

Impianto di termotrattamento dei rifiuti attivo a Falascaia tra il 1974 e il 1988: stima del contenuto di PCDD/F nei suoli

Le stime di deposizione al suolo

Una prima stima per eccesso della concentrazione di PCDD/F nei suoli può essere effettuata considerando i valori massimi assoluti di deposizione cumulata annua ottenuti nello studio sulle ricadute per il vecchio inceneritore di Pietrasanta [ARPAT 2012]. Questi valori sono riportati nella tabella C14 di pag. 46, Parte C di tale studio, riproposti nella successiva Tabella 1; poiché corrispondono ai tre scenari emissivi simulati, possono essere utilizzati anche per valutare la variabilità delle stime rispetto all'incertezza con cui sono note le caratteristiche della sorgente.¹

Tabella 1: massima deposizione cumulata di PCDD/F dovuta alle emissioni dell'impianto di Falascaia attivo dal 1974 al 1988 (stime [ARPAT 2012]).

Scenario	Massima deposizione cumulata annua
Scenario (S1): con emissioni per 15 h/d e 315 d/y	448 ng TE/m ² y
Scenario di riferimento (S2): emissioni per 24 h/d e 365 d/y	702 ng TE/m ² y
Scenario (S3): con extra-emissioni di avvio (15 h/d e 315 d/y)	1305 ng TE/m ² y

L'impianto è stato attivo nel periodo 1974–1988 ovvero per circa 15 anni; considerando un accumulo nel terreno costante per ogni anno e pari ai valori massimi riportati nella Tabella 1, senza alcuna rimozione, il carico di PCDD/F sull'unità di superficie può essere valutato nell'ordine di:

- scenario S1: $448 \text{ ng TE/m}^2\text{y} \times 15 \text{ y} = 6720 \text{ ng TE/m}^2$
- scenario S2: $702 \text{ ng TE/m}^2\text{y} \times 15 \text{ y} = 10530 \text{ ng TE/m}^2$
- scenario S3: $1305 \text{ ng TE/m}^2\text{y} \times 15 \text{ y} = 19575 \text{ ng TE/m}^2$

Le stime di concentrazione nei terreni

Per effettuare il confronto con le misure dei campionamenti di terreno effettuati *in situ* e valutare la concentrazione all'interno di campioni di suolo analoghi a quelli ottenuti nei campionamenti, si considera un volume di terreno di 1 m² x 0.2 m (se lo strato campionato raggiunge la profondità di 20 cm), ovvero 0.2 m³; considerando una densità pari a 1.5 Mg/m³, la massa di terreno in questo volume risulta di 300 kg. Pertanto le stime delle concentrazioni di PCDD/F risultano le seguenti:

- scenario S1: $6720 \text{ ng TE} / 300 \text{ kg} = 22 \text{ ng TE/kg}$
- scenario S2: $10530 \text{ ng TE} / 300 \text{ kg} = 35 \text{ ng TE/kg}$
- scenario S3: $19575 \text{ ng TE} / 300 \text{ kg} = 65 \text{ ng TE/kg}$

Questi valori possono essere confrontati con le concentrazioni-soglia di contaminazione fissate per le bonifiche del terreno nel D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. (ss: sostanza secca):

- 10 ng TE/kg ss per uso verde pubblico, privato e residenziale
- 100 ng TE/kg ss per uso commerciale e industriale

¹ Non è invece possibile tener conto della variabilità meteorologica e della meteorologia effettiva del periodo di interesse in quanto le simulazioni condotte in [ARPAT 2012] sono riferite ad una singola annualità di dati meteorologici (2010-2011).

oppure con le soglie di azione suggerite dall'Istituto superiore di sanità [ISS 1988]:

- 10 pg TE/g = 10 ng TE/kg terreno coltivabile
- 50 pg TE/g = 50 ng TE/kg terreno non coltivabile
- 250 pg TE/g = 250 ng TE/kg terreno per uso industriale

Come si vede quindi le stime di concentrazione dei PCDD/F nei terreni risultano comparabili e anche superiori a questi valori di riferimento.

Tuttavia poiché queste stime sono effettuate con criteri assolutamente conservativi è possibile renderle maggiormente verosimili specificando da un lato le deposizioni attese negli effettivi punti di campionamento del terreno e dall'altro considerando i fenomeni di rimozione dal terreno.

In Figura 1 sono riportati approssimativamente i punti presso i quali negli anni 2003-2004 sono stati eseguiti alcuni campionamenti di terreno con la relativa determinazione del contenuto di PCDD/F².

