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato ai volumi bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Rapporto Volume Scenario/ bersaglio</b>	<b>Concentrazione (0,3 mSv/anno) Bq/kg</b>	<b>Concentrazione (1 mSv/anno) Bq/kg</b>
<b>5</b>	4,4	6154	20659
<b>6</b>	9,3	12987	43599
<b>7</b>	7,6	10687	35878
<b>8</b>	5,7	7973	26765

La più piccola tra tutte le concentrazioni stimate, con riferimento al livello di azione di 0,3 mSv/anno è pari a circa otto volte la massima concentrazione misurata nei campioni prelevati sui bersagli contaminati mentre, con riferimento al livello di azione di 1 mSv/anno, la più piccola concentrazione stimata risulta pari a circa 27 volte la massima concentrazione misurata presso il poligono del Cellina-Meduna.

Viceversa, si può effettuare una stima della dose efficace ai lavoratori a partire dai risultati delle misure di concentrazione di Th-232 sui campioni relativi ai diversi bersagli. Viene assegnato, cautelativamente, il valore massimo della concentrazione misurata in ogni bersaglio, a tutto il rilievo relativo allo stesso bersaglio. Utilizzando le medesime modalità di calcolo riportate in allegato F, si ottengono i risultati riportati in tabella 6.5.

**Tabella 6.5.** Dose efficace per i lavoratori, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Dose efficace (mSv/anno)</b>
<b>5</b>	130	0,08
<b>6</b>	240	0,15
<b>7</b>	145	0,09
<b>8</b>	206	0,13

Si stima quindi che, per un lavoratore che lavora per 1800 ore/anno su un rilievo costituito da una concentrazione di Th-232 uniforme e pari alla concentrazione massima misurata per quel rilievo, la dose efficace relativa alla movimentazione dei rilievi che costituiscono i bersagli vari tra 0,08 a

0,13 mSv/anno. I valori, già al di sotto del livello di azione di 0,3 mSv/anno, sono comunque stati ottenuti con assunzioni molto cautelative.

Nel calcolo che ha condotto ai risultati riportati in tabella 6.5, è stata infatti considerata, come superficie del cumulo, una superficie pari a 2127 m<sup>2</sup>, come previsto dallo scenario A.1.1.1. Scalando opportunamente i dati, in funzione delle superfici totali dei cumuli, si ottengono i risultati riportati in tabella 6.6. Come già fatto in precedenza, i risultati rapportati, invece, in funzione dei rapporti tra i volumi, sono riportati in tabella 6.7.

**Tabella 6.6.** Dose efficace per i lavoratori, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio  
Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato alle superfici bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Dose efficace (mSv/anno)</b>
<b>5</b>	130	0,058
<b>6</b>	240	0,046
<b>7</b>	145	0,036
<b>8</b>	206	0,059

**Tabella 6.7.** Dose efficace per i lavoratori, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio  
Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato ai volumi bersaglio

<b>Bersaglio</b>	<b>Concentrazione Bq/kg</b>	<b>Dose efficace (mSv/anno)</b>
<b>5</b>	130	0,018
<b>6</b>	240	0,016
<b>7</b>	145	0,012
<b>8</b>	206	0,023

Il valore di dose più elevato, pari a circa 60 µSv/anno, è relativo ad un lavoratore che operi per 1800 ore nell'arco dell'anno (pari a 225 giornate lavorative da 8 ore), sempre sul bersaglio 5, ipotizzando che l'intero cumulo relativo al bersaglio abbia la massima concentrazione misurata su di esso. Questo valore di dose, di per se già molto piccolo, nonostante sia frutto di stime del tutto cautelative, andrebbe quindi ulteriormente scalato per l'eventuale durata dei lavori su ogni bersaglio.

## 6.2.2 Popolazione

Per quanto riguarda lo scenario preso in considerazione per la valutazione dei livelli di riferimento per la popolazione, esso descrive l'esposizione di un membro del pubblico che viva in una casa nei

pressi di un cumulo o di una discarica che non sia coperta da uno strato di materiale incontaminato. Lo scenario comprende tre situazioni di esposizione:

- a. residenza nella casa vicino al cumulo/discarica;
- b. Permanenza nel giardino appartenente alla casa;
- c. Permanenza sul cumulo/discarica senza la presenza di uno strato di copertura (valido soprattutto per i cumuli).

Le dosi efficaci risultanti per queste tre situazioni di esposizione vengono sommate. In allegato F sono riportati nel dettaglio i parametri relativi ai tempi spesi in casa, in giardino e sul cumulo/discarica in funzione dell'età della persona. Lo scenario prevede che la casa sia mediamente situata a 25 m, ed il giardino mediamente a 20 m, dal cumulo/discarica. La superficie del cumulo considerata è pari a 100000 m<sup>2</sup>.

In queste condizioni il livello di riferimento per la concentrazione di Th-232 nel materiale costituente il cumulo/discarica, corrispondente al livello di azione di 0,3 mSv/anno, risulta pari a 560 Bq/kg, oltre il doppio della massima concentrazione misurata sui bersagli.

Effettuando una correzione sulla base del rapporto tra la superficie relativa allo scenario e la superficie calcolata considerando la somma di tutte le superficie relative ai bersagli e pari a 4005 m<sup>2</sup>, come già fatto nel paragrafo precedente, si ottiene un valore di riferimento per la concentrazione pari a 13882 Bq/kg, cioè circa 60 volte la massima concentrazione misurata.

Usando la procedura già utilizzata per lo scenario considerato per i lavoratori, si ottengono le stime di dose per la popolazione (stimate per la superficie di 100000 m<sup>2</sup> relativa allo scenario A.1.2.1) riportate in tabella 6.8.

**Tabella 6.8.** Dose efficace per la popolazione, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio

<b><i>Bersaglio</i></b>	<b><i>Concentrazione Bq/kg</i></b>	<b><i>dose efficace (mSv/anno)</i></b>
<b>5</b>	130	0,07
<b>6</b>	240	0,13
<b>7</b>	145	0,08
<b>8</b>	206	0,11

Supponendo che tutti i bersagli siano costituiti interamente da materiale con concentrazione uguale alla massima concentrazione misurata, e scalando questo valore in funzione del rapporto tra la superficie considerata nello scenario e la superficie totale dei bersagli, si otterrebbe un valore di dose per la popolazione pari a circa 5 µSv/anno.

Tale risultato dovrebbe essere ulteriormente scalato in considerazione del fatto che l'abitazione più vicina non è situata a 25 m dal bersaglio più vicino ma ad una distanza stimata compresa tra 1 e 2 km, rendendo quindi nulla in partenza la fonte di esposizione determinata dalla permanenza in casa ed in giardino, entrambe considerate nello scenario utilizzato.

### **6.3 Acque potabili**

In Italia la normativa di riferimento per la qualità dell'acqua potabile è il D.lgs 31/2001. Nella Direttiva 2013/51/EURATOM, sulla qualità delle acque potabili, non ancora recepita dalla normativa italiana, sono riportati i valori di concentrazione di attività derivati, corrispondenti alla dose totale indicativa di 0,1 mSv/anno considerati dal D.lgs 31/2001, al di sopra della quale deve essere considerata l'entità del superamento e deve essere valutata l'opportunità di effettuare azioni di rimedio. Per il Th-232<sub>sec</sub> (in equilibrio secolare), tale valore è pari a 0,2 Bq/l.

E' possibile, sulla base della linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità "Guidelines for drinking-water quality", effettuare uno screening sulle acque mediante misure di  $\alpha$  totale e  $\beta$  totale che nel caso in cui risultino inferiori, rispettivamente, a 0,1 Bq/l per gli emettitori  $\alpha$  ed 1 Bq/l per gli emettitori  $\beta$ , sottratto il contributo del K-40, garantiscono i rispetti dei limiti della normativa.

Nel capitolo 5, paragrafi 5.5 e 5.6, sono riportati i risultati delle misure effettuate sulle acque di falda ( $\alpha$  totale e  $\beta$  totale e torio) e sulle acque potabili ( $\alpha$  totale e  $\beta$  totale). I valori di concentrazione dei radionuclidi misurati non soltanto sono sempre risultati ampiamente al di sotto dei livelli indicati, ma non sono mai risultati superiori ai normali valori di fondo.

### **6.4 Valutazioni complessive**

Sulla base di quanto riportato nei paragrafi precedenti, si può affermare che la contaminazione da Th-232 presente in alcuni bersagli del poligono Cellina-Meduna, è risultata di piccola entità e non ha creato alcun rischio sanitario per la popolazione né per il personale delle Forze Armate che si sia trovato ad operare all'interno del poligono stesso.

Le considerazioni riportate, relative ai livelli di riferimento per la concentrazione di Th-232 nei suoli, portano al risultato che, per quanto concerne il contenuto dei radionuclidi, non si ravvisa alcuna necessità di bonifica dei bersagli contaminati.

Nel caso in cui vi sia la necessità, a causa di elevate concentrazione di altri inquinanti, di effettuare la bonifica del sito, la dose ai lavoratori impegnati in tale attività risulterebbe comunque non significativa. In questo caso, inoltre, in considerazione del rinvenimento, sotto il piano di campagna, di un frammento di missile MILAN, contaminato da Th-232, nei pressi di uno dei bersagli e della segnalazione di altre anomalie radiometriche, sempre in prossimità dei bersagli

contaminati (vedi capitolo 5, paragrafi 5.2.5 e 5.3.3 ), risulta opportuno effettuare, prima della bonifica, una ricerca di eventuali altri frammenti e provvedere all'eventuale asportazione.

Va ricordato che tutte le stime sono state fatte in maniera cautelativa: considerando, tra l'altro, le concentrazioni di Th-232 come se fossero interamente dovute a contaminazione, mentre gli scenari considerati prevedevano, invece, la sottrazione del Th-232 naturale.

Gli altri fattori di cautela sono intrinsecamente contenuti nell'aver sempre considerato, nelle valutazioni, le dimensioni massime delle superfici e dei volumi contaminati, così come le concentrazioni massime misurate in piccolissime aree come se fossero tali in tutta l'area contaminata. Tutti questi fattori hanno infatti portato a stime dell'attività totale del Th-232 superiori, almeno di un ordine di grandezza, rispetto a quelle previste sulla base della dichiarazione delle forze armate relative al numero di missili MILAN sparati ed al loro contenuto di torio.

## 7. Conclusioni

Il complesso studio descritto nei capitoli precedenti è stato svolto dalla Struttura Operativa Semplice Fisica Ambientale di ARPA Friuli Venezia Giulia, con il supporto del Laboratorio Unico Regionale della stessa ARPA FVG ed in collaborazione con il Dipartimento Provinciale di Pordenone della stessa Agenzia. Hanno inoltre contribuito allo studio l'ex A.S.S. 6 "Pordenonese", con i campionamenti di acque potabili ed alimenti, ed i laboratori di radiochimica di ARPA Piemonte ed ARPA Lombardia, per le misure, rispettivamente, di uranio depleto nei suoli e  $\alpha$  e  $\beta$  totale e torio nelle acque. LA SOS Fisica Ambientale è stata accompagnata presso il poligono Cellina Meduna, e supportata logisticamente, da personale della 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata "ARIETE".

Lo studio, che ha comportato 27 giornate di lavoro in campo, decine di prelievi di campioni e conseguente loro trattamento e preparazione, centinaia di misure sia in campo che in laboratorio, oltre all'elaborazione dell'enorme mole di dati prodotti, ha portato alla definizione dei livelli di contaminazione e delle aree e dei volumi contaminati da Th-232, derivante dall'utilizzo di missili MILAN durante le esercitazioni svolte presso il poligono Cellina-Meduna.

I bersagli contaminati sono risultati essere quelli individuati dai numeri 5, 6, 7 e 8 e la contaminazione è risultata strettamente confinata ai bersagli stessi ed alle loro immediate vicinanze. Le numerose misure effettuate in maniera sistematica all'interno ed all'esterno della superficie delimitata dalla concertina di filo spinato posizionata dalle Forze Armate, ha permesso di escludere contaminazioni all'esterno delle zone citate.

Le superfici contaminate, considerate cautelativamente, sono risultate pari a circa 4000 m<sup>2</sup>, cioè circa il 4‰ dell'area delimitata dalla concertina e circa un decimillesimo della superficie dell'intero poligono.

Le stime totali dell'attività di Th-232 sui bersagli contaminati, anche in questo caso calcolate in maniera del tutto cautelativa, comprensive del Th-232 naturalmente presente nel sito, forniscono valori superiori di un ordine di grandezza a quelli che potrebbero essere stimati sulla base del numero di missili MILAN che il Comando Militare Esercito del Friuli Venezia Giulia ha dichiarato siano stati sparati nell'area del poligono. Alcune stime più realistiche forniscono, invece, valori compatibili con tali dichiarazioni.

Le misure effettuate presso i laboratori di radiochimica di ARPA Piemonte ed ARPA Lombardia, hanno permesso di escludere la presenza di uranio depleto nei suoli e di contaminazione da Th-232 nelle acque potabili e di falda.

Le misure effettuate su campioni di alimenti prodotti nelle immediate vicinanze del poligono, su campioni di vegetali e particolato atmosferico prelevate sui bersagli risultati contaminati, non hanno mostrato concentrazioni di Th-232 diverse da quelle naturalmente presenti in tali matrici.

Le valutazioni di radioprotezione, effettuate anche sulla base dei livelli di riferimento forniti su richiesta di ARPA FVG, dall'Istituto Superiore di Sanità, hanno confermato quanto già indicato in precedenza sulla base dei risultati delle misure preliminari: non vi è pericolo alcuno per la salute della popolazione residente nei comuni interessati dalle attività del poligono e limitrofi ad esso, come conseguenza delle attività esercitative con missili MILAN svolte fino al 2004 presso il poligono Cellina-Meduna.

Le stesse valutazioni hanno messo in evidenza che le concentrazioni relativamente basse di Th-232 misurate in aree molto ristrette, non generano livelli di azione che portino a necessità di bonifica, dal punto di vista radiologico, dell'area stessa.

Sono state, altresì, effettuate valutazioni di dose per i lavoratori che dovessero effettuare una bonifica dei rilievi relativi ai bersagli contaminati, a causa di livelli troppo elevati di altri inquinanti. I risultati permettono di affermare che, anche in questo caso, non vi sia pericolo alcuno per la salute dei lavoratori, neppure nel caso, assolutamente improbabile dati i piccoli volumi interessati dalla contaminazione, che essi debbano lavorare per 1800 ore (225 giornate lavorative da 8 ore ciascuna) sul bersaglio più contaminato, anche senza la schermatura costituita dalla struttura degli eventuali mezzi meccanici utilizzati.

Nel caso della necessità di effettuazione della bonifica dei rilievi contaminati, si dovrà tener conto del ritrovamento di un frammento contaminato di missile trovato presso uno dei bersagli al di sotto del piano di campagna e delle altre segnalazioni di anomalie radiometriche individuate, sempre nei pressi dei bersagli, che potrebbero dare luogo ad analoghi ritrovamenti. Si suggerisce quindi, in questo caso, di effettuare, preliminarmente alla bonifica vera e propria, una ricerca di altri frammenti e la loro eventuale asportazione.

Infine si sottolinea il fatto che i bersagli contaminati da Th-232 non risultano completamente coincidenti con quelli contaminati da altri inquinanti, individuati nel piano di caratterizzazione ambientale del Poligono Cellina-Meduna e relativi ai soli bersagli 4, 5 e 6. Nell'ipotesi che la sorgente dei due tipi di inquinamento sia la stessa, potrebbe risultare opportuna l'effettuazione di ulteriori controlli, relativi agli inquinanti convenzionali, sui bersagli 7 e 8.

## 8. Glossario

**Attività:** Numero di disintegrazioni del nucleo di un atomo radioattivo per unità di tempo. Nel SI l'unità di misura dell'attività è il becquerel (Bq).

**Becquerel (Bq):** unità di misura della radioattività; 1 Bq = 1 disintegrazione al secondo.

**Concentrazione (di attività):** è la grandezza che esprime la radioattività di un dato radionuclide nell'unità di massa-superficie-volume. L'unità di misura della concentrazione di attività è il Becquerel su metro cubo Bq/kg-m<sup>2</sup>-m<sup>3</sup>).

