



Sezione Provinciale di Ferrara  
Servizio Sistemi Ambientali  
Via Bologna, 534  
44124 Ferrara  
Tel. 0532 234811 Fax 0532 234801  
PEC: [aoofoe@cert.arpa.emr.it](mailto:aoofoe@cert.arpa.emr.it)

# “Diana – Indagine 2013” RELAZIONE

Studio delle potenziali ricadute al suolo nelle  
aree circostanti l’impianto di incenerimento  
di rifiuti non pericolosi situato in Cassana  
(Ferrara)

A cura di: Manuela Mengoni  
Simona Coppi  
Enrica Canossa

Hanno collaborato: Francesca Galliera  
Danilo Vallieri

Ferrara, luglio 2014

# INDICE

## Relazione

### 1. Ambito dell'indagine

1.1 Piano di campionamento

1.2 Obiettivi dello studio e metodologia di elaborazione

### 2. Risultati dell'indagine: granulometria

### 3. Metalli

3.1 Analisi di correlazione

3.2 Analisi spaziale

3.3 Analisi multivariata

3.4 Analisi temporale

### 4. PCDD (diossine) e PCDF (furani)

### 5. IPA (idrocarburi policiclici aromatici)

### 6. Conclusioni

Bibliografia

# Studio delle potenziali ricadute al suolo nelle aree circostanti l'impianto di incenerimento di rifiuti non pericolosi situato in Cassana (Ferrara)

## 1. Ambito dell'indagine

Lo studio è stato realizzato dall'ARPA, Sezione Provinciale di Ferrara, in seguito alla convenzione che Herambiente ha stipulato con l'Agenzia nel gennaio del 2014.

Tale studio è previsto dal Protocollo di sorveglianza ambientale e sanitaria collegato alle emissioni del termovalorizzatore di Ferrara (provvedimento di AIA n. 091987 del 30/10/2007 s.m.i.) ed alla relativa proposta tecnica formulata da Herambiente per il biennio 2013/2015.

Lo studio segue due precedenti indagini eseguite nella stessa area rispettivamente nel 2007<sup>1</sup> e nel 2010<sup>2</sup>.

Il termovalorizzatore è inserito nella Piccola Media Industria di Cassana ed è posto a ridosso del Polo chimico; a poca distanza sono presenti i nuclei abitativi di Cassana, Mizzana e Porotto.

L'impianto attuale è dotato di due emissioni convogliate al servizio delle due linee di incenerimento (denominate Linea 2 e Linea 3) che possono funzionare sia in modo contemporaneo che alternato. Le emissioni sono operative dal 2008 e hanno sostituito una precedente singola linea