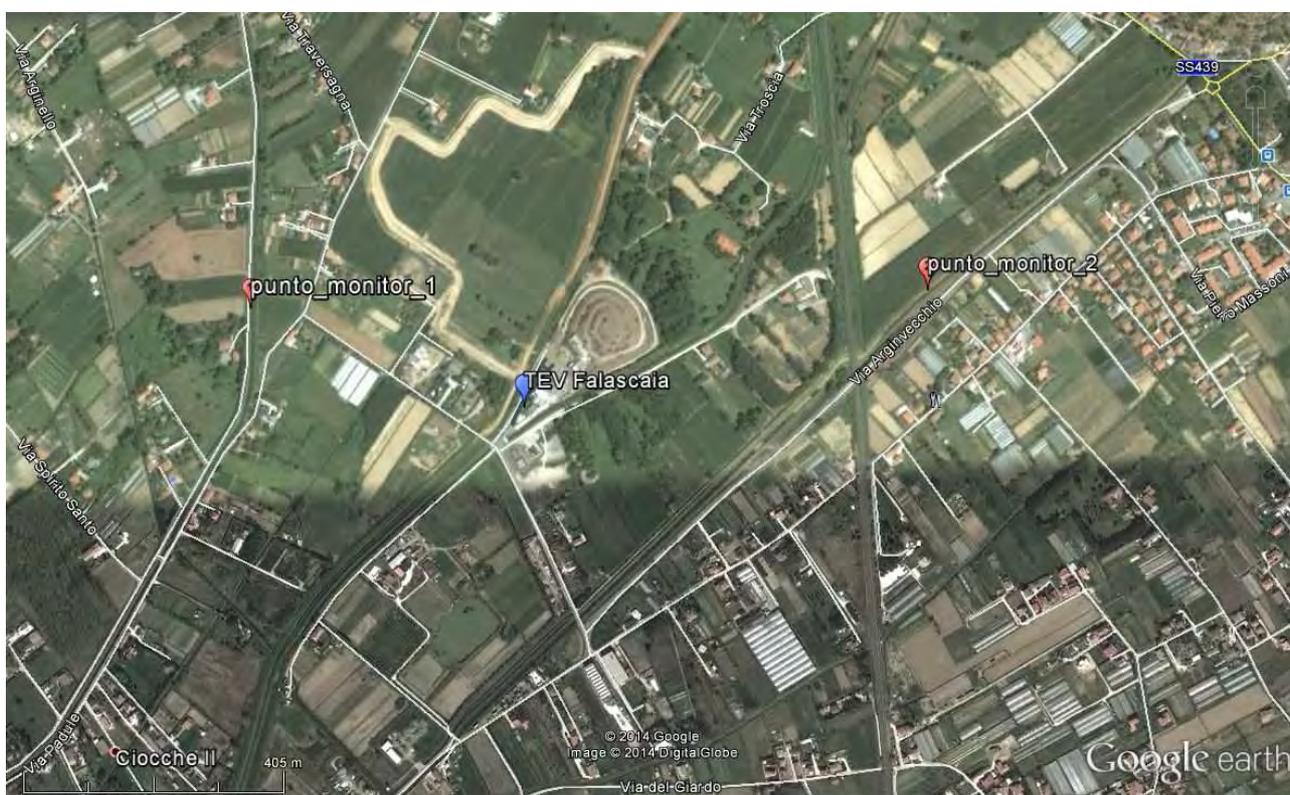


Figura 1: posizione dei punti di campionamento e dell'impianto.

Questi punti distano circa 500 m (punto_monitor_1 ad ovest) e 650 m (punto_monitor_2 ad est) dall'impianto; la loro posizione è individuata dalle coordinate (UTM fuso 32, WGS 84):

- punto_monitor_1 (599008 E, 4865268 N)
- punto_monitor_2 (600061 E, 4865313 N)

Considerando le stime di deposizione di PCDD/F ottenute nello studio per l'impianto attivo dal 1974 al 1988 nei punti, tra quelli del reticolo di calcolo utilizzato nello studio, più vicini a questi e comunque ad una distanza da questi inferiore a 100 m, si hanno i valori di deposizione cumulata annua riepilogati in Tabella 2.

I punti del reticolo con le stime di deposizione sono visualizzati in Figura 2.

2 Le posizioni sono state individuate dalle figure riportate in Appendice.

Tabella 2: deposizione cumulata di PCDD/F dovuta alle emissioni in atmosfera dell'impianto di Falascaia attivo dal 1974 al 1988 nei punti del reticolo più prossimi ai siti di campionamento dei terreni (stime [ARPAT, 2012]).