**Contaminazione radioattiva:** Contaminazione di una matrice, di una superficie, di un ambiente di vita o di lavoro o di un individuo, prodotta da sostanze radioattive. Nel caso particolare del corpo umano, la contaminazione radioattiva include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa si sia prodotta.

**Decadimento radioattivo:** è un insieme di processi tramite i quali dei nuclei atomici instabili (nuclidi) emettono particelle subatomiche per raggiungere uno stato più stabile.

**Dose assorbita:** Quantità di energia rilasciata dalla radiazione ad un tessuto organico. La dose assorbita si misura in gray (Gy), dove 1 Gy rappresenta 1 J di radiazione assorbita per 1kg di massa.

**Dose efficace:** somma delle dosi equivalenti nei diversi organi e tessuti del corpo umano moltiplicate per gli appropriati fattori di ponderazione del tessuto WT ; si esprime in sievert (Sv) e suoi sottomultipli.

**Dose equivalente:** prodotto della dose assorbita media in un tessuto o organo per il fattore di ponderazione delle radiazioni del tessuto WT; si esprime in sievert e suoi sottomultipli.

**Equilibrio secolare:** è caratteristico delle catene radioattive naturali e si verifica quando l'attività del/i discendente/i approssima quella del capostipite.

**Esposizione:** qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti. Si distingue in esposizione interna da sorgenti situate all'interno dell'organismo, esposizione esterna da sorgenti situate all'esterno dell'organismo ed esposizione totale (combinazione delle due precedenti).

**Isotopi:** Atomi aventi lo stesso numero atomico, ma differente numero di massa, ovvero differente numero di neutroni nel nucleo.

**Limiti di dose:** limiti fissati per le dosi riguardanti l'esposizione alle radiazioni. I limiti di dose si applicano alla somma delle dosi ricevute per esposizione esterna nel periodo considerato e delle dosi impegnate derivanti dall'introduzione di radionuclidi nello stesso periodo.

**Livello di azione:** valore di dose efficace, il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio che riducano tale grandezza a livelli più bassi del livello di azione.

**Media aritmetica:** si ottiene con la somma dei diversi valori indagati, divisi per il numero complessivo di valori. La formula della media aritmetica  $m$  è:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} .$$

**Particelle  $\alpha$ :** radiazione corpuscolare altamente ionizzante e con un basso potere di penetrazione. Consistono di due protoni e due neutroni legati insieme dall'interazione forte, si tratta quindi di nuclidi  ${}^4\text{He}$ . Esse percorrono pochi centimetri nell'aria e penetrano solo alcune frazioni di millimetro nel corpo umano.

**Particelle  $\beta$ :** elettroni o positroni ad alta energia, espulsi da un nucleo atomico in un processo conosciuto come decadimento  $\beta$ . Esistono due forme di decadimento  $\beta$ ,  $\beta^-$  e  $\beta^+$ , che emettono rispettivamente un elettrone o un positrone. Nel decadimento  $\beta^-$ , un neutrone viene convertito in un protone, un elettrone e un antineutrino elettronico (l'antiparticella del neutrino):  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ . Nel decadimento  $\beta^+$  (osservabile in nuclei ricchi di protoni), un protone interagisce con un antineutrino elettronico per dare un neutrone e un positrone:  $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$ . Percorrono alcuni metri nell'aria e penetrano alcuni millimetri nel tessuto umano.

**Radiazione di fondo:** somma della radioattività naturale di origine terrestre dovuta ai componenti primordiali della crosta e della radioattività di origine extra-terrestre dovuta alla radiazione cosmica.

**Radiazione gamma:** forma energetica di radiazione elettromagnetica prodotta dalla radioattività o da altri processi nucleari o subatomici. I raggi gamma sono più penetranti sia della radiazione  $\alpha$  sia della radiazione  $\beta$ , ma sono meno ionizzanti. I raggi gamma si distinguono dai raggi X per la loro origine: i gamma sono prodotti da transizioni nucleari o comunque subatomiche, mentre gli X sono prodotti da transizione energetiche dovute ad elettroni in rapido movimento. Poiché è possibile per alcune transizioni elettroniche superare le energie di alcune transizioni nucleari, i raggi X più energetici si sovrappongono con i raggi gamma più deboli. La radiazione gamma ad alta energia può percorrere alcune centinaia di metri nell'aria e penetrare fino ad un metro nel tessuto umano.

**Radioattività:** Fenomeno fisico per cui il nucleo atomico si trasforma, o meglio si disintegra spontaneamente (radioattività naturale) oppure in seguito ad un intervento dall'esterno (radioattività artificiale) in un nuovo nucleo atomico, con cessione di energia sotto forma di particelle ( $\alpha$ ,  $\beta$ ). Il nucleo che deriva da un decadimento radioattivo si trova generalmente in uno stato fortemente eccitato: l'energia in eccesso viene ceduta sotto forma di radiazione elettromagnetica (raggi gamma).

**Radionuclidi primordiali:** Sono radionuclidi la cui vita media è confrontabile con l'età stimata della terra ( $4,5 \cdot 10^9$  anni). Costituiscono la sorgente primaria di radioattività naturale. Una parte di questa radiazione origina da tre famiglie radioattive:

- famiglia dell'Uranio, con capostipite U-238;
- famiglia del Torio, Th-232;
- famiglia dell'Attinio, U-235.

Oltre a queste bisogna tener conto dei radioisotopi Rb-87 e soprattutto K-40.

**Sievert:** l'unità di misura della dose equivalente di radiazione nel Sistema Internazionale.

**Tempo di dimezzamento:** Tempo necessario affinché un radionuclide, decadendo secondo una legge esponenziale, riduca la propria attività a metà del valore iniziale.

**Uranio depleto:** scarto del procedimento di arricchimento dell'uranio. Ha un'attività specifica minore rispetto all'uranio naturale.

## 9. Bibliografia

Agency for Toxic Substances and Disease Registry – U.S. Public Health Service, 1990, *Toxicological Profile for Thorium*

ANL, Argonne National Laboratory, Human Health Fact Sheet, 2001, *Thorium*

Gautier C, Lefebvre R., Martel R., Ampleman G., Thiboutot S., Lewis J., Parent M., 2003, *Assessment of the impacts of live training on soil and groundwater at canadian forces base Shilo*, Manitoba, 56TH CANADIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE, 4TH JOINT IAH-CNC/CGS CONFERENCE, 2003 NAGS CONFERENCE, 9 pp

Gauthier C., 2005, *Caractérisation environnementale et hydrogéologique de l'écoulement à la base des forces canadiennes (BFC) Shilo*, Manitoba, Canada, INRS-ETE, Mémoire Présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.) en Sciences de la Terre (Hydrogéologie), 204 pp

ISSN 1123-3117 Rapport ISTISAN 00/16

JSP 392 Management of Radiation Protection in Defence Part 2, Leaflet 29, *Items and Components Containig Thorium*

Mariani M., 2014, *Relazione Peritale, Procedimento Penale n.452/12 RG. GIP*, Tribunale di Lanusei-Ogliastra, 79pp

Si.Eco Sicurezza ed ecologia, 132<sup>a</sup> Brigata Corazzata "ARIETE" – *Piano di caratterizzazione Ambientale Poligono Cellina-Meduna (PN)*, Pordenone 11 aprile 2013, 38pp + allegati

UNSCEAR, 2002, *Exposures from natural radiation sources*

## 10. Fonti normative

ANPA *“Guida tecnica sulle misure di radioattività ambientale derivanti dall’adeguamento dei relativi insiemi di dati”*, 2000, AGT-T-GTE-00-02

Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 *“Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano”*. Supplemento ordinario alla G.U. n. 52, 3 marzo 2001

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 *“Norme in materia ambientale”*

Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230 modificato dal D.lgs. 26 maggio 2000, n.187, dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n.241, Dal D.lgs. 26 marzo 2001, n.151 e dalla legge 1 marzo 2002, n.39 *“Attuazione delle direttive 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 92/3/EURATOM/ e 96/29/EURATOM in materia di radiazioni ionizzanti”*

*Direttiva 98/83/CE del Consiglio del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano*, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee

European Commission Radiation Protection 122. *“Practical Use of Concepts of Clearance and Exemption. Part II – Application of the Concept of Exemption and Clearance to the Natural Radiation Sources”*, 2001

World Health Organization *“Guidelines for drinking-water quality”*, 2006, ISBN 92 4 154696 4

## 11. Sitografia

<http://espace.inrs.ca/407/1/T000305.pdf>

[http://www.mbda-systems.com/mediagallery/files/milan-er\\_datasheet-1424429077.pdf](http://www.mbda-systems.com/mediagallery/files/milan-er_datasheet-1424429077.pdf)

[http://www.mbda-systems.com/mediagallery/files/milan-er\\_background-1402654789.pdf](http://www.mbda-systems.com/mediagallery/files/milan-er_background-1402654789.pdf)

[http://www.ingehoeeger.de/fileadmin/lcmsingehoeeger/Dokumente/2015/141209\\_Schadstoffhinweise\\_Irak\\_deutsch.pdf](http://www.ingehoeeger.de/fileadmin/lcmsingehoeeger/Dokumente/2015/141209_Schadstoffhinweise_Irak_deutsch.pdf)

<http://www.sardiniapost.it/wp-content/uploads/2014/06/Relazione-Peritale-Prof-Mario-Mariani1.pdf>

[http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/att\\_20030407se04\\_e\\_12728.html](http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/att_20030407se04_e_12728.html)

[http://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_pubblicazioni\\_1939\\_allegato.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1939_allegato.pdf)

[http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6943Dateien/d\)%20Theme%20D.pdf](http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6943Dateien/d)%20Theme%20D.pdf)

[http://www.researchgate.net/profile/Rene\\_Lefebvre/publication/255682513\\_Assesment\\_of\\_the\\_impacts\\_of\\_live\\_fire\\_training\\_on\\_soil\\_and\\_groundwater\\_at\\_Canadian\\_Forces\\_Base\\_Shilo\\_Manitoba/links/0deec5202682e63153000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Rene_Lefebvre/publication/255682513_Assesment_of_the_impacts_of_live_fire_training_on_soil_and_groundwater_at_Canadian_Forces_Base_Shilo_Manitoba/links/0deec5202682e63153000000.pdf)

<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agenti-fisici/file-e-allegati/seminario-2010/1%20Normativa%20Caldognetto.pdf>

[http://www.iss.it/binary/fisr/cont/schede\\_chimico\\_tossicologiche.pdf](http://www.iss.it/binary/fisr/cont/schede_chimico_tossicologiche.pdf)

<http://irdat.regione.fvg.it/WebGIS/>

<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/thorium.pdf>

Data di tutti gli accessi: maggio 2015

## 12. Indice delle figure

### Capitolo 2

<b>Figura 2.1.</b> Foglio 065-SO della Carta Tecnica Regionale	8
<b>Figura 2.2.</b> Dislocazione bersagli, linea di tiro e “bianco”	9
<b>Figura 2.3.</b> Dislocazione bersagli, linea di tiro e “bianco”	10
<b>Figura 2.4.</b> Distanze tra linea di tiro e bersagli	10
<b>Figura 2.5.</b> Angolo di tiro	12
<b>Figura 2.6.</b> Posizione dei bersagli e della concertina	14

### Capitolo 3

<b>Figura 3.1.</b> Missile MILAN	15
<b>Figura 3.2.</b> Carcassa di carro armato sul bersaglio 5 presso il poligono Cellina-Meduna (2012)	17
<b>Figura 3.3.</b> Parte di un missile rinvenuto nei pressi di uno dei bersagli	18
<b>Figura 3.4.</b> Residui ancora presenti sulla sommità dei rilievi dopo la bonifica	18
<b>Figura 3.5.</b> Schema di decadimento del Th-232	19

### Capitolo 4

<b>Figura 4.1.</b> Misura di livello di radiazione sulla sommità di un rilievo mediante strumento Berthold	22
<b>Figura 4.2.</b> Misura di livello di radiazione dopo asportazione di un campione di suolo superficiale	22
<b>Figura 4.3.</b> Presenza di frammenti di missile sulla sommità di uno dei rilievi	24
<b>Figura 4.4.</b> Misura di spettrometria gamma <i>in situ</i>	25

<b>Figura 4.5.</b> Spettro delle emissioni gamma di un campione contenente Th-232 ed i suoi prodotti di decadimento	27
<b>Figura 4.6.</b> Laboratorio di spettrometria gamma SOS Fisica Ambientale: pozzetti contenenti i rivelatori al Germanio	28
<b>Figura 4.7.</b> Spettrometria gamma <i>in situ</i> senza collimatori	29
<b>Figura 4.8.</b> Spettrometria gamma <i>in situ</i> con collimatori	30
<b>Figura 4.9.</b> Piano di riferimento per la spettrometria gamma <i>in situ</i> con collimatori	31
<b>Figura 4.10.</b> Fasi di campionamento suoli	32
<b>Figura 4.11.</b> Campione di suolo tal quale (a sinistra) e dopo la setacciatura	33
<b>Figura 4.12.</b> Localizzazione dei punti di prelievo delle acque di falda	35
<b>Figura 4.13.</b> Localizzazione dei punti di prelievo delle acque potabili	36
<b>Figura 4.14.</b> Punti di misura relativi al bersaglio 5	39
<b>Figura 4.15.</b> Punti di misura relativi al bersaglio 6	40
<b>Figura 4.16.</b> Punti di misura relativi al bersaglio 7	40
<b>Figura 4.17.</b> Punti di misura relativi al bersaglio 8	41
<b>Figura 4.18.</b> Punti di misura e posizione della concertina (in verde)	42
<b>Figura 4.19.</b> Localizzazione degli ulteriori punti di misura e posizione della concertina (in verde)	44
<b>Figura 4.20.</b> Sessione di misura di spettrometria gamma <i>in situ</i> in un punto nei pressi della concertina	44
<b>Figura 4.21.</b> Curva calcolata per il rapporto tra le attività di Bi-212 e Pb-212 nell'ipotesi di materiale contaminato rappresentato da suolo a profondità comprese tra 0 e 20 cm	47
<b>Figura 4.22.</b> Curva calcolata per il rapporto tra le attività di Bi-212 e Pb-212 nell'ipotesi di materiale contaminato rappresentato da ferro a profondità comprese tra 0 e 20 cm	47
<b>Figura 4.23.</b> Ortofoto da carta tecnica regionale e calcolo della superficie della sommità del bersaglio 5	49

## Capitolo 5

<b>Figura 5.1.</b> Concentrazione media di Th-232 nella massa fine e nel tal quale nei diversi punti di prelievo	55
<b>Figura 5.2.</b> Concentrazione superficiale media (primi 5 cm) di Th-232 calcolata nei diversi punti di prelievo	56
<b>Figura 5.3.</b> Concentrazione media di Th-232 nella massa fine e nel tal quale, a diverse profondità, per il bersaglio 7	58
<b>Figura 5.4.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), a diverse profondità, per il bersaglio 7	58
<b>Figura 5.5.</b> Frammento metallico rinvenuto a 3 cm di profondità presso il bersaglio 6	67
<b>Figura 5.6.</b> Una fase della procedura di campionamento	67
<b>Figura 5.7.</b> Configurazione per la misura di spettrometria gamma in campo con i collimatori	68
<b>Figura 5.8.</b> Diffusore di missile MILAN rinvenuto presso il bersaglio 6	70
<b>Figura 5.9.</b> Materiale rinvenuto all'interno del diffusore	71
<b>Figura 5.10.</b> Profilo sperimentale di distribuzione del Th-232 in profondità	72
<b>Figura 5.11.</b> Profilo teorico esponenziale di distribuzione del Th-232 in profondità	72
<b>Figura 5.12.</b> Confronto tra concentrazione superficiale di Th-232 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), calcolata con l'utilizzo del profilo sperimentale e di quello esponenziale, per i diversi bersagli contaminati	74
<b>Figura 5.13.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 5	83
<b>Figura 5.14.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 6	83
<b>Figura 5.15.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 7	84
<b>Figura 5.16.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 8	84
<b>Figura 5.17.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) relativa al bersaglio 6, prima (a sinistra) e dopo (a destra), l'asportazione del diffusore	85
<b>Figura 5.18.</b> Distribuzione della concentrazione di Th-232 ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5 cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 5	86
	86