Coordinate dei punti (m)		Distanza dall'impianto (m)	Distanza dal punto di campionamento del terreno (m)	Deposizione cumulata annua (ng TE/m ² y)		
X (E)	Y (N)			Scenario S1	Scenario S2	Scenario S3
Punto_monitor_1 (599008 E, 4865268 N)						
599029	4865256	420	24	132	211	385
598929	4865256	515	80	122	201	370
599029	4865356	463	90	74	121	209
Punto_monitor_2 (600061 E, 4865313 N)						
600029	4865356	650	54	62	79	126
600029	4865256	620	65	81	101	139
600129	4865356	743	80	53	69	102
600129	4865256	718	89	66	85	112
Scenari di simulazione: - S1: Scenario 15 h/d, 315 d/y - S2: Scenario di riferimento 24 h/d, 365 d/y - S3: Scenario 15 h/d e 315 d/y con extra-emissioni di avvio						

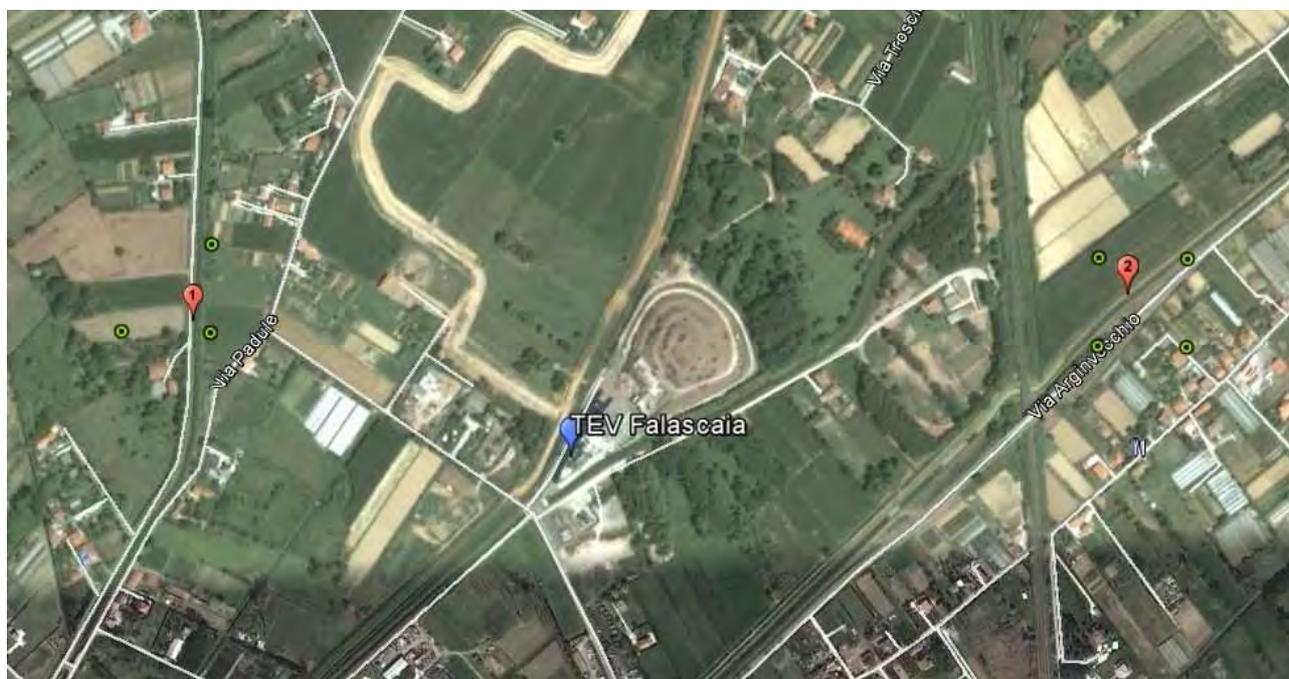


Figura 2: impianto, punti di campionamento e punti del reticolo per i quali è disponibile la stima delle deposizioni annue di PCDD/F.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

In base ai dati in Tabella 2, nella Tabella 3 vengono riepilogati gli intervalli di stima per i due punti di campionamento.

Tabella 3: deposizioni cumulate annue di PCDD/F nei punti del reticolo più vicini a quelli di campionamento (stime [ARPAT, 2012]).

Punto di campionamento	Scenario	Deposizione cumulata annua (ng TE/m ² y)
Punto_monitor_1	S1	74 ÷ 132
	S2	121 ÷ 211
	S3	209 ÷ 385
Punto_monitor_2	S1	53 ÷ 81
	S2	69 ÷ 101
	S3	102 ÷ 139

Ipotizzando ancora un accumulo continuo e privo di rimozione nel terreno, con i parametri già utilizzati nella precedente valutazione (durata dell'accumulo pari a 15 anni, densità del terreno 1.5 Mg/m³), si ottengono le stime di concentrazione nel terreno riportate in Tabella 4.

Tabella 4: stime delle concentrazioni di PCDD/F nel terreno nei punti del reticolo più vicini a quelli di campionamento, nell'ipotesi di assenza di rimozione, per i diversi scenari emissivi.

Punto di campionamento	Scenario	Concentrazione nel terreno (ng TE/kg)
Punto_monitor_1	S1	3.7 ÷ 6.6
	S2	6.0 ÷ 10.5
	S3	10.5 ÷ 19.3
Punto_monitor_2	S1	2.6 ÷ 4.0
	S2	3.5 ÷ 5.0
	S3	5.1 ÷ 6.9

Le stime di concentrazione nei terreni tenuto conto dell'emivita

Volendo rendere più realistiche le stime di concentrazione è possibile rimuovere l'ipotesi di accumulo totale ipotizzando un effetto medio di riduzione della concentrazione dovuto ai normali fenomeni di rimozione dal terreno dei composti in questione.

Infatti in [APAT 2006] (come citato in [ARPAT 2013]) viene indicata per la TCDD (tetraclorodibenzodiossina) una "emivita" (o tempo di dimezzamento τ_e) nel terreno compresa tra 9 e 15 anni. Ipotizzando un tasso di riduzione/decadimento costante nel tempo con una variazione proporzionale alla concentrazione stessa, si ottiene un andamento temporale decrescente di tipo esponenziale:

$$C(t) = C_0 e^{-t \cdot \ln 2 / \tau_e}$$

in cui si è indicato con C_0 la concentrazione al tempo $t=0$.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

In ciascuno degli anni tra il 1974 ed il 1988 si può ipotizzare un accumulo nel terreno dato dalla deposizione cumulata annua e quindi un incremento nella concentrazione di PCDD/F nel suolo pari a C_0 , e nello stesso tempo una riduzione della precedente concentrazione dovuta ai fenomeni di rimozione (modellizzati dal decadimento esponenziale). Negli anni successivi al 1988 (poiché l'impianto risulta spento) non si avrà più il contributo della deposizione, ma continueranno ad agire i fenomeni di rimozione.

Si può pertanto stimare una concentrazione dopo 15 anni (di attività dell'impianto) con contributo annuo costante e analogo decadimento e dopo ulteriori t_1 anni di decadimento, come:

$$C_{t_1} = e^{-t_1 \ln 2 / \tau_e} \sum_{j=0}^{14} C(j) = e^{-t_1 \ln 2 / \tau_e} \sum_{j=0}^{14} C_0 e^{-j \ln 2 / \tau_e} = C_0 \sum_{j=0}^{14} e^{-(j+t_1) \ln 2 / \tau_e} \quad (a)$$

Quindi per l'anno 2003, durante il quale sono stati effettuati i campionamenti del terreno, si ha $t_1=14$ (si considera la situazione alla fine dell'anno 2002), e pertanto:

$$C_{(2003)} = C_{t_1=14} = C_0 \sum_{j=0}^{14} e^{-(j+14) \ln 2 / \tau_e} \quad (b)$$

L'andamento nel tempo delle concentrazioni relative ai singoli contributi annui e quello della loro somma, ovvero la concentrazione complessiva risultante, è rappresentato in Figura 3 (a meno del valore di C_0 che costituisce un fattore moltiplicativo) considerando un tempo di dimezzamento pari a 9 anni.