<b>Figura 5.19.</b> Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5 cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 6	
<b>Figura 5.20.</b> Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 7	87
<b>Figura 5.21.</b> Distribuzione della concentrazione di Th-232 (Bq/kg) relativa allo strato di suolo fresco, tal quale, 0-5cm (a sinistra) ed a quello 5-10 cm (a destra) per il bersaglio 8	87
<b>Figura 5.22.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale (0-20cm) di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> ) dell'intera area delimitata dalla concertina	88
<b>Figura 5.23.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale (strato 5-10 cm) di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> ) dell'intera area delimitata dalla concertina	89
<b>Figura 5.24.</b> Distribuzione della concentrazione superficiale di Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> ) dell'intera area delimitata dalla concertina	90

## Capitolo 6

<b>Figura 6.1.</b> Misura di livello di radiazione a contatto con il suolo	96
--	----

## 13. Indice delle tabelle

### Capitolo 2

<b>Tabella 2.2.</b> Coordinate dei bersagli, del “bianco” e della linea di tiro	11
<b>Tabella 2.2.</b> Distanze tra i bersagli e la linea di tiro	11
<b>Tabella 2.3.</b> Risultati contaminazione metalli pesanti (concentrazioni in mg/kg)	13

### Capitolo 4

<b>Tabella 4.1.</b> Alcuni valori di livello di radiazione. Strumento di misura: A=Automess, B=Berthold	23
<b>Tabella 4.2.</b> Valori di livello di radiazione nel punto di massima contaminazione (hotspot) presso il bersaglio 6. Strumento di misura: A=Automess, B=Berthold, T=Thermo	24
<b>Tabella 4.3.</b> Località di prelievo delle acque potabili	37
<b>Tabella 4.4.</b> Concentrazione di Th-232 in diverse aliquote di un campione di suolo prelevato presso il bersaglio 8 (misura in spettrometria gamma)	37
<b>Tabella 4.5.</b> Concentrazione di Th-232 in diverse aliquote di un campione di suolo prelevato presso il bersaglio 8 (misura in spettrometria di massa)	38
<b>Tabella 4.6.</b> Coordinate dei punti di misura	43
<b>Tabella 4.7.</b> Attività di Bi-212 e Pb-212 e loro rapporti, calcolate nell'ipotesi di un volumetto di suolo contaminato delle dimensioni di $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ , per profondità comprese tra 0 e 20 cm	46
<b>Tabella 4.8.</b> Attività di Bi-212 e Pb-212 e loro rapporti, calcolate nell'ipotesi di un volumetto di ferro contaminato delle dimensioni di $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ , per profondità comprese tra 0 e 20 cm	46
<b>Tabella 4.9.</b> Stima delle superfici e dei volumi dei diversi bersagli	50
<b>Tabella 4.10.</b> Strumentazioni e software utilizzati	50
<b>Tabella 4.11.</b> Dettaglio dei campionamenti e delle misure eseguite dalla SOS Fisica Ambientale di ARPA FVG	51

**Tabella 4.12.** Campionamenti e/o misure eseguite a cura di strutture diverse dalla SOS Fisica Ambientale

## Capitolo 5

<b>Tabella 5.1.</b> Concentrazione di Th-232 relativa alla massa fine di tutti campioni di suolo superficiale prelevati	52
<b>Tabella 5.2.</b> Massa fine, massa dello scheletro artificiale e delle due porzioni fine e grossolana dello scheletro naturale	53
<b>Tabella 5.3.</b> Concentrazioni di Th-232: massa fine, scheletro artificiale, scheletro fine e scheletro grossolano	54
<b>Tabella 5.4.</b> Concentrazione media di Th-232 nella massa fine, nel tal quale e concentrazione superficiale media	54
<b>Tabella 5.5.</b> Concentrazione di Th-232 nella massa fine lungo il profilo del bersaglio 7	56
<b>Tabella 5.6.</b> Concentrazione di Th-232 nella massa fine lungo i profili prelevati in località Dandolo e Vajont	57
<b>Tabella 5.7.</b> Concentrazione media di Th-232 nella massa fine, nel tal quale e concentrazione superficiale per strato	57
<b>Tabella 5.8.</b> Concentrazione superficiale totale (stimata) di Th-232, per i bersagli 5,6,7 e 8	59
<b>Tabella 5.9.</b> Concentrazione di Th-232 nei campioni di vegetali (Bq/kg di peso secco)	60
<b>Tabella 5.10.</b> Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali (Bq/kg di peso secco) raccolti in località Vajont e Dandolo (novembre 2011)	60
<b>Tabella 5.11.</b> Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali (Bq/kg di peso secco) raccolti in varie località della regione Friuli Venezia Giulia (2002-2010)	61
<b>Tabella 5.12.</b> Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di patate misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nel campione prelevato nei pressi del poligono	62

<b>Tabella 5.13.</b> Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di porro misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nel campione prelevato nei pressi del poligono	
<b>Tabella 5.14.</b> Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di cipolle misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nel campione prelevato nei pressi del poligono	63
<b>Tabella 5.15.</b> Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di mele misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nei campioni prelevati nei pressi del poligono	64
<b>Tabella 5.16.</b> Concentrazione di Th-232 in singoli campioni di vino misurati nell'ambito del monitoraggio degli alimenti, concentrazione media e concentrazione misurata nei campioni prelevati nei pressi del poligono	64
<b>Tabella 5.17.</b> Concentrazione di Th-232 nei campioni di particolato atmosferico	65
<b>Tabella 5.18.</b> Concentrazione di Th-232 in campioni di particolato atmosferico misurati a Udine nell'aprile 2015	66
<b>Tabella 5.19.</b> Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali e di suolo raccolti intorno al pezzo contaminato. Misure in campo. Concentrazioni espresse in termini di peso fresco	68
<b>Tabella 5.20.</b> Concentrazione di Th-232 in campioni di vegetali e di suolo raccolti intorno al pezzo contaminato. Misure in laboratorio. Concentrazioni espresse in termini di peso secco	69
<b>Tabella 5.21.</b> Concentrazione di Th-232 nei campioni di materiale all'esterno (terra 1) ed all'interno del diffusore (terra 2). Concentrazioni espresse in termini di peso secco	70
<b>Tabella 5.22.</b> Concentrazione superficiale Th-232 ( $Bq/m^2$ , profilo sperimentale, $\varnothing$ piano di riferimento: 5 e 10 m). Misure sui bersagli, sulla linea di tiro e sul "punto di bianco"	73
<b>Tabella 5.23.</b> Concentrazione superficiale Th-232 ( $Bq/m^2$ , profilo sperimentale, $\varnothing$ piano di riferimento: 10 m)	73
<b>Tabella 5.24.</b> Concentrazione superficiale di Th-232: confronto profilo sperimentale e profilo esponenziale	74
<b>Tabella 5.25.</b> Concentrazione media di Th-232: confronto profilo sperimentale e profilo esponenziale ( $Bq/kg$ sul peso fresco tal quale)	74

<b>Tabella 5.26.</b> Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 5	76
<b>Tabella 5.27.</b> Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 6	76
<b>Tabella 5.28.</b> Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 7	76
<b>Tabella 5.29.</b> Profilo di concentrazione del Th-232: profilo sperimentale ed esponenziale, nel tal quale fresco (non corretto) e nella terra fine (corretto) per il bersaglio 8	76
<b>Tabella 5.30.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> , profilo sperimentale) bersagli 1, 2, 3 e "bianco"	77
<b>Tabella 5.31.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> , profilo sperimentale) bersaglio 4	77
<b>Tabella 5.32.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> , profilo sperimentale) bersaglio 5	78
<b>Tabella 5.33.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> , profilo sperimentale) bersaglio 6	78
<b>Tabella 5.34.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> , profilo sperimentale) bersaglio 7	79
<b>Tabella 5.35.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> , profilo sperimentale) bersaglio 8	79
<b>Tabella 5.36.</b> Concentrazione superficiale di Th-232, profilo sperimentale (Bq/m <sup>2</sup> , configurazione senza collimatori: $\varnothing = 5, 10$ m, con collimatori: $\varnothing = 1.12, 1.5$ m)	80
<b>Tabella 5.37.</b> Concentrazione di Th-232 nella massa fine, per strato e per punto per il bersaglio 5	81
<b>Tabella 5.38.</b> Concentrazione di Th-232 nella massa fine, per strato e per punto per il bersaglio 6	81
<b>Tabella 5.39.</b> Concentrazione di Th-232 nella massa fine, per strato e per punto per il bersaglio 7	81
<b>Tabella 5.40.</b> Concentrazione di Th-232 nella massa fine, per strato e per punto per il bersaglio 8	81
<b>Tabella 5.41.</b> Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 5	81
<b>Tabella 5.42.</b> Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 6	82

<b>Tabella 5.43.</b> Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 7	82
<b>Tabella 5.44.</b> Concentrazione di Th-232 sul fresco tal quale, per strato e per punto, per il bersaglio 8	82
<b>Tabella 5.45.</b> Concentrazione superficiale di Th-232 (Bq/m <sup>2</sup> ) per gli strati 0-5 cm e 0-20 cm per ogni bersaglio	91
<b>Tabella 5.46.</b> Superficie totale (m <sup>2</sup> ), attività (per gli strati 0-5 cm e 0-20 cm) di Th-232 per ogni bersaglio (Bq) e per tutto il sito	91
<b>Tabella 5.47.</b> Superficie sommità (m <sup>2</sup> ), attività di Th-232 relativa agli strati 0-5 cm e 0-20 cm sulla sommità di ogni bersaglio (Bq)	92
<b>Tabella 5.48.</b> Superficie totale (m <sup>2</sup> ), attività di Th-232 relativa allo strato 0-5 cm (Bq), basata sulle misure di concentrazione superficiale misurate <i>in situ</i> per ogni bersaglio	93
<b>Tabella 5.49.</b> Concentrazione di U-234, U-235 ed U-238 (Bq/kg) e rapporto tra le concentrazioni di U-234 e U-238 per i bersagli 6, 7 e 8	93
<b>Tabella 5.50.</b> Concentrazione $\alpha$ totale e $\beta$ totale nei campioni di acqua di falda prelevati a monte ed a valle del poligono Cellina-Meduna	94
<b>Tabella 5.51.</b> Concentrazione di Th-228, Th-230 e Th-232 nei campioni di acqua di falda prelevati a monte ed a valle del poligono Cellina-Meduna	94
<b>Tabella 5.52.</b> Concentrazione $\alpha$ totale e $\beta$ totale in campioni di acqua potabile	95
 <b>Capitolo 6</b>	
<b>Tabella 6.1.</b> Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori Scenario A.1.1.1: Cumulo	98
<b>Tabella 6.2.</b> Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori Scenario A.1.1.3: Discarica	99
<b>Tabella 6.3.</b> Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato alle superfici bersaglio	99
<b>Tabella 6.4.</b> Concentrazione di Th-232 corrispondenti ai livelli di azione per i lavoratori Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato ai volumi bersaglio	100

<b>Tabella 6.5.</b> Dose efficace per i lavoratori, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio	100
<b>Tabella 6.6.</b> Dose efficace per i lavoratori, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato alle superfici bersaglio	101
<b>Tabella 6.7.</b> Dose efficace per i lavoratori, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio Scenario A.1.1.1: Cumulo rapportato ai volumi bersaglio	101
<b>Tabella 6.8.</b> Dose efficace per la popolazione, relativa alle concentrazioni massime di Th-232 misurate in ogni bersaglio	102

## 14. Allegati

**Allegato A**

**Ministero della Difesa  
Esercito Italiano  
Comando Militare Esercito “Friuli Venezia Giulia”**

***Poligono Cellina-Meduna  
Elementi di Informazione***



**MINISTERO DIFESA  
ESERCITO ITALIANO  
COMANDO MILITARE ESERCITO "FRIULI VENEZIA GIULIA"  
IL RAPPRESENTANTE DELL'A.D.**

Prot. n. MD\_E 24467/2551 cod. id. SLOG ind. Cl. 10.12.5.2 Trieste, 02 aprile 2014  
Allegati: 1

Oggetto: Caratterizzazione ambientale Poligono Cellina – Meduna. Punto di situazione alla data del 2 aprile 2014.

A (ELENCO INDIRIZZI IN ALLEGATO)

~~~~~

Seguito let. n. MD\_E 24467/9474/SLOG/10.12.5.2 in data 28 novembre 2013.

~~~~~

1. Con la lettera a seguito, lo scrivente aveva comunicato l'avvio, in data 25 novembre 2013, della caratterizzazione radiologica dell'area di interesse del poligono in oggetto da parte del personale tecnico di ARPA FVG.
2. Successivamente alla prefata data hanno avuto luogo diversi incontri presso il sito, cui hanno partecipato, sempre con la piena ed assoluta collaborazione fornita dal personale 132^ Brigata corazzata "Ariete", rappresentanti delle comunità locali e organi di stampa. Inoltre la problematica in oggetto è stata trattata anche quale punto all'ordine del giorno dell'ultima riunione COMIPAR FVG.
3. In particolare all'ultimo incontro presso il sito, tenutosi in data 17 marzo 2014, hanno partecipato, oltre al Comandante della citata Brigata e suoi collaboratori, anche rappresentanti di spicco della Regione Autonoma FVG (Assessore all'ambiente, Direttore servizio disciplinare gestione rifiuti siti inquinati), di ARPA FVG (Dirigente) e dei Comuni interessati (Sindaci). Tale attività è stata peraltro posta in risalto dagli organi di stampa locali.
4. Allo stato di fatto, dalle risultanze emerse dall'ultimo incontro e da elementi di informazione acquisiti, l'attività di campionatura e analisi radiologica condotte da ARPA FVG sono tuttora in corso e proseguiranno nell'immediato futuro.
5. Nel rammentare che la caratterizzazione ambientale è assolutamente vincolata dalle risultanze di quella radiologica, si chiede ad ARPA FVG di fornire elementi di informazione (esiti analisi) non appena noti.
6. Si fa riserva di inviare aggiornamenti di situazione una volta acquisiti, rimanendo a disposizione per eventuali, ulteriori chiarimenti in merito, precisando che la presente comunicazione è stata contestualmente inoltrata ai previsti Enti della Difesa, come da elenco indirizzi allegato, a mezzo sistemi di comunicazione in utilizzo in ambito A.D..

IL RAPPRESENTANTE DELL'A.D.  
Col. c. (cr.) Maurizio RICCIONI

Allegato alla let. n.  
in data

**ELENCO INDIRIZZI**

A	PREFETTO DI PORDENONE Via Borgo S. Antonio, 17	<u>PORDENONE</u>
	REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA Direzione centrale ambiente, energie e politiche per la montagna Servizio affari generali e amministrativi Via Giulia 75/1	<u>TRIESTE</u>
	PROVINCIA DI PORDENONE Largo S. Giorgio, 12	<u>PORDENONE</u>
	ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA Sede Provinciale di Pordenone Via delle Acque, 28	<u>PORDENONE</u>
	AZIENDA PER I SERVIZI SANITARI N. 6 FRIULI OCCIDENTALE Dipartimento per la prevenzione Via della Vecchia Ceramica, 1	<u>PORDENONE</u>
	SINDACO DEL COMUNE DI CORDENONS Piazza della Vittoria, 1	<u>CORDENONS</u>
	SINDACO DEL COMUNE DI S. GIORGIO DELLA RICHINVELDA Via Richinvelda, 15	<u>S. GIORGIO DELLA RICHINVELDA</u>
	SINDACO DEL COMUNE DI SAN QUIRINO Via Molino di Sotto, 41	<u>SAN QUIRINO</u>
	SINDACO DEL COMUNE DI VIVARO Piazza Umberto I, 4	<u>VIVARO</u>
e, per conoscenza:		
	STATO MAGGIORE DELLA DIFESA IV Reparto Logistica – Infrastrutture	<u>ROMA</u>
	STATO MAGGIORE DELL'ESERCITO Ufficio del Sottocapo di Stato Maggiore dell'Esercito	<u>ROMA</u>
	STATO MAGGIORE DELL'ESERCITO - I Reparto Affari Giuridici Ufficio Giuridico-Legale - III Reparto Impiego delle Forze e COE Ufficio Sicurezza e Informazioni Ufficio Informazioni - IV Reparto Logistico - V Reparto Affari Generali	<u>ROMA</u>

Segue Allegato

COMANDO LOGISTICO DELL'ESERCITO  
Dipartimento tecnico – Caserma E. Bianchi  
Via Nomentana, 274

ROMA

COMANDO MILITARE DELLA CAPITALE  
Via Slataper, 2

ROMA

ISPettorato delle Infrastrutture dell'Esercito  
Via Slataper, 2

ROMA

COMANDO DELLE FORZE OPERATIVE TERRESTRI  
Via del Minatore, 5

VERONA

REGIONE MILITARE NORD  
Corso Vinzaglio, 6

TORINO

COMANDO FORZE DI DIFESA INTERREGIONALE NORD  
Via Moro, 63

PADOVA

**POLIGONO CELLINA – MEDUNA**  
**ELEMENTI DI INFORMAZIONE**

1. **Materiali di fabbricazione del sistema d'arma controcarro MILAN e di eventuali altri sistemi d'arma/munizioni impiegati presso il poligono, con particolare riferimento alle sostanze pericolose quali metalli pesanti, amianto, radionuclidi e, ove disponibili, le quantità presenti per singolo elemento.**
  - a. **Generalità:**

Il sistema d'arma controcarri a media gittata MILAN è costituito da un lanciatore e un contenitore con missile (questi ultimi connessi meccanicamente ed elettricamente).  
Il contenitore è costituito da una custodia cilindrica in fibra di vetro che ha la funzione sia di contenitore per il trasporto sia di tubo di lancio del missile.  
Il missile invece è suddiviso in tre parti:
    - la sezione anteriore, costituita da ogiva, corpo e spoletta;
    - la sezione centrale, contenente il sistema d'impennaggio e il motore di volo, costituito da propellente solido;
    - la sezione posteriore, in cui trova alloggiamento l'elettronica di guida.
  - b. **Caratteristiche/proprietà del tracciatore.**

Per i lotti di munizionamento del sistema d'arma MILAN approvvigionati fino all'anno 1999, nella miscela comburente, di cui era costituito il motore di volo, era presente una modesta quantità (3,12 grammi) di torio naturale (essenzialmente ossido di torio) che era destinata ad originare l'emissione di radiazione infrarossa da parte del tracciatore notturno del sistema di guida del missile. In particolare, la composizione del tracciatore è di circa 24g e si compone come segue:
    - Torio: 3.12 g., ossia 13.01%;
    - Zirconia: 1.86 g., ossia 7.75%;
    - Cromato di bario: 9.93 g., ossia 14.38%;
    - Alluminio: 0.13 g., ossia 0.53%;
    - Zirconio: 8.96 g., ossia 37.33%.
2. **Quantità di missili MILAN sparati sui bersagli in forma complessiva e disaggregata per ogni singolo bersaglio.**

In considerazione del fatto che:

  - a. l'Esercito, negli ultimi 30 anni, ha subito diverse trasformazioni e ristrutturazioni che hanno comportato la chiusura di molti reparti che, a suo tempo, possono aver utilizzato il poligono anche per il lancio di missili MILAN, ma i cui archivi non sono più disponibili;
  - b. i documenti inerenti la quantità di missili impiegati dagli anni ottanta sino al 2004 (in particolare i verbali di bonifica delle attività a fuoco poste in essere oltre dieci anni fa) non sono interamente custoditi negli archivi di ogni Comando in quanto, in alcuni casi, sono stati distrutti in aderenza alle normative in vigore,

questo Comando Brigata ha provveduto, tuttavia, a contattare tutti i Comandi che, a vario titolo, hanno condotto le citate attività a fuoco, invitandoli formalmente a provvedere alla ricerca e alla raccolta, nell'ambito dei propri archivi, dei dati concernenti il numero dei missili MILAN a testa inerte impiegati dai reparti dipendenti (anche quelli sotto la propria dipendenza gerarchica negli anni scorsi) all'interno del poligono Cellina-Meduna durante tutto il periodo antecedente al 2004.

In tale quadro, dal confronto di tutta la documentazione attualmente in possesso a questo Comando, è emerso che all'interno del poligono Cellina-Meduna sono stati sparati complessivamente 308 missili MILAN, durante tutto il periodo antecedente al 2004. Tuttavia, questo Comando Brigata sta continuando le operazioni di ricerca e raccolta dei dati per i quali si riserva di comunicare eventuali ulteriori variazioni.

Non è possibile stimare la quantità in forma disaggregata per ogni singolo bersaglio in quanto ricentra nella discrezionalità del Direttore dell'esercitazione il quale, anche sul momento, può decidere su quale dei bersagli autorizzati dal regolamento del Poligono effettuare il tiro.
3. **Percentuale di successo nel colpire il bersaglio.**

La probabilità di colpire un bersaglio è pari al 98% per i bersagli compresi fra 250 metri e 2000 metri, come nel caso di fattispecie (a mente dell'Ordinanza Tecnica TER-60-1410-1029-14-01B001). La citata percentuale tende sensibilmente ad aumentare in considerazione del fatto che, prima di effettuare un

esercitazione a fuoco, tutto il personale interessato esegue un addestramento specifico e propedeutico utilizzando il simulatore del lanciatore MILAN.

4. **Ubicazione delle linee di tiro.**  
In aderenza alle disposizioni contenute sia all'interno dell'attuale "Regolamento d'uso del Poligono" sia nelle versioni precedenti, le lezioni di lancio dei missili filoguidati MILAN a testa inerte potevano essere effettuate da un'unica piazzola di lancio ubicata nel punto di coordinate 46° 01' 55,6" latitudine Nord - 12° 43' 57,1" longitudine Est, con un'unica direzione di lancio compresa tra 1150° e 1250°, contro i bersagli oggetto di studio e rilevazione.
5. **Esistenza di eventuali altri bersagli, oltre a quelli già indagati (da n.1 a 8), sui quali siano state sparate munizioni anticarro o altri tipi di munizioni.**  
Non esistono altri bersagli oltre a quelli già oggetto di studio.
6. **Eventuali attività addestrative che abbiano comportato l'uso o l'impatto di missili al di fuori dei bersagli.**  
Tutte le attività addestrative a fuoco inerenti l'impiego dei missili MILAN si sono svolte in aderenza alle disposizioni contenute nel "Regolamento d'uso del Poligono". Per quanto precede, ogni Direttore d'Esercitazione, responsabile di ogni singola attività addestrativa, era chiamato alla più scrupolosa applicazione delle normative in vigore e, in particolare, alla corretta posizione dei bersagli le cui coordinate sono esplicitate al precedente paragrafo n.4.
7. **Modalità di rimozione/bonifica della carcasse dei mezzi corazzati utilizzate come bersaglio e dei missili sparati e le loro destinazioni per lo smaltimento finale.**
  - a. **Bonifica/rimozione carcasse.**  
Le attività di bonifica e rimozione sono state condotte con le modalità di seguito specificate:
    - 1^ fase: bonifica delle carcasse oggetto di contaminazione a cura degli Organi Tecnici competenti di Forza Armata;
    - 2^ fase: rimozione delle citate carcasse, a cura Comando Brigata "Ariete", e successivo trasferimento delle stesse presso il Parco veicoli di Campalto (VE) per l'alienazione come rottame ferroso.
  - b. **Rimozione/smaltimento missili.**  
Di seguito il riepilogo delle procedure di rimozione e smaltimento dei missili MILAN, da porre in essere al termine di ogni attività addestrativa:
    - (1) accesso in zona bersaglio, consentito solo al personale autorizzato alla zona bersaglio;
    - (2) rimozione rottami e frammenti da parte degli operatori;
    - (3) raccolta e conservazione dei "rifiuti radioattivi".
    - (4) trasporto presso gli Organi Tecnici competenti di Forza Armata finalizzato allo smaltimento rifiuti.
8. **Eventuale esistenza di lotti di missili MILAN contenenti radionuclidi non utilizzati.**  
Tali informazioni non possono essere fornite in quanto l'accesso da parte di terzi a documenti riguardanti l'ubicazione e/o la consistenza dei lotti di munizionamento stoccati presso i depositi di F.A., rientra nella fattispecie dei documenti concernenti la sicurezza e la difesa nazionale sottratti all'accesso ai sensi dell'art. 1048 del DPR 90/2010.
9. **Modalità di svolgimento delle attività addestrative tutt'ora svolte all'interno e/o in prossimità delle aree contaminate che ospitavano i bersagli.**  
L'area in argomento è interdetta a qualsiasi attività addestrativa mediante la messa in opera di opportune recinzioni, al fine di garantire un adeguato margine di prevenzione e protezione ad ogni utilizzatore dell'area. Tuttavia, si precisa che l'area addestrativa del Cellina-Meduna si estende su una superficie di circa trentacinque chilometri quadrati, mentre la zona attualmente soggetta al monitoraggio ambientale è limitata a una porzione di alcune centinaia di metri quadri, ossia meno dell'uno per cento dell'intera dimensione del sito. Quest'ultima è stata fin da marzo dello scorso anno delimitata, per prudenza abbondantemente in eccesso, e interdetta alle attività addestrative che, nella rimanente parte del poligono, sono invece regolarmente proseguite.

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 15 marzo 2010, n. 90

Testo unico delle disposizioni regolamentari in materia di ordinamento militare, a norma dell'articolo 14 della legge 28 novembre 2005, n. 246. (10G0091)

Vigente al: 4-2-2014

SEZIONE IV  
CATEGORIE DI DOCUMENTI SOTTRATTI ALL'ACCESSO

Art. 1048

Documenti concernenti la sicurezza e la difesa nazionale e le relazioni internazionali

1. I documenti sottratti all'accesso ai sensi dell'articolo 24 comma 4, della legge, e dell'articolo 9 del decreto, in relazione all'interesse alla salvaguardia della sicurezza, della difesa nazionale e delle relazioni internazionali, per un periodo massimo di 50 anni, sono i seguenti:

- a) pianificazione attinente alla militarizzazione, pianificazione e capacita' logistica;
  - b) politica d'impiego delle Forze armate;
  - c) ricerca, sviluppo, pianificazione, programmazione, acquisizione, gestione e conservazione dei mezzi, delle armi, dei materiali e delle scorte;
  - d) pianificazione, programmazione, acquisizione, gestione e manutenzione, dismissione di infrastrutture e aree;
  - e) addestramento e formazione del personale militare;
  - f) difesa delle basi, sicurezza delle infrastrutture, protezione e custodia di armi, munizioni, esplosivi e materiali classificati;
  - g) relazioni tecniche sulle prove d'impiego dei materiali in sperimentazione: di cui all'elenco deliberato dal Consiglio dei Ministri della CEE in data 15 aprile 1958 per i quali **((si applica l'art. 346, par. 1-B, del Trattato sul funzionamento dell'Unione europea;))**
  - h) utilizzazione di risorse civili a fini militari, in situazioni di crisi o di emergenza;
  - i) organizzazione dei servizi e della vita di presidio, caserma, bordo, aeroporto;
  - l) rapporti informativi sugli aspiranti all'arruolamento nelle Forze armate e sul personale militare arruolato;
  - m) concessione d'autorizzazioni all'accesso a infrastrutture militari o d'interesse per la difesa nazionale;
  - n) dottrine d'impiego delle Forze;
  - o) esigenze e requisiti operativi;
  - p) direttive e piani operativi NATO e nazionali;
  - q) programmazione, pianificazione, condotta e analisi di attivita' operative-esercitazioni NATO e nazionali;
  - r) tabelle ordinarie organiche;
  - s) utenze telefoniche del personale preposto a particolari incarichi.
2. I documenti sottratti all'accesso, ai sensi del comma 1, per un periodo massimo a fianco di ciascuno indicato, sono i seguenti:

<http://www.normattiva.it/do/atto/export>

04/02/2014

3

\*\*\* NORMATTIVA - Stampa \*\*\*

Pagina 2 di 2

- a) pianificazione relativa all'impiego del personale militare: 1 anno;
- b) attivita' e documentazione, sia nazionale che NATO, alla quale e' stata conferita classifica di segretezza o di riservatezza, derivante da esigenze di sicurezza dello Stato o delle installazioni: fino alla scadenza del periodo di validita' dei provvedimenti operativi contenuti nella documentazione ovvero fino alla declassifica da parte dell'originatore, ove non specificatamente ovvero diversamente previsto dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri;
- c) attivita' e documentazione relativa a tutte le infrastrutture NATO e nazionali classificate: fino a quando la documentazione non venga abrogata o sostituita o finche' le infrastrutture non vengano dismesse operativamente;
- d) concessione di "nulla osta" di segretezza: 50 anni in relazione alla segretezza dell'informazione come definita dalla Autorita' nazionale per la sicurezza;
- e) accordi intergovernativi stipulati per la realizzazione di programmi militari di sviluppo, approvvigionamento ovvero supporto comune: 50 anni, limitatamente ai programmi o parte di essi da tutelare ai fini della sicurezza e comunque non oltre la vita operativa o durata dei materiali, dei sistemi d'arma o attivita' oggetto di accordo e sempre che non sia diversamente disposto nell'accordo stesso;
- f) attivita' preparatoria per le assegnazioni di bilancio: fino alla pubblicazione del bilancio e, comunque, 50 anni per le informazioni la cui conoscenza puo' pregiudicare la sicurezza nazionale.

**Allegato B**  
**Uranio depleto nei suoli**  
**ARPA Piemonte**

Prot. n° 31663

Ivrea, li 26/09/2014

Arpa FVG  
 Agenzia Regionale Protezione Ambiente  
 Via Cairoli 14  
 33057 Palmanova (UD)

c.a. Dott.ssa Concettina Giovani

**OGGETTO: Invio rapporti di prova analisi radioisotopi uranio in campioni di suolo (poligono militare Cellina-Meduna)**

Si inviano, allegati alla presente copia dei rapporti di prova inerenti le misure radiochimiche degli isotopi dell'uranio presenti nei campioni di suolo di cui all'oggetto. I risultati sono sintetizzati nella seguente tabella dove, accanto ai valori concentrazione di attività (Bq/kg), è riportato anche il valore del rapporto  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ .

n°campione/verbale	$^{234}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{235}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	Rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
14/010039 MISARPA 13-118B	53±4	3±1	51±4	1,037±0,102
14/010042 MISARPA 13-124A	46±6	6±2	52±7	0,894±0,167
14/010044 TOPOLSUOL-03-A	43±8	3±2	44±8	0,973±0,243

Come si vede, tenendo conto dell'incertezza, il rapporto isotopico non si discosta in modo significativo dal valore 1, tipico dell'uranio naturale. Nei suddetti campioni non c'è pertanto alcuna evidenza di contaminazione da uranio impoverito.

Restando a disposizione per eventuali chiarimenti, si porgono cordiali saluti.

Allegati:./

- n°3 rapporti di prova
- fattura

Il Responsabile del Dipartimento  
Tematico Radiazioni

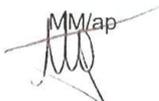
Dott. Giovanni d'Amore

La Resp. ... del

Dipartimento ... Radiazioni

Dott.ssa Laura Angioio



MM/ap  




**SC 21 - RADIAZIONI**

**SS 21.01 - RADIAZIONI IONIZZANTI**  
Laboratorio di VIA JERVIS 30 - 10015- IVREA (TO)

**RAPPORTO DI PROVA N. 2014/009569      Emesso il 09/04/2014**

**N° Campione:** 2014/010039

**Descrizione:** SUOLO E TERRENI

MISARPA 13-118B

**Committente:** ARPA - FRIULI VENEZIA GIULIA  
VIA CAIROLI 14 - 33057 PALMANOVA (UD)

**Prelevato da:** ARPA - FRIULI VENEZIA GIULIA  
VIA CAIROLI 14 33057 PALMANOVA (UD)

**Presso:** PRELIEVO TERRENO  
COLLINA ARTIFICIALE USATA COME BERSAGLIO DURANTE LE ESERCITAZIONI MILITARI.  
- 33084 CORDENONS (PN)

**Pervenuto il:** 18/02/2014      **Verbale/Riferimento:** 12560      **del:** 14/02/2014

**Prove iniziate il:** 18/02/2014      **Terminate il:** 18/02/2014

Il presente Rapporto di prova NON può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del laboratorio.  
I risultati riportati sul presente Rapporto di prova sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova.