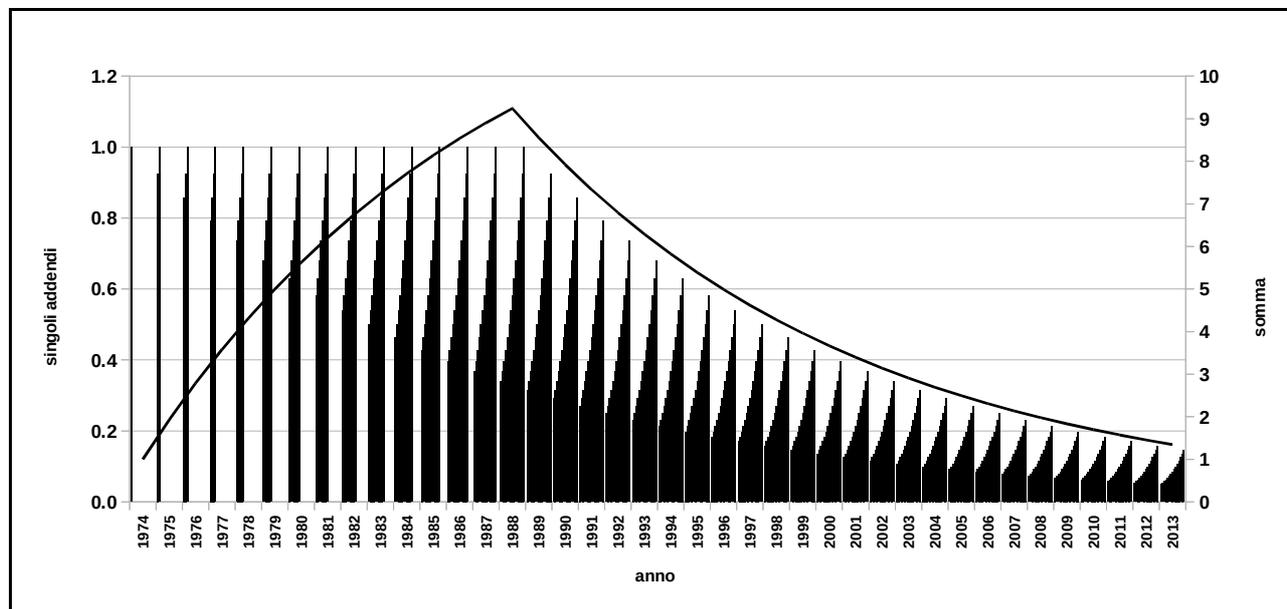


Figura 3: l'istogramma mostra l'andamento temporale dei contributi annui dovuti alla deposizione di PCDD/F ed il loro decadimento nel corso degli anni, mentre la linea continua si riferisce alla loro somma. In ciascuno degli anni tra il 1974 ed il 1988 si ha l'apporto della deposizione e la riduzione dovuta ai fenomeni di rimozione; negli anni successivi si ha soltanto la rimozione che produce il decadimento riportato dalla linea continua. I valori sono riportati a meno del fattore moltiplicativo C_0 che costituisce la concentrazione annua dovuta alla deposizione, quindi rappresentano i fattori numerici (i singoli addendi e la somma) presenti nell'espressione analitica (a). Il termine di decadimento utilizzato in questo caso è relativo ad un tempo di dimezzamento pari a 9 anni.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

Con queste ipotesi, per ottenere la concentrazione presente nel terreno alla fine del periodo di attività (fine dell'anno 1988), la concentrazione dovuta alle deposizioni cumulate annue ovvero C_0 non viene moltiplicata per 15 volte (un contributo ogni anno di attività) bensì per un fattore pari a 9.2 (se la emivita è pari a 9 anni) o 11.1 (se la emivita è pari a 15 anni); inoltre per stimare la concentrazione nel terreno al momento del campionamento (anno 2003) quella relativa all'anno 1988 deve essere ulteriormente ridotta moltiplicandola per 0.34 (se la emivita è pari a 9 anni) o 0.52 (se la emivita è pari a 15 anni).

Nelle Tabelle 5 e 6 sono riportate le stime al 2003 ed al 2004 ottenute con tali ipotesi. Alcuni degli andamenti temporali delle concentrazioni nel terreno al variare del tempo di dimezzamento e dello scenario emissivo sono rappresentati nelle successive Figure 4 e 5 (relativamente al punto_monitor_1).

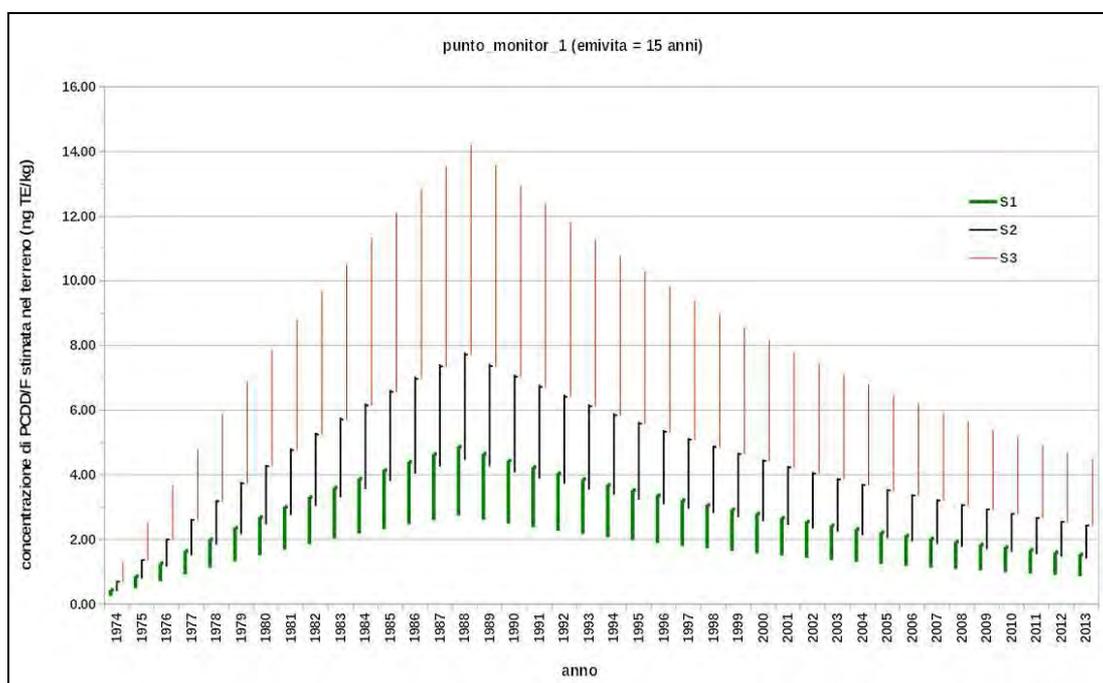


Figura 4: andamento temporale delle concentrazioni stimate nel terreno per il punto_monitor_1 al variare dello scenario emissivo.