N° Campione: 2014/010039

N° Rapporto di Prova: 2014/009569

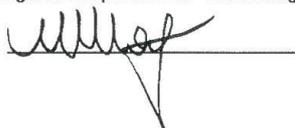
**PARAMETRI FISICI**

METODO/Parametro	Valore	Incertezza	U.M.	Recupero
ASTM INTERNATIONAL - DESIGNATION : C 1000 - 05 (U.RP.MA005)				
U-234	5,28E-2	3,7E-3	Bq/kg	N.A.
U-235	3,46E-3	6,7E-4	Bq/kg	N.A.
U-238	5,09E-2	3,5E-3	Bq/kg	N.A.

  
 \_\_\_\_\_

operatore sanitario esperto MAURA SANDRA GHIONE

Il Dirigente Responsabile: Mauro Magnoni

  
 \_\_\_\_\_

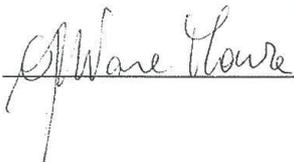
Ogni metodo di prova è identificato da un codice interno alfanumerico, riportato dopo la descrizione, quale riferimento al catalogo dell'Agenzia  
 La colonna recupero indica, per ogni parametro, il recupero (%) e se questo sia stato utilizzato nei calcoli (SI/NO).  
 La lettera E nella colonna del risultato analitico, se presente, indica un valore espresso in notazione esponenziale, e va inteso come il prodotto del numero riportato per 10 elevato alla potenza rappresentata dal numero indicato dopo la E.  
 N.D.: non determinato  
 N.A.: non applicabile

N° Campione: 2014/010042

N° Rapporto di Prova: 2014/009570

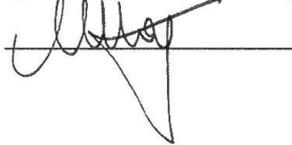
**PARAMETRI FISICI**

METODO/Parametro	Valore	Incertezza	U.M.	Recupero
ASTM INTERNATIONAL - DESIGNATION : C 1000 – 05 (U.RP.MA005)				
U-234	4,64E-2	6,3E-3	Bq/kg	N.A.
U-235	5,79E-3	1,94E-3	Bq/kg	N.A.
U-238	5,19E-2	6,7E-3	Bq/kg	N.A.



operatore sanitario esperto MAURA SANDRA GHIONE

Il Dirigente Responsabile: Mauro Magnoni



Ogni metodo di prova è identificato da un codice interno alfanumerico, riportato dopo la descrizione, quale riferimento al catalogo dell'Agenzia  
 La colonna recupero indica, per ogni parametro, il recupero (%) e se questo sia stato utilizzato nei calcoli (SI/NO).  
 La lettera E nella colonna del risultato analitico, se presente, indica un valore espresso in notazione esponenziale, e va inteso come il prodotto del numero riportato per 10 elevato alla potenza rappresentata dal numero indicato dopo la E.  
 N.D.: non determinato  
 N.A.: non applicabile



SC 21 - RADIAZIONI

SS 21.01 - RADIAZIONI IONIZZANTI  
Laboratorio di VIA JERVIS 30 - 10015 IVREA (TO)

**RAPPORTO DI PROVA N. 2014/009571 Emesso il 09/04/2014**

**N° Campione:** 2014/010044

**Descrizione:** SUOLO E TERRENI

TOPOLSUO-03-A

**Committente:** ARPA - FRIULI VENEZIA GIULIA  
VIA CAIROLI 14 - 33057 PALMANOVA (UD)

**Prelevato da:** ARPA - FRIULI VENEZIA GIULIA  
VIA CAIROLI 14 33057 PALMANOVA (UD)

**Presso:** PRELIEVO TERRENO  
COLLINA ARTIFICIALE USATA COME BERSAGLIO DURANTE LE ESERCITAZIONI MILITARI.  
- 33084 CORDENONS (PN)

**Pervenuto il:** 18/02/2014      **Verbale/Riferimento:** 12560      **del:** 14/02/2014

**Prove iniziate il:** 28/03/2014      **Terminate il:** 08/04/2014

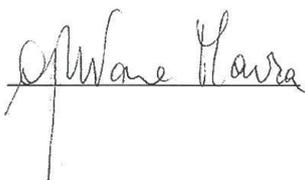
Il presente Rapporto di prova NON può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del laboratorio.  
I risultati riportati sul presente Rapporto di prova sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova.

N° Campione: 2014/010044

N° Rapporto di Prova: 2014/009571

**PARAMETRI FISICI**

METODO/Parametro	Valore	Incertezza	U.M.	Recupero
ASTM INTERNATIONAL - DESIGNATION : C 1000 - 05 (U.RP.MA005)				
U-234	4,30E-2	7,7E-3	Bq/kg	N.A.
U-235	2,70E-3	2,46E-3	Bq/kg	N.A.
U-238	4,42E-2	7,7E-3	Bq/kg	N.A.



operatore sanitario esperto MAURA SANDRA GHIONE

Il Dirigente Responsabile: Mauro Magnoni



Ogni metodo di prova è identificato da un codice interno alfanumerico, riportato dopo la descrizione, quale riferimento al catalogo dell'Agenzia  
 La colonna recupero indica, per ogni parametro, il recupero (%) e se questo sia stato utilizzato nei calcoli (SI/NO).  
 La lettera E nella colonna del risultato analitico, se presente, indica un valore espresso in notazione esponenziale, e va inteso come il prodotto del numero riportato per 10 elevato alla potenza rappresentata dal numero indicato dopo la E.  
 N.D.: non determinato  
 N.A.: non applicabile

## **Allegato C**

**$\alpha$  e  $\beta$  totale e Torio  
nelle acque di falda  
ARPA Lombardia**

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0355.01 **del:** 11/07/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine

**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** PL22051401-22/05/14 **Data di prelievo:** 22/05/2014 10.50

**Località di prelievo:** CORDENONS (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0355.01 **del:** 04/06/2014

**Data di inizio analisi:** 09/06/2014

**Data di fine analisi:** 11/07/2014

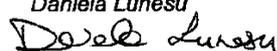
**Campionamento a cura di:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dipartimento Provinciale di Pordenone (Richiedente)

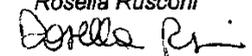
**Descrizione del campione:** Acqua di falda non potabile  
Acqua profonda di piezometro P1 (a monte discarica Crovoleit, comune di Cordenons)

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,024	± 0,010	Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
Attività beta totale	< 0,056		Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
TH-228	< 0,00018		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-230	< 0,00022		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-232	< 0,000083		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha$ (errore prima specie) =  $\beta$ (errore seconda specie) = 0,05.

L'analista  
Daniela Lunese  


Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi  


Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

## RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0356.01 **del:** 11/07/14

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine

**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** PL22051402 - **Data di prelievo:** 22/05/14 12.15  
22/05/1

**Località di prelievo:** CORDENONS (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0356.01 **del:** 04/06/14

**Data di inizio analisi:** 09/06/14

**Data di fine analisi:** 11/07/14

**Campionamento a cura di:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dipartimento Provinciale di Pordenone (Richiedente)

**Descrizione del campione:** Acqua di falda non potabile.  
Acqua profonda di piezometro P2 (a valle discarica Crovoleit, comune di Cordenons)

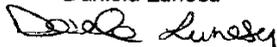
## RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	< 0,014		Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
Attività beta totale	< 0,049		Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
TH-228	< 0,00025		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-230	< 0,00032		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-232	< 0,00015		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0

La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha(\text{errore prima specie}) = \beta(\text{errore seconda specie}) = 0,05$ .

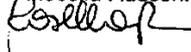
L'analista

Daniela Lunesu



Il responsabile della misura

Rosella Rusconi



Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rosellini, 17 - 20124 Milano - tel. 02.69666.1 fax 02.69666.247

pagina 1 di 1

**RAPPORTO DI PROVA**

**Numero rapporto:** RP.2014.0357.01 **del:** 11/07/14

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** VP27051401- **Data di prelievo:** 27/05/14 15.05  
27/05/14

**Località di prelievo:** MONTEREALE VALCELLINA (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0357.01 **del:** 04/06/14

**Data di inizio analisi:** 09/06/14  
**Data di fine analisi:** 11/07/14

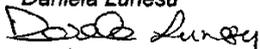
**Campionamento a cura di:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dipartimento Provinciale di Pordenone (Richiedente)

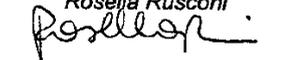
**Descrizione del campione:** Acqua di falda non potabile.  
Acqua profonda di falda Pozzo PMAS PN6009 prelievo effettuato c/o abitazione in via Pordenone n. 17, loc. San Leonardo, Montereale Valcellina (PN)

**RISULTATI ANALITICI**

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,032	± 0,011	Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
Attività beta totale	< 0,049		Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
TH-228	< 0,00015		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-230	< 0,00022		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-232	< 0,00011		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha(\text{errore prima specie}) = \beta(\text{errore seconda specie}) = 0,05$ .

L'analista  
Daniela Luney  


Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi  


*Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.*

**RAPPORTO DI PROVA**

**Numero rapporto:** RP.2014.0358.01 **del:** 11/07/14

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** ~~VP27051402 -~~ **Data di prelievo:** 27/05/14 14.30  
27/05/14

**Località di prelievo:** VIVARO (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0358.01 **del:** 04/06/14

**Data di inizio analisi:** 09/06/14  
**Data di fine analisi:** 11/07/14

**Campionamento a cura di:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dipartimento Provinciale di Pordenone (Richiedente)

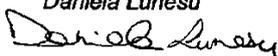
**Descrizione del campione:** Acqua di falda non potabile.  
Acqua profonda di falda Pozzo PMAS PN6023 prelievo effettuato c/o Agriturismo da Gelindo, via Stradatta, Vivaro (PN)

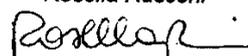
**RISULTATI ANALITICI**

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,024	± 0,010	Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
Attività beta totale	< 0,049		Bq/kg	MT.M1.508 2010 rev 3
TH-228	< 0,00012		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-230	< 0,00021		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0
TH-232	< 0,000082		Bq/kg	MT.M1.529 2008 rev 0

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).

La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha(\text{errore prima specie}) = \beta(\text{errore seconda specie}) = 0,05$ .

L'analista  
Daniela Lunesu  


Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi  


*Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.*

## **Allegato D**

**$\alpha$  e  $\beta$  totale  
nelle acque potabili  
ARPA Lombardia**



**ARPA** LOMBARDIA  
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Sede - Milano, viale A. Volta 15  
Agenti Fisici e Radioprotettisti  
Centro Regionale Radioprotezione - Sede di Milano  
Via Filippo Juvara, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/74672.1 - Fax: 02/70124857



LAB N° 1324

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0278.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)  
**Verbale di prelievo:** 19714 **Data di prelievo:** 02/04/2014 9.16  
**Località di prelievo:** SAN GIORGIO DELLA RICHIINVELDA (PN)  
**Codice di registrazione:** 2014.0278.01 **del:** 06/05/2014  
**Data di inizio analisi:** 09/05/2014  
**Data di fine analisi:** 20/05/2014  
**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)  
**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Pozzo Loc. Rauscedo c/o acquedotto Rauscedo Domanins

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,031	$\pm 0,011$	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha(\text{errore prima specie}) = \beta(\text{errore seconda specie}) = 0,05$ .

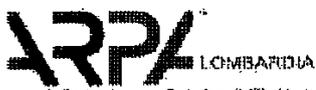
L'analista  
Daniela Lunese

Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Nieolini, 17 - 20124 Milano - tel. 02.69566.1 fax 02.69666.247

pagina 1 di 1



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Servizi Monitoraggi Ambientali  
Agend. Fisi e Radiorivelazione

Centro Regionale Radioprotezione - Sede di Milano  
Via Filippo Juvara, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/74872.1 - Fax: 02/70124657



LAB N° 2324

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0279.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** 20/14 **Data di prelievo:** 03/04/2014  
**Località di prelievo:** MONTEREALE VALCELLINA (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0279.01 **del:** 08/05/2014  
**Data di inizio analisi:** 09/05/2014  
**Data di fine analisi:** 20/05/2014

**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)

**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Pozzo Loc. San Leonardo c/o acquedotto San Quirino

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,031	$\pm 0,011$	Bq/kg	UNI 11280:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11280:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha$ (errore prima specie) =  $\beta$ (errore seconda specie) = 0,05.

L'analista  
Daniela Lunese

Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rosellini, 17 - 20124 Milano - tel. 02.69566.1 fax 02.69566.247

pagina 1 di 1



ARPA LOMBARDIA  
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Sede Interregionali Ambientali  
Ag. di Kyoto e Radioprotezione

Centro Regionale Radioprotezione - Sede di Milano  
Via Filippo Juvara, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/74872.1 - Fax: 02/74124857



LAB N° 1324

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0280.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** 21/14 **Data di prelievo:** 03/04/2014

**Località di prelievo:** CORDENONS (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0280.01 **del:** 08/05/2014

**Data di inizio analisi:** 12/05/2014  
**Data di fine analisi:** 20/05/2014

**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)

**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Pozzo via San Giovanni c/o acquedotto Cordenons

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,028	± 0,011	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha(\text{errore prima specie}) = \beta(\text{errore seconda specie}) = 0,05$ .

L'analista  
Daniela Lunese

Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rossetti, 17 - 20124 Milano - tel. 02.68666.1 fax 02.68666.247

pagina 1 di 1



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Settore Monitoraggio Ambientale  
Fasce di Rischio e Radiazione

Centro Regionale Radioprotezione - Sede di Milano  
Via Filippo Juvara, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/74872.1 - Fax: 02/70124867



LAB N° 1324

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0281.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)  
**Verbale di prelievo:** 112 **Data di prelievo:** 02/04/2014 9.00  
**Località di prelievo:** SAN MARTINO AL TAGLIAMENTO (PN)  
**Codice di registrazione:** 2014.0281.01 **del:** 08/05/2014  
**Data di inizio analisi:** 12/05/2014  
**Data di fine analisi:** 22/05/2014  
**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)  
**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Centrale Pozzi c/o via San Giorgio

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,0180	± 0,0093	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha$ (errore prima specie) =  $\beta$ (errore seconda specie) = 0,05.

L'analista

Daniela Lunese

Il responsabile della misura

Rosella Rusconi

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rosellini, 17 - 20124 Milano - tel. 02.69666.1 fax 02.69666.247

pagina 1 di 1

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0282.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** 114 **Data di prelievo:** 02/04/2014 10:15  
**Località di prelievo:** AZZANO DECIMO (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0282.01 **del:** 08/05/2014  
**Data di inizio analisi:** 16/05/2014  
**Data di fine analisi:** 23/05/2014

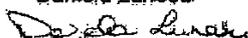
**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)

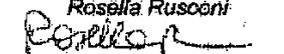
**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Pozzo Loc. Corva c/o Acquedotto Basso Liverza

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,023	$\pm 0,010$	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rilevabile è calcolata assumendo  $\alpha$ (errore prima specie) =  $\beta$ (errore seconda specie) = 0,05.

L'analista  
Daniela Lunosu  


Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi  


Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Settore Monitoraggi Ambientali  
Ag. F. F. F. e Radionucleidi

Centro Regionale Radionucleidi - Sede di Milano  
Via Filippo Turati, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/74372.1 - Fax: 02/73124857



LAB N° 4324

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0283.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** 116 **Data di prelievo:** 02/04/2014 10.40

**Località di prelievo:** FIUME VENETO (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0283.01 **del:** 08/05/2014

**Data di inizio analisi:** 15/05/2014  
**Data di fine analisi:** 23/05/2014

**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)

**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Centrale pozzo Loc. Braida c/o acquedotto Basso Livenza

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,036	± 0,012	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha$ (errore prima specie) =  $\beta$ (errore seconda specie) = 0,05.

L'analista  
Daniela Lunese

Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rosellini, 17 - 20124 Milano - tel. 02.69666.1 fax 02.69666.247

pagina 1 di 1



Agente Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Sezione Monitoraggio Ambientale  
Agente Fisico Radioterapeutico

Centro Regionale Radioprotezione - Sede di Milano  
Via Filippo Juvara, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/74872.1 - Fax: 02/70124657



LAE n° 2324

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0284.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** 117 **Data di prelievo:** 02/04/2014 9.20  
**Località di prelievo:** ZOPPOLA (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0284.01 **del:** 08/05/2014  
**Data di inizio analisi:** 20/05/2014  
**Data di fine analisi:** 26/05/2014

**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 8 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)  
**Descrizione del campione:** Acque potabile di acquedotto  
Prelievo effettuato c/o abitazione privata (Sig. Papais) - via Casello Loc. Muris

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,036	± 0,012	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha$ (errore prima specie) =  $\beta$ (errore seconda specie) = 0,05.

L'analista  
Daniela Lunese

Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rosellini, 17 - 20124 Milano - tel. 02 6666.1 fax 02.6986.247

pagina 1 di 1



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente  
Salute e Benessere Ambientale  
Agente Friuli Radioprotezione

Centro Regionale Radioprotezione - Sede di Milano  
Via Filippo Juvara, 22 - 20129 Milano  
Tel: 02/744872 - Fax: 02/70124857



LAB N° 1334

### RAPPORTO DI PROVA

**Numero rapporto:** RP.2014.0285.01 **del:** 26/05/2014

**Richiedente:** ARPA Friuli Venezia Giulia - Dip. Udine  
**Indirizzo:** Via Tavagnacco, 91 - 33100 Udine (UD)

**Verbale di prelievo:** 118 **Data di prelievo:** 02/04/2014 9.50  
**Località di prelievo:** ZOPPOLA (PN)

**Codice di registrazione:** 2014.0285.01 **del:** 08/05/2014  
**Data di inizio analisi:** 20/05/2014  
**Data di fine analisi:** 26/05/2014

**Campionamento a cura di:** Azienda per i Servizi Sanitari n. 6 - Udine Friuli Occidentale - Dip. di Prevenzione (N.A.)

**Descrizione del campione:** Acqua potabile di acquedotto  
Prelievo effettuato c/o fontana pubblica - Via Casello

### RISULTATI ANALITICI

Parametro	Attività	Incertezza estesa	Unità di Misura	Metodo di prova
Attività alfa totale	0,052	± 0,014	Bq/kg	UNI 11260:2008
Attività beta totale	< 0,052		Bq/kg	UNI 11260:2008

L'incertezza è espressa utilizzando il fattore di copertura  $k=2$  (livello di fiducia pari circa al 95%).  
La minima attività rivelabile è calcolata assumendo  $\alpha(\text{errore prima specie}) = \beta(\text{errore seconda specie}) = 0,05$ .

L'analista  
Daniela Lunesi  
*Daniela Lunesi*

Il responsabile della misura  
Rosella Rusconi  
*Rosella Rusconi*

Il risultato della prova si riferisce esclusivamente al campione analizzato. Questo rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente senza l'autorizzazione scritta dell'ente che lo ha emesso.

Sede Centrale: Via Ippolito Rossetti, 17 - 20124 Milano - tel. 02.89886.1 fax 02.89886.247

pagina 1 di 1

**Allegato E**

**Ministero della Salute  
Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare  
PARERE n. 10 del 19/11/2012**

***Parere sul rischio legato alla presenza di torio in matrici alimentari***



# Ministero della Salute

## COMITATO NAZIONALE PER LA SICUREZZA ALIMENTARE

### PARERE N. 10 DEL 19/11/2012

#### *Parere sul rischio legato alla presenza di torio in matrici alimentari*

**Vista** la richiesta di parere scientifico della Regione autonoma della Sardegna del 7.10.2011, prot. n.022799, illustrata dall'Ufficio II ex-SNVR della Direzione generale degli organi collegiali per la tutela della salute nel corso della riunione del Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare del 14/12/2011, con la quale è stato richiesto un parere in merito alla presenza di torio in campioni di prodotti di origine animale raccolti nel territorio delle Province di Cagliari e dell'Ogliastra;

**Vista** l'integrazione alla documentazione trasmessa con nota del 4.11.2011, prot. n. 0025107, della Regione Sardegna - in risposta alla richiesta del Ministero della salute, Direzione generale degli organi collegiali per la tutela della salute (DGOCTS), prot. n. 510-P, del 19.10.2011- con cui è stata evidenziata la presenza di alcuni metalli nel suolo e la loro capacità di passare nella catena alimentare;

**Vista** la nota prot. n. 602 del 30.12. 2011, con cui la DGOCTS, in ottemperanza a quanto deliberato dal Comitato nazionale per la sicurezza alimentare nella riunione del 14 dicembre 2011, ha invitato la Regione Sardegna a fornire ulteriori informazioni su:

- metodi analitici impiegati per la ricerca del torio;
- risultati del Piano nazionale residui (PNR) e di eventuali controlli extrapiano con riferimento ai radionuclidi ed in particolare al torio;
- criteri di scelta delle zone di controllo;
- eventuali risultati ottenuti da controlli condotti sulle carni degli animali testati, anche di specie diverse dagli ovi-caprini;
- riferimenti meteo-climatici della zona interessata, con particolare riguardo alla direzione ed ai movimenti dei venti;

ed ha altresì chiesto:

- se i metodi analitici impiegati per la ricerca del torio siano conformi a quelli impiegati dal centro di riferimento nazionale per la radioattività (IZS Puglia e Basilicata) ovvero se tali metodi risultino comunque accreditati;
- se siano individuabili le fonti di contaminazione da torio nelle zone interessate;

**Vista** l'integrazione alla documentazione inviata dalla Regione Sardegna con nota prot. n. 0018070 del 12- 07- 2012, esaminata nella seduta del CNSA del 17 settembre 2012;

**Esaminato** il documento Programma di monitoraggio ambientale del Poligono Interforze del Salto di Quirra (PISQ) "stato di avanzamento delle attività dell'ARPAS nella supervisione del programma di monitoraggio ambientale del PISQ" (ARPAS - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna - febbraio 2012).

**Esaminato** il “Database\_dati matrici biologiche\_elaborazioni\_organismi\_animali\_RAS\_Torio” disponibile nella documentazione inviata dalla Regione Sardegna;

**Considerato** il documento “Toxicological Profile for Thorium” dell’Agenzia Statunitense “Agency for Toxic Substances and Disease Registry” dell’U.S. Public Health Service (ottobre 1990);

**Considerato** il documento “Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas. Argonne National Laboratory-Environmental Science Division e U.S. Department of Energy-Richland Operations Office, 2007” disponibile sul sito “www.evs.anl.gov/pub/doc/ANL\_ContaminantFactSheets\_All\_070418.pdf” che definisce standard internazionalmente accettati per stimare il rischio cancerogeno per l’esposizione per il tempo vita a radionuclidi;

**Considerato** il database sui consumi alimentari per fascia di età e per tipologia di alimento dell’Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) “The EFSA Comprehensive European Food Consumption Database” disponibile sul sito “www.efsa.europa.eu”;

**Considerata** la relazione “Trasferimento di torio alle catene alimentari: valutazione dei possibili rischi”, elaborata dal gruppo di lavoro istituito nella seduta del 8 novembre 2011, composto dal Dott. Alberto Mantovani e dal Dott. Leonello Attias, che si allega al presente parere quale parte integrante dello stesso;

#### Il Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare:

#### **RITIENE**

che sulla base di una stima cautelativa del rischio cancerogeno associato al consumo di vari alimenti prodotti in loco, è improbabile un incremento apprezzabile del rischio cancerogeno dovuto ad un consumo anche elevato e prolungato di tali alimenti; inoltre, per alcuni alimenti per cui è stato possibile effettuare una valutazione comparativa, i dati non mostrano un evidente incremento rispetto ad un’area considerata come non esposta;

che i dati disponibili, pur rappresentando componenti plausibilmente importanti dell’alimentazione locale nonché validi indicatori/accumulatori del Torio ambientale, non consentono ancora una valutazione esaustiva dell’esposizione alimentare umana al radionuclide;

#### **RACCOMANDA**

Alla Regione Sardegna di effettuare ulteriori campionamenti sulla presenza di Torio in:

- una più ampia varietà di alimenti umani di origine animale e vegetale prodotti in loco (aree a rischio e controllo)
- altri organismi eduli, oltre i mitili, da acque costiere a diversa distanza dalle aree a rischio, allo scopo di ottenere una valutazione basata su dati più accurati e con minori margini di incertezza,

#### **AUSPICA**

il perdurare della vigilanza sulle matrici alimentari prodotte in loco considerando la possibile presenza di forti consumatori di determinati alimenti e i potenziali effetti cancerogeni del torio;

la valutazione dell'opportunità di effettuare una stima dell'esposizione aggregata, considerando sia l'esposizione attraverso l'aria sia l'esposizione del bambino tramite il suolo.

IL SEGRETARIO  
Direttore dell'Ufficio IV ex- SNVR

IL PRESIDENTE DEL CNSA  
Prof. Ferdinando Romano

VISTO  
IL DIRETTORE GENERALE DGOCTS  
Dr. Giuseppe Viggiano

## Trasferimento di torio alle catene alimentari: valutazione dei possibili rischi

Leonello Attias, CNCS, Istituto Superiore di Sanità  
Alberto Mantovani Dip. SPVSA, Istituto Superiore di Sanità

### ***Il torio: diffusione, destino ambientale, scenari di esposizione umana***

Il torio (Th) si trova in natura in quattro forme isotopiche, Th-228, Th-230, Th-232 e Th-234. Di queste, il Th-230 e -234 sono prodotti di decadimento naturale dell'uranio-238 mentre il Th-232 è l'isotopo più comune per emissioni di origine antropica; il Th-228 è il prodotto di decadimento del Th-232. Tra i vari isotopi il Th-234, ha breve emivita (24,1 giorni), mentre il Th-232 è l'isotopo con un'emivita significativamente più elevata degli altri ( $1,4 \times 10^{10}$  anni).

Il Th è ubiquitario nell'ambiente. I rilasci di Th in atmosfera possono essere di origine naturale e antropica. In quest'ultimo caso si possono produrre concentrazioni in aria molto più elevate del "fondo" naturale. E' possibile anche l'emissione di livelli elevati di toron, prodotto di decadimento del Th.

Il Th-230 è stato rilevato nell'aria nella polvere originata durante i processi di lavorazione dei minerali di uranio e in particolare nelle aree destinate alla frantumazione dei minerali.

I sottoprodotti ottenuti durante la lavorazione dei minerali dello stagno contengono normalmente Th-232; pertanto le attività che implicano un'intensa lavorazione dello stagno possono costituire una significativa fonte di emissione atmosferica di Th. Sempre il Th-232 -come già detto, l'isotopo più comune- è utilizzato nei missili MILAN.

La rimozione atmosferica del Th è legata ai meccanismi di deposizione secca e umida. Il tasso di deposizione dipende dalle condizioni meteorologiche, dalle dimensioni e dalla densità delle particelle e dalla forma chimica (legame con altre molecole) del Th. Il fenomeno della deposizione può portare ad un' aumentata presenza di Th sulla superficie di vegetali edibili e piante da pascolo. Tuttavia, le evidenze scientifiche disponibili indicano che il Th rilasciato al suolo ha bassa mobilità. In particolare, i composti del Th non volatilizzano dal suolo umido o secco o dalla superficie dell'acqua. In acqua, gli ioni di Th solubili idrolizzano a pH 5 o superiore per formare Th(OH)<sub>4</sub> precipitato o complessi idrossilici quali Th(OH)<sub>2</sub>(2+), Th<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(6), Th<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>(+7). Valori di K<sub>d</sub> per i composti di Th vanno da moderati a alti, indicando l'elevata possibilità di adsorbimento a solidi sospesi e sedimenti.

Un fattore di bioconcentrazione (BCF) di 465 è stato riportato per la trota iridea; anche se tale valore non raggiunge i livelli critici dei contaminanti bioaccumulabili (> 2000), e pur considerando che si tratta di un singolo studio e che non vi sono informazioni sulla eventuale biomagnificazione (bioaccumulo nelle catene alimentari), si tratta comunque di un dato da non trascurare. Infatti, un BCF di 465 indica un'elevata bioconcentrazione negli organismi acquatici; pertanto una immissione di Th in ecosistemi acquatici potrebbe portare ad un'aumentata esposizione degli organismi eduli.

Le informazioni relative all'esposizione umana a Th sono limitate, anche perché non risultano esservi raccolte di dati sistematiche. A parte la potenziale esposizione lavorativa o residenziale (residenza in un sito a contatto diretto con una fonte di emissione) la popolazione generale può essere esposta al Th principalmente per ingestione di prodotti alimentari. I dati di monitoraggio disponibili indicano anche l'importanza dell'esposizione aggregata, con il concorso dell'ingestione di acqua potabile e dell'esposizione attraverso l'aria, tuttavia queste vie sono considerate generalmente meno rilevanti rispetto all'assunzione alimentare. Potrebbe essere opportuno effettuare una valutazione dell'eventuale esposizione (ingestione, inalazione, contatto) attraverso il suolo poiché questa potrebbe avere una qualche importanza in taluni scenari espositivi (ad es., comunità rurali, campi giochi), soprattutto per i bambini.

### ***Potenziali effetti sulla salute***

Nel 2008 l'Authority Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA-Panel Contaminanti) ha effettuato una sistematica valutazione del rischio per l'uranio, con particolare riguardo a i) gli effetti tossici non associati alla radioattività, ii) la possibile esposizione attraverso le acque minerali. Ad oggi, nessun documento EFSA tratta della valutazione del Th.

Sul Th è disponibile un sintetico ma esaustivo documento U.S.A. (*Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas*. Argonne National Laboratory-Environmental Science Division e U.S. Department of Energy-Richland Operations Office, 2007).

I rischi per la salute da esposizione a Th sono associate essenzialmente alla radioattività ed al conseguente rischio cancerogeno, nonché al deposito nei diversi distretti dell'organismo: in particolare, il deposito di Th è massimo nel tessuto osseo, che pertanto risulterebbe il distretto più a rischio, seguito da alcuni parenchimi (rene, fegato, cervello).

Il documento definisce dei parametri-guida per la valutazione del rischio cancerogeno, sotto forma di coefficienti di rischio radiologico (*Radiological Risk Coefficients*, RRC) per diversi isotopi. Gli RRC esprimono il rischio di mortalità per tumore nel tempo di vita per la popolazione esposta a 1 pCi.

***Valutazione del potenziale rischio nello scenario espositivo associato alla contaminazione da Torio nell'area campionata sud-est della Sardegna***

Come riferimento è stato preso in considerazione il "Database\_dati matrici biologiche\_elaborazioni\_organismi\_animali\_RAS\_Torio" disponibile nella documentazione inviata dalla Regione Sardegna.

I valori relativi alla presenza di Th in alcune matrici alimentari sono stati considerati ai fini dell'elaborazione di scenari di esposizione *realisticamente conservativi* per ottenere una *stima cautelativa* del rischio per la salute umana.

In particolare gli alimenti per i quali sono disponibili informazioni quantitative sui livelli di concentrazione sono stati considerati come rappresentativi delle loro rispettive categorie alimentari. Ad esempio i dati sugli ovini e bovini presenti sul database e riferiti a concentrazioni di torio nel fegato, milza, rene, polmone cervello e tibia, sono stati considerati rappresentativi anche per l'esposizione legata al consumo di carne. I dati sul formaggio sono stati presi in considerazione per caratterizzare l'esposizione legata al consumo di latticini e prodotti caseari mentre le concentrazioni nei mitili sono state prese come riferimento per il consumo generale di prodotti ittici.