Tabella 5: stime delle concentrazioni di PCDD/F nei terreni all'anno 2003 ed all'anno 2004, emivita pari a 9 anni.

Punto di campionamento	Scenario	Concentrazione nel terreno (ng TE/kg)	
		all'anno 2003	all'anno 2004
Punto_monitor_1	S1	0.8 ÷ 1.4	0.7 ÷ 1.3
	S2	1.3 ÷ 2.2	1.2 ÷ 2.0
	S3	2.2 ÷ 4.0	2.0 ÷ 3.7
Punto_monitor_2	S1	0.6 ÷ 0.8	0.5 ÷ 0.8
	S2	0.7 ÷ 1.1	0.7 ÷ 1.0
	S3	1.1 ÷ 1.5	1.0 ÷ 1.3

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

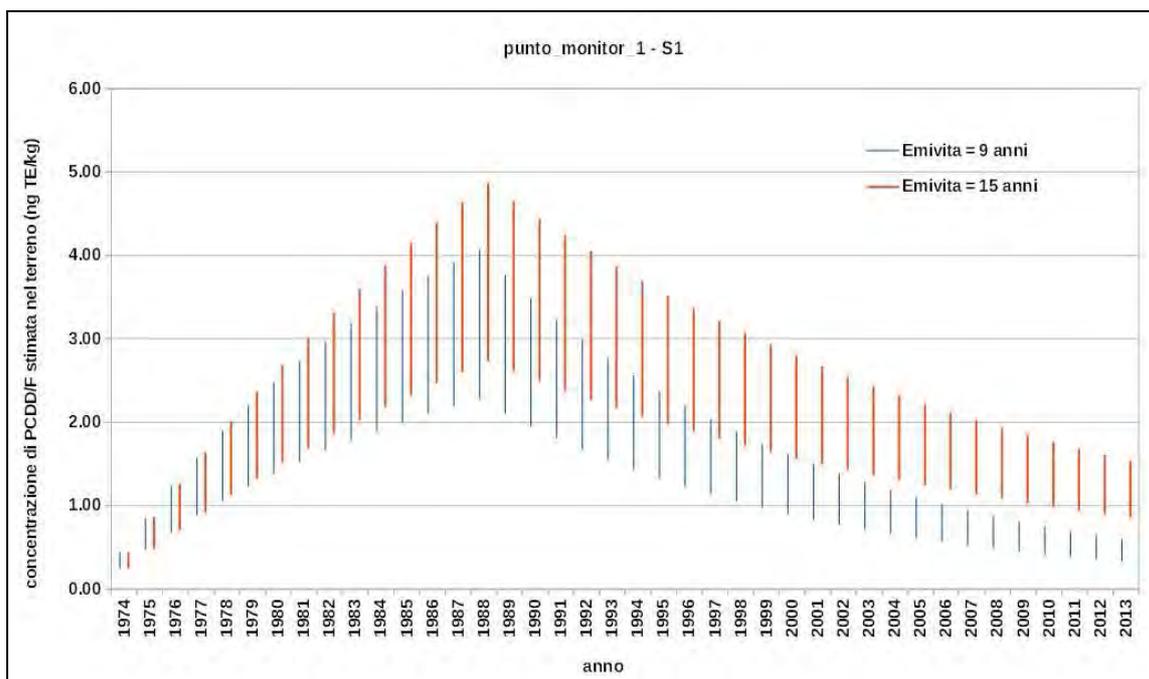


Figura 5: andamento temporale delle concentrazioni stimate nel terreno per il punto_monitor_1, nello scenario S1, al variare del tempo di dimezzamento considerato.

Tabella 6: stime delle concentrazioni di PCDD/F nei terreni all'anno 2003 e all'anno 2004, emivita pari a 15 anni.

Punto di campionamento	Scenario	Concentrazione nel terreno (ng TE/kg)	
		all'anno 2003	all'anno 2004
Punto_monitor_1	S1	1.4 ÷ 2.5	1.4 ÷ 2.4
	S2	2.3 ÷ 4.1	2.2 ÷ 3.9
	S3	4.0 ÷ 7.4	3.9 ÷ 7.1
Punto_monitor_2	S1	1.0 ÷ 1.6	1.0 ÷ 1.5
	S2	1.3 ÷ 1.9	1.3 ÷ 1.9
	S3	2.0 ÷ 2.7	1.9 ÷ 2.6

Le riduzioni precedenti possono essere applicate anche ai valori massimi di deposizione di Tabella 1, per i quali si ottengono quindi le seguenti concentrazioni nel terreno stimate all'anno 2003 (per i due valori del tempo di dimezzamento adottati):

- scenario S1: 4.7 ng TE/kg 8.7 ng TE/kg
- scenario S2: 7.4 ng TE/kg 13.6 ng TE/kg
- scenario S3: 13.7 ng TE/kg 25.2 ng TE/kg