Inoltre anche se mancano dati su alimenti vegetali di rilevanza per il consumo alimentare coltivati nelle aree a rischio, le concentrazioni di torio nel cardo, nel cisto e nel corbezzolo sono state considerate rappresentative per i vegetali..

Gli alimenti considerati, per quanto rappresentino la dieta della popolazione generale in maniera molto parziale, rappresentano tuttavia sia componenti plausibilmente importanti dell'alimentazione locale sia validi indicatori/accumulatori del Th ambientale; pertanto, la valutazione effettuata fornisce un quadro parziale, ma rilevante, di un eventuale incremento di esposizione umana nelle aree esposte. Inoltre, gli alimenti considerati rappresentano plausibilmente componenti maggiormente contaminate nell'ambito delle rispettive categorie; pertanto l'identificazione dell'intera categoria con lo/gli specifico/i alimento/i contribuisce all'approccio cautelativo adottato per la stima del rischio. L'analisi statistica dei livelli di Th rilevati nelle aree sottoposte a controllo (escluso il "bianco") è riportata nella Tabella 1:

Tabella 1.

	Formaggio liofilizzato	Miele tal quale	Funghi	Vegetali	Vegetali Bianco	Ovini /bovini liofil.	Ovini /bovini liofil. Bianco	Mitili
<b>media</b>	0.351	0.408	1.279	0.405	0.656	0.436	0.452	0.420
<b>max</b>	0.997	1.256	2.228	1.224	2.145	2.047	1.321	0.846
<b>min</b>	0.264	0.252	0.283	0.261	0.261	0.240	0.279	0.295
<b>50P</b>	0.291	0.284	1.615	0.295	0.290	0.294	0.320	0.299
<b>95P</b>	0.627	1.158	2.175	1.017	1.775	1.140	1.030	0.836

Il 50° percentile dei valori di concentrazione rilevati è stato ritenuto sufficientemente conservativo in considerazione della numerosità dei campioni. Inoltre i valori al di sotto del limite di rilevabilità sono stati considerati pari a tale limite. E' importante sottolineare che per alcune matrici alimentari i valori di concentrazione sono stati rilevati su campioni liofilizzati e pertanto tali valori potrebbero essere stati sovrastimati.

- Per la stima dell'esposizione sono stati considerati i valori di consumo giornaliero riportati per l'Italia nel "European Food Consumption Database" dell'EFSA. Ai fini di una stima cautelativa dell'esposizione per il tempo di vita (70 anni) sono stati presi i valori relativi al 50° percentile di consumo giornaliero dei consumatori delle rispettive categorie di alimenti divisi per fasce di età (bambini 0-10 anni, 25 kg, adolescenti 11-16 anni, 40 kg e adulti 17-70 anni, 60 kg).
- I livelli di esposizione derivati sono stati convertiti in nCi mediante la seguente relazione: 110 nCi = 1000 mg/kg (ATSDR, 1990) e sono stati confrontati con il valore di RRC per l'isotopo Th232 (v. Figura 1) che è presente in natura ed è utilizzato come tracciante dei missili MILAN nelle esercitazioni militari.

Figura 1.

<b>Radiological Risk Coefficients</b>		
<i>This table provides selected risk coefficients for inhalation and ingestion. Recommended default absorption types were used for inhalation, and dietary values were used for ingestion. These values include the contributions from the short-lived thorium decay products. Risks are for lifetime cancer mortality per unit intake (picocurie, pCi), averaged over all ages and both genders (10<sup>9</sup> is a billionth, and 10<sup>12</sup> is a trillionth). Other values, including for morbidity, are also available.</i>		
Isotope	Lifetime Cancer Mortality Risk	
	Inhalation (pCi <sup>-1</sup> )	Ingestion (pCi <sup>-1</sup> )
Th-229	2.2 × 10 <sup>-7</sup>	4.7 × 10 <sup>-10</sup>
Th-230	2.7 × 10 <sup>-8</sup>	8.0 × 10 <sup>-11</sup>
Th-232	4.1 × 10 <sup>-8</sup>	9.1 × 10 <sup>-11</sup>
<i>For more information, see the companion fact sheet on Radioactive Properties, Internal Distribution, and Risk Coefficients and the accompanying Table 1.</i>		

La Tabella 2 illustra il calcolo della dose di Th per le diverse matrici alimentari per la derivazione del livello di rischio cancerogeno in base al valore di RRC a seguito di ingestione dell'isotopo 232 del torio Il rischio relativo al consumo di torio presente nelle matrici alimentari analizzate risulta essere pari a  $9.57 \times 10^{-7}$  (pCi x RCC).

**Tabella 2.**

<b>Adulti (durata dell'esposizione 54 anni)</b>							
Matrice	Conc. 50P mg/kg	consumo		dose 50p			pCi/lifetime
		50p (kg/d)	intake 50p mg/d	mg/kg/d	nCi/d	pCi/d	
Formaggio	0.291	0.174	0.051	8.45E-04	9.29E-05	9.29E-02	1831.763
Carne	0.294	0.105	0.031	5.15E-04	5.66E-05	5.66E-02	1116.550
Miele	0.284	0.020	0.006	9.47E-05	1.04E-05	1.04E-02	205.247
Mitili	0.299	0.058	0.017	2.87E-04	3.15E-05	3.15E-02	621.251
Funghi	1.615	0.010	0.016	2.69E-04	2.96E-05	2.96E-02	583.580
Vegetali	0.295	0.210	0.062	1.03E-03	1.14E-04	1.14E-01	2237.497
							<b>6595.888</b>
<b>Adolescenti (durata dell'esposizione 6 anni)</b>							
matrice	Conc. 95P mg/kg	consumo		dose 50p			pCi/lifetime
		50p (kg/d)	intake 50p mg/d	mg/kg/d	nCi/d	pCi/d	
Formaggio	0.291	0.237	0.069	1.72E-03	1.90E-04	1.90E-01	415.179
Carne	0.294	0.114	0.033	8.37E-04	9.21E-05	9.21E-02	201.673
Miele	0.284	0.020	0.006	1.42E-04	1.56E-05	1.56E-02	34.208
Mitili	0.299	0.057	0.017	4.22E-04	4.65E-05	4.65E-02	101.741
Funghi	1.615	0.010	0.016	4.04E-04	4.44E-05	4.44E-02	97.263
Vegetali	0.299	0.118	0.035	8.83E-04	9.72E-05	9.72E-02	212.773
							<b>1062.837</b>
<b>Bambini (durata dell'esposizione 10 anni)</b>							
matrice	Conc. 95P mg/kg	consumo		dose 50p			pCi/lifetime
		50p (kg/d)	intake 50p mg/d	mg/kg/d	nCi/d	pCi/d	
Formaggio	0.291	0.256	0.074	2.98E-03	3.27E-04	3.27E-01	1195.004
Carne	0.294	0.094	0.028	1.11E-03	1.22E-04	1.22E-01	445.723
Miele	0.284	0.020	0.006	2.27E-04	2.50E-05	2.50E-02	91.221
Mitili	0.299	0.051	0.015	6.08E-04	6.68E-05	6.68E-02	243.939
Funghi	1.615	0.010	0.016	6.46E-04	7.11E-05	7.11E-02	259.369
Vegetali	0.299	0.129	0.039	1.54E-03	1.70E-04	1.70E-01	619.450
							<b>2854.705</b>

Si osserva che anche sulla base delle assunzioni cautelative su cui è basata questa stima, il rischio non è superiore a un caso per milione di mortalità per tumore nella popolazione esposta per il tempo di vita ( $1 \times 10^{-6}$ ), soglia al di sotto della quale le agenzie internazionali (OMS, IARC) definiscono il rischio cancerogeno come "trascurabile".

#### **Conclusioni e raccomandazioni**

Una stima cautelativa del rischio cancerogeno associato al consumo di vari alimenti prodotti in loco – formaggio, frattaglie di ovino/bovino, miele, vegetali, funghi e mitili, mostra che è improbabile un incremento apprezzabile del rischio cancerogeno dovuto ad un consumo anche elevato e prolungato di tali alimenti. Gli alimenti considerati rappresentano componenti plausibilmente importanti dell'alimentazione locale nonché validi indicatori/accumulatori del Th ambientale; pertanto, la stima effettuata fornisce informazioni sull'entità del possibile rischio –in questo caso, trascurabile- per la salute umana. Inoltre per gli alimenti per i quali è stato possibile effettuare una valutazione comparativa, i dati mostrano una sostanziale sovrapposibilità con i valori del bianco.

Il CNSA ritiene che la stima effettuata sulla base dei dati disponibili abbia un carattere conservativo, e che perciò tenga conto delle numerose incertezze e lacune conoscitive. Tuttavia, per avere una valutazione basata su dati più accurati e con minori margini di incertezza, il CNSA ritiene utile disporre di ulteriori dati sulla presenza di Th in:

- Una più ampia varietà di alimenti umani di origine animale e vegetale prodotti in loco (aree a rischio e "bianco")
- Altri organismi eduli oltre i mitili da acque costiere a diversa distanza dalle aree a rischio espositivo.

Infine, considerando la possibile presenza di forti consumatori di determinati alimenti, i potenziali effetti cancerogeni del torio, il CNSA ritiene opportuno continuare la vigilanza sulle matrici alimentari prodotte in loco

#### **Ulteriori considerazioni**

Il CNSA considera inoltre che potrebbe essere utile una valutazione dell'esposizione aggregata, considerando sia l'esposizione attraverso l'aria sia l'esposizione del bambino tramite il suolo.

Infine, il CNSA rileva che i dati disponibili per le diverse matrici (alimentari e non) nelle diverse aree indicano possibili differenze nelle concentrazioni di elementi in traccia tossici non radioattivi: si tratta di dati che potrebbero essere meritevoli di ulteriore considerazione ed approfondimento per una valutazione complessiva del rischio per la salute umana nell'area considerata.

## **Allegato F**

**Istituto Superiore di Sanità**

***Caratterizzazione di aree militari  
Definizione di limiti di riferimento per contaminazione radioattiva  
(Livelli “non normati”)***



<b>ARPA FVG</b> DIP. PROVINCIALE DI UDINE	
Protocollo n° 0015072 - A del 08/05/2015	
Ufficio	FA

## Istituto Superiore di Sanità

Dipartimento Tecnologie e Salute



Prot. N. \_\_\_\_\_

Dr.ssa Concettina Giovani  
ARPA FVG  
Via Colugna, 42  
33100 - UDINE

Risposta al N.0006858/P/GEN/FA del 03.03.2015

Allegati \_\_\_\_\_

OGGETTO: Caratterizzazione di aree militari – Definizione di limiti di riferimento per contaminazione radioattiva (livelli “non normati”).

In riferimento alla richiesta giunta dall’Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente del Friuli Venezia Giulia – S.O.S. Fisica Ambientale pervenuta in ISS, con oggetto “Caratterizzazione di aree militari - Definizione limiti di riferimento per contaminazione radioattiva (composti non normati)”, di individuare valori di riferimento in acque e suoli per uranio, torio e radioisotopi artificiali emettitori alfa, beta, gamma, in questa relazione si riportano le relative valutazioni radioprotezionistiche.

### CRITERI UTILIZZATI

La normativa italiana (art.115-bis del D.lgs 230/95 e s.m.i.) prevede che “in caso di esposizione prolungata dovuta agli effetti di un'emergenza radiologica o di una pratica che non sia più in atto devono essere rispettati i seguenti principi generali:

- a) un intervento è attuato solo se la diminuzione del detrimento sanitario dovuto alle esposizioni a radiazioni ionizzanti è tale da giustificare i danni e i costi, inclusi quelli sociali, dell'intervento;
- b) il tipo, l'ampiezza e la durata dell'intervento sono ottimizzati in modo che sia massimo il vantaggio della riduzione del detrimento sanitario, dopo aver dedotto il danno connesso con l'intervento;.....”.

Le problematiche radiologiche del Poligono militare Cellina-Medina rientrano nei casi sopra citati dalla normativa italiana, in quanto la contaminazione ambientale del sito si può considerare come l'effetto di una pratica non più in atto. L'approccio dovrebbe essere quindi guidato dal principio di ottimizzazione radiologica e non esistono valori di riferimento o limiti prefissati da utilizzarsi direttamente in ogni situazione; invece, ogni situazione dovrebbe essere valutata singolarmente con la conseguente elaborazione di livelli di dose o di livelli derivati in termini di concentrazioni di attività specifiche per la situazione considerata.

Tel: +39 0649906223

e-mail: tecnologiesalute@iss.it

In assenza di informazioni complete sullo stato di contaminazione del sito in oggetto e sugli altri parametri necessari per ricavare dei livelli di intervento specifici per la situazione in oggetto sulla base dei due principi sopra riportati, sono stati comunque individuati dei valori "di riferimento" per la concentrazione di attività del suolo e dell'acqua, per diversi radionuclidi naturali e artificiali, in base ai criteri di esenzione delle pratiche in atto. Va fatto presente che nelle pratiche in atto le possibilità di controllo dei livelli di esposizione dei lavoratori e della popolazione sono generalmente superiori a quelle di una pratica non più in atto. Questo è il motivo per cui non esistono, in queste situazioni, livelli di riferimento prefissati.

## A) CONTAMINAZIONE DEL SUOLO

### A.1. Uranio e torio naturali

Per effettuare le valutazioni sugli aspetti radiologici derivanti dalla contaminazione da uranio (ed in particolare da uranio naturale  $U_{nat}$ , composto in peso al 99.27% di U-238, allo 0.72% di U-235 e allo 0.01% di U-234) e torio (ed in particolare di  $Th-232_{sec}$ , cioè per il Th-232 in equilibrio secolare con la catena dei suoi prodotti di decadimento) nelle aree militari in oggetto è stata utilizzata la linea guida Radiation Protection 122 part II (RP 122 part II), pubblicata nel 2001 dalla Commissione europea per dare indicazioni sull'applicazione della Direttiva 96/29/Euratom nel caso di contaminazioni di radionuclidi di origine naturale.

Miscele isotopiche di uranio che siano state modificate rispetto alla composizione isotopica naturale durante il processo di produzione del combustibile nucleare, come l'uranio arricchito e l'uranio impoverito, ricadono nella trattazione dei radionuclidi artificiali (cfr. sezione A.2).

Si ricorda che, in base alla normativa italiana del settore (Capo III bis del D.lgs 230/95 e s.m.i), il livello di azione<sup>1</sup> è espresso in termini di dose efficace e vale, rispettivamente, 0.3 mSv/anno per la popolazione e 1 mSv/anno per i lavoratori.

Per il calcolo delle concentrazioni di U e Th corrispondenti alle suddette dosi sono stati utilizzati alcuni scenari, utilizzati nella RP 122 part II, che vengono nel seguito riportati brevemente.

Si sottolinea che tutti i calcoli sono effettuati al netto del contributo del fondo ambientale (v. RP 122 part II).

#### A.1.1. Lavoratori

##### A.1.1.1. Primo scenario per i lavoratori

Questo scenario descrive il deposito all'aperto di ingenti quantità di materiale NORM (Naturally Occurring Radioactive Material). Il materiale NORM non è diluito con materiale non contaminato (fattore di diluizione 100%). Il tempo di esposizione per un lavoratore in questa area è di 1800 ore/anno. La geometria del cumulo all'aperto ha le seguenti misure: volume = 10 000 m<sup>3</sup>; altezza = 6 m; 45° di pendenza; superficie risultante in cima al cumulo = 2127 m<sup>2</sup>. La distanza media della persona di riferimento (lavoratore) dal bordo del cumulo è 10 m; non si assume nessuna schermatura.

<sup>1</sup> Livello di azione: valore di dose efficace, il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio che riducano tale grandezza a livelli più bassi del livello di azione (da D.lgs 230/95 e s.m.i).