Pertanto le stime ottenute per gli anni nei quali è stato effettuato il campionamento si possono sintetizzare con i valori riportati nella successiva Tabella 7.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

Tabella 7: stime delle concentrazioni di PCDD/F nei terreni all'anno 2003 e all'anno 2004 (considerando i 3 scenari emissivi).

posizione	Tempo di dimezzamento pari a 9 anni	Tempo di dimezzamento pari a 15 anni
Concentrazione nel terreno (ng TE/kg) all'anno 2003		
punto_monitor_1	0.8 ÷ 4.0	1.4 ÷ 7.4
punto_monitor_2	0.6 ÷ 1.5	1.0 ÷ 2.7
Punto di massima deposizione	4.7 ÷ 13.7	8.7 ÷ 25.2
Concentrazione nel terreno (ng TE/kg) all'anno 2004		
punto_monitor_1	0.7 ÷ 3.7	1.4 ÷ 7.1
punto_monitor_2	0.5 ÷ 1.3	1.0 ÷ 2.6
Punto di massima deposizione	4.7 ÷ 12.7	8.3 ÷ 24.1

Ovviamente le stime possono essere estese agli anni recenti, ottenendo ad esempio per il 2013 i valori riportati in Tabella 8 (i quali corrispondono a moltiplicare il valore C_0 per 1.3 o 3.5).

Tabella 8: stime delle concentrazioni di PCDD/F nei terreni all'anno 2013 (considerando i 3 scenari emissivi).

posizione	Tempo di dimezzamento pari a 9 anni	Tempo di dimezzamento pari a 15 anni
Concentrazione nel terreno (ng TE/kg) all'anno 2013		
punto_monitor_1	0.3 ÷ 1.7	0.9 ÷ 4.5
punto_monitor_2	0.2 ÷ 0.6	0.6 ÷ 1.6
Punto di massima deposizione	2.0 ÷ 5.9	5.2 ÷ 15.2

Sintesi conclusiva

In sintesi, i risultati precedentemente ottenuti - considerando sia l'incertezza dovuta agli scenari emissivi, sia quella sul punto di campionamento, sia quella sul tempo di dimezzamento dei composti nel suolo - consentono di individuare i seguenti intervalli di stima delle concentrazioni di PCDD/F nei suoli nelle aree dei due punti di campionamento, con riferimento all'anno 2003:

- punto_monitor_1 0.8 ÷ 7.4 ng TE/kg
- punto_monitor_2 0.6 ÷ 2.7 ng TE/kg

Relativamente all'anno 2004 si individuano invece i seguenti intervalli di stima:

- punto_monitor_1 0.7 ÷ 7.1 ng TE/kg
- punto_monitor_2 0.5 ÷ 2.6 ng TE/kg

Si segnala che correzioni anche significative a queste stime potrebbero essere introdotte dall'impiego di differenti valori per la densità del terreno e dalla valutazione della frazione secca del terreno rispetto alla quale sono espressi i valori di riferimento.

Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it

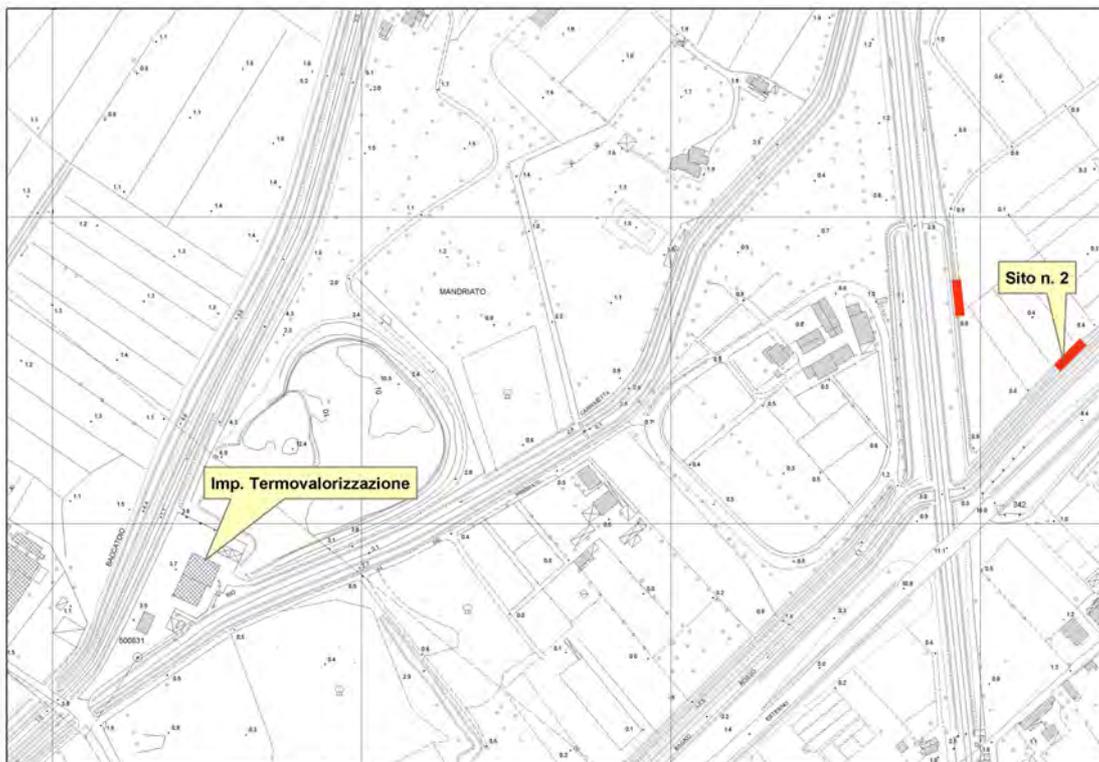
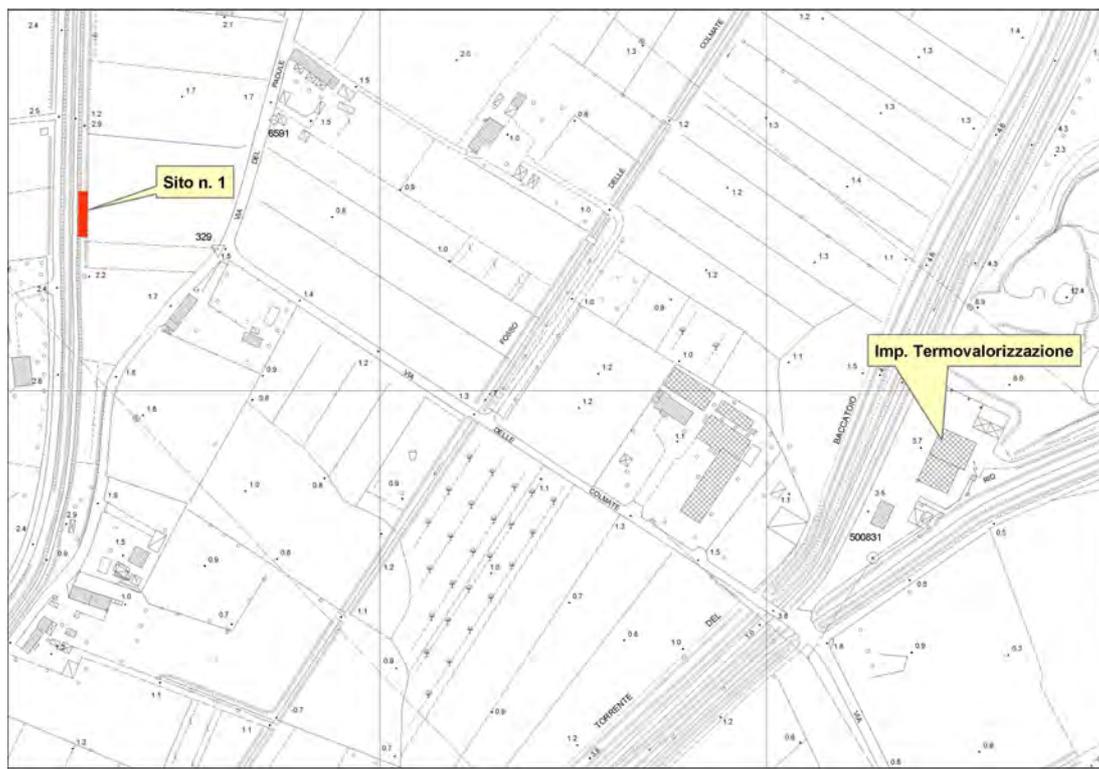
Riferimenti bibliografici

- [ARPAT 2012] “Stima della dispersione delle sostanze inquinanti emesse in atmosfera da parte dell’impianto di termodistruzione dei rifiuti solidi urbani in località Falascaia, Pietrasanta (LU) – Parte C - Simulazioni della dispersione - Metodologia, tecniche adottate e risultati ottenuti”, ARPAT, 2012.
- [ARPAT 2013] “Studio per la stima di valori di fondo di PCDD e PCDF nei suoli della Toscana”, ARPAT, 2013.
- [APAT 2006] “Diossine Furani e PCB”, APAT, 2006.
- [ISS 1988] A. Di Domenico, “Orientamenti per la definizione di livelli d’azione ambientali per policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF)”, ISTISAN 88/3, Roma, 1988.

Dott. Franco Giovannini
Settore Modellistica previsionale
Area Vasta Centro

Firenze, 4 giugno 2014

Appendice: posizione dei punti di campionamento dei terreni



Area Vasta Centro

Settore Modellistica previsionale

via Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

tel. 055.32061, fax 055.3206218 - p.iva 04686190481 - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

www.arpat.toscana.it - urp@arpat.toscana.it