L'inalazione di polvere viene calcolata nel caso di movimentazione del materiale NORM. In questo scenario il valore di concentrazioni di polvere viene assunto pari a  $1 \text{ mg/m}^3$ . Per il lavoratore è stato inoltre ipotizzato un rateo di respirazione di  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

È stato infine assunto un rateo di ingestione di  $10 \text{ mg/h}$  per l'intero anno di lavoro.

#### *A.1.1.2. Risultati ottenuti in base ai coefficienti più cautelativi riportati nella RP 122 part II*

Per il  $\text{Th-232}_{\text{sec}}$  è stato calcolato un *coefficiente di conversione dose/concentrazione di attività* di  $0.214 \text{ (mSv/a)/(Bq/g)}$ . Le concentrazioni di attività corrispondenti ai livelli di azione di  $0,3 \text{ mSv/anno}$  e  $1 \text{ mSv/anno}$  sono quindi, rispettivamente,  $1\,400 \text{ Bq/kg}$  e  $4\,700 \text{ Bq/kg}$ .

Per l' $\text{U}_{\text{nat}}$  è stato calcolato un *coefficiente di conversione dose/concentrazione di attività* di  $0.030 \text{ (mSv/a)/(Bq/g)}$ . Le concentrazioni di attività corrispondenti ai livelli di azione di  $0,3 \text{ mSv/anno}$  e  $1 \text{ mSv/anno}$  sono quindi, rispettivamente,  $9\,900 \text{ Bq/kg}$  e  $33\,000 \text{ Bq/kg}$ .

#### *A.1.1.3. Secondo scenario per i lavoratori*

Questo scenario descrive l'esposizione dei lavoratori in una discarica e comprende lo smaltimento dei residui NORM, nonché procedure di lavoro quali la profilatura della superficie e la copertura di aree piene. Si assume che il tempo di esposizione per un lavoratore in questa area sia di  $1800 \text{ ore/anno}$ . Per quanto riguarda la diluizione del materiale NORM sul cumulo/discarica, si considera un fattore di diluizione del  $100\%$ , ipotizzando che nella discarica venga conferito un solo tipo di materiale (tipica situazione industriale).

Nella maggior parte dei casi i rifiuti sono trasportati con camion da cui sono scaricati e conferiti in discarica. Ratei tipici di conferimento per i singoli lavoratori, o per piccoli gruppi, vanno da  $20$  a  $50 \text{ tonnellate/h}$ . Un conferimento presunto di  $20 \text{ tonnellate/h}$  ed un tempo di lavoro presunto di  $1800 \text{ h/anno}$  produce un rateo di conferimento per il lavoratore di riferimento (o gruppo di lavoro) di  $36\,000 \text{ tonnellate/anno}$ .

*Esposizione esterna:* l'esposizione esterna da radiazioni gamma del personale della discarica è calcolata in un punto situato un metro dal suolo su un volume semi infinito (grande discarica che circonda la persona di riferimento). Il lavoratore è schermato dalle strutture del veicolo che viene utilizzato per effettuare il livellamento e il lavoro di smaltimento. Si assume una schermatura di acciaio con un fattore totale di schermatura pari a  $2$ .

*Inalazione:* le procedure di lavoro sono caratterizzate da alte concentrazioni di polveri durante la consegna, scarico e compattazione dei rifiuti (valore tipico di  $2 \text{ mg/m}^3$ ) e da concentrazioni inferiori di polvere durante il lavoro di livellamento e profilatura (valori tipici da  $0.1$  a  $1 \text{ mg/m}^3$ ). In base a misure effettuate in alcune discariche, è stato assunto un valore medio annuo di concentrazione di polvere inalabile di  $1 \text{ mg/m}^3$ . Per il lavoratore è stato inoltre assunto un rateo di respirazione pari a  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

*Ingestione:* è stato scelto un rateo di ingestione di  $10 \text{ mg/h}$  per l'intero anno di lavoro della persona di riferimento.

#### *A.1.1.4. Risultati ottenuti in base ai coefficienti più cautelativi riportati nella RP 122 part II*

Per il  $\text{Th-232}_{\text{sec}}$  è stato calcolato un *coefficiente di conversione dose/concentrazione di attività* di  $0.612 \text{ (mSv/a)/(Bq/g)}$ . Le concentrazioni di attività corrispondenti ai livelli di azione di  $0,3 \text{ mSv/anno}$  e  $1 \text{ mSv/anno}$  sono quindi, rispettivamente,  $490 \text{ Bq/kg}$  e  $1\,600 \text{ Bq/kg}$ .

Per l' $U_{nat}$  è stato calcolato un *coefficiente di conversione dose/concentrazione di attività* di 0.031 (mSv/a)/(Bq/g). Le concentrazioni di attività corrispondenti ai livelli di azione di 0,3 mSv/anno e 1 mSv/anno sono quindi, rispettivamente, 9 600 Bq/kg e 32 000 Bq/kg.

### **A.1.2. Popolazione**

#### **A.1.2.1. Scenario: persona che vive nelle vicinanze del cumulo/discarica di materiale NORM**

Questo scenario descrive l'esposizione di un membro del pubblico che vive in una casa nei pressi di un cumulo o di una discarica che non è coperta da uno strato di materiale incontaminato. Si presume che il cumulo/discarica contenga materiale NORM non diluito di vari tipi.

Lo scenario comprende tre situazioni di esposizione:

- residenza nella casa vicino al cumulo/discarica;
- permanenza nel giardino appartenente alla casa;
- stare sul cumulo/discarica senza la presenza di uno strato di copertura (soprattutto valido per cumuli).

Le dosi efficaci risultanti per queste tre situazioni di esposizione sono sommate.

Si ipotizza che la persona di riferimento spenda 6000 h/anno nella casa, 1000 h/anno nel giardino vicino alla casa e qualche tempo sul cumulo o discarica stessa, a seconda dell'età della persona di riferimento: 0 h/anno per bambini di 0-2 anni, 250 h/anno per bambini di 2-12 anni, 100 h/anno per gli adulti e gli adolescenti tra 12 e 17 anni. La casa si trova a una distanza di 25 m (in media) dal bordo del cumulo/discarica; il giardino della casa si trova a una distanza di 20 m dal bordo del cumulo/discarica. Per il soggiorno sul cumulo il rateo di dose è calcolata ad un'altezza di 1 m.

*Esposizione esterna:* il modello si basa sulla seguente geometria del cumulo/discarica: area di 100 000 m<sup>2</sup>, altezza 10 m dal suolo, lunghezza 300 m. La distanza dal cumulo/discarica alla persona di riferimento nel giardino è 20 m, la distanza dalla persona in casa è di 25 metri e la distanza per l'esposizione sul cumulo/discarica stessa è di 1 m dal suolo. L'esposizione esterna causata dal cumulo/discarica è schermata (pareti con 20 centimetri spessore) dalla casa stessa quando la persona di riferimento rimane all'interno.

*Inalazione:* le dosi causate dall'inalazione di polveri sono calcolate utilizzando diverse concentrazioni di polveri nei luoghi di esposizione considerati:

- sul cumulo/discarica: 0.2 mg/m<sup>3</sup> per il roccia/scorie; 0.5 mg/m<sup>3</sup> per cenere/sabbia
- nel giardino: 0.05 mg/m<sup>3</sup> per il roccia/scorie; 0.1 mg/m<sup>3</sup> per cenere/sabbia
- all'interno della casa: 0.02 mg/m<sup>3</sup> per il roccia/scorie; 0.05 mg/m<sup>3</sup> per cenere/sabbia.

I corrispondenti ratei medi di respirazione dipendono dall'età e vengono scelti come raccomandato dall'ICRP, ovvero 0.12, 0.22, 0.36, 0.64, 0.84, 0.925 m<sup>3</sup>/h per tutte e tre le situazioni di esposizione (casa, giardino, cumulo).

*Ingestione:* per quanto riguarda il calcolo delle dosi causate da ingestione sono considerati tre meccanismi:

- Ingestione diretta: materiale residuo viene ingerito direttamente solo quando la persona di riferimento rimane sul cumulo. I ratei di ingestione dipendono dall'età con i seguenti valori: 10 mg/h per un bambino tra 1 e 7 anni e 5 mg/h per un individuo adulto e di età tra i 7 e i 17 anni.

- Ingestione secondaria di verdure coltivate nel giardino coperto dalla polvere del cumulo: la velocità di deposizione di polveri sottili è pari a 0.001 m/s e il tempo di deposizione assunto durante la crescita è di 60 giorni.
- Ingestione secondaria attraverso le acque sotterranee: le precipitazioni percolano nel cumulo/discarica e si contaminano con i radionuclidi del materiale NORM. L'infiltrazione entra nelle acque sotterranee dove viene miscelata con acqua non contaminata. Si presume che il pozzo sia situato a valle del cumulo/discarica lungo il flusso delle acque sotterranee. L'acqua viene prelevata dalla falda da un pozzo privato e utilizzata per l'irrigazione. Nel giardino crescono ortaggi e frutta che si ipotizza costituiscano metà della dieta annuale dei residenti.

#### A.1.2.2. Risultati ottenuti in base ai coefficienti più cautelativi riportati nella RP 122 part II

Per il Th-232<sub>sec</sub> è stato calcolato un coefficiente di conversione dose/concentrazione di attività di 0.536 (mSv/a)/(Bq/g). La concentrazione di attività corrispondente al livello di azione di 0.3 mSv/anno è quindi 560 Bq/kg.

Per l'U<sub>nat</sub> è stato calcolato un coefficiente di conversione dose/concentrazione di attività di 0.011 (mSv/a)/(Bq/g). La concentrazione di attività corrispondente al livello di azione di 0.3 mSv/anno è quindi 27 000 Bq/kg.

#### A.1.3. Riassunto dei valori di riferimento valutati per U e Th

Tabella riassuntiva delle concentrazioni di attività derivate per U<sub>nat</sub> e Th-232<sub>sec</sub>

	Lavoratori 1° scenario		Lavoratori 2° scenario		Popolazione 0.3 mSv/anno
	0.3 mSv/anno	1 mSv/anno	0.3 mSv/anno	1 mSv/anno	
Th-232 <sub>sec</sub>	1 400 Bq/kg	4 700 Bq/kg	490 Bq/kg	1 600 Bq/kg	560 Bq/kg
U <sub>nat</sub>	9 900 Bq/kg	33 000 Bq/kg	9 900 Bq/kg	32 000 Bq/kg	27 000 Bq/kg

## A.2. Radionuclidi artificiali

Per quanto detto nella premessa, anche nel caso di radionuclidi artificiali si dovrebbe procedere ad una valutazione *ad hoc* dei valori di concentrazione di attività dei suoli che si basi sul principio di ottimizzazione, tenuto conto del fatto che siamo di fronte a una esposizione determinata da una pratica non più in atto.

Anche in questo caso una valutazione può essere effettuata utilizzando come riferimento di dose il valore di esenzione, o di cosiddetta non rilevanza radiologica, di una pratica, in modo analogo a quanto fatto per i radionuclidi naturali (U e Th).

Quando nelle esposizioni radiologiche sono considerati radionuclidi artificiali, però, cambia profondamente l'approccio e, di conseguenza, cambiano i livelli di esenzione. Infatti, in questo caso una pratica viene esentata dagli obblighi previsti dalla normativa per le pratiche quando "...la dose efficace cui si prevede sia esposto un qualsiasi individuo della popolazione a causa della pratica esente è pari o inferiore a 10 µSv all'anno" (da All.I del D.lgs 230/95 s.m.i.).

La dose efficace può superare il valore di 10 µSv all'anno nel caso in cui, per i radionuclidi costituenti le materie radioattive oggetto delle pratiche, si verifichino congiuntamente le seguenti due condizioni:

1) la concentrazione media del radionuclide, intesa come rapporto tra la quantità di radioattività del radionuclide e la massa della matrice in cui essa è contenuta, è superiore a 1000 Bq/kg;

2) la quantità totale di radioattività del radionuclide è superiore ai valori riportati nella tabella I-1 dell'Allegato I D.lgs 230/95 e s.m.i., oppure, nel caso in cui il radionuclide considerato non sia presente in tale tabella, è superiore a:

- a)  $1 \cdot 10^3$  Bq per i radionuclidi emettitori di radiazioni alfa;
- b)  $1 \cdot 10^4$  Bq per i radionuclidi diversi da quelli di cui alla lettera a).

Come già detto, miscele isotopiche di uranio che siano state modificate rispetto alla composizione isotopica naturale durante il processo di produzione del combustibile nucleare, come l'uranio arricchito e l'uranio impoverito, ricadono nella trattazione dei radionuclidi artificiali.

## B) CONTAMINAZIONE DELL'ACQUA POTABILE

### B.1. Uranio e torio naturali

In Italia la normativa di riferimento per la qualità dell'acqua potabile è il D.lgs 31/2001 in cui viene stabilito che la dose efficace impegnata dovuta al contenuto di radioattività dell'acqua, escluso il contributo del K-40 e del Rn-222 con i suoi prodotti di decadimento a vita breve, dovrebbe essere inferiore a 0.1 mSv/anno per un adulto che consumi 730 l/anno di acqua potabile. In caso di valori di dose superiori a 0.1 mSv/anno, si deve considerare l'entità del superamento e valutare l'opportunità di effettuare azioni di rimedio.

Nella Direttiva 2013/51/EURATOM sulla qualità delle acque potabili, non ancora recepita nella legislazione italiana, sono riportati i valori di concentrazione di attività derivati corrispondenti alla dose efficace impegnata di 0.1 mSv/anno con le stesse ipotesi di consumo della norma italiana:

per il  $\text{Th-232}_{\text{sec}}$  0.2 Bq/l (il valore si riferisce al Ra-228 che è il radionuclide più radiotossico della serie del  $\text{Th-232}_{\text{sec}}$ )

per l' $\text{U}_{\text{nat}}$  3 Bq/l

Nelle linee guida dell'OMS si possono trovare indicazioni sui valori di riferimento per il torio e l'uranio. Per l'uranio i valori sono provvisori, nel senso che possono variare a seguito di nuove evidenze scientifiche. Si deve anche tener conto che i valori dell'OMS sono arrotondati con criterio logaritmico.

Valori di riferimento dal rapporto OMS 2011:

per il  $\text{Th-232}_{\text{sec}}$  1 Bq/l

per l' $\text{U}_{\text{nat}}$  10 Bq/l

È importante ricordare che l'uranio è anche un elemento chimicamente tossico: il suo valore di riferimento indicato dall'OMS è di 30 microgrammi/l, corrispondenti a circa 0.75 Bq/l di  $\text{U}_{\text{nat}}$ . Va quindi evidenziato che i valori di riferimento per l' $\text{U}_{\text{nat}}$  basati sulle sue caratteristiche radiologiche (sia quelli dell'OMS e che quelli della Direttiva 2013/51/EURATOM) sono maggiori del valore di riferimento (indicato dall'OMS) che tiene conto delle caratteristiche chimiche dell' $\text{U}_{\text{nat}}$ . È quindi questo il valore guida da considerare, perché la sua applicazione garantisce anche il rispetto dei valori di riferimento per gli aspetti radiologici della contaminazione di  $\text{U}_{\text{nat}}$  nell'acqua potabile.

## **B.2. Radionuclidi artificiali**

Per quanto riguarda i radionuclidi artificiali alfa/beta/gamma emettitori, sempre basandosi sulle indicazioni della Direttiva 2013/51/EURATOM, si procede con una prima misura di screening alfa totale e beta totale.

Se i valori misurati superano 0.1 Bq/l per i radionuclidi emettitori alfa e 1 Bq/l per gli emettitori beta (sottratto il contributo del potassio-40) si procede alla determinazione qualitativa e quantitativa dei radionuclidi presenti e si calcola la dose efficace impegnata in un anno.

In caso di valori superiori a 0.1 mSv/anno, si deve considerare l'entità del superamento e valutare l'opportunità di effettuare azioni di risanamento.

Il Direttore del Dipartimento  
Tecnologie e Salute ad interim  
(Dr. Umberto Agrimi)



Tel: +39 0649906223

e-mail: [tecnologiesalute@iss.it](mailto:tecnologiesalute@iss.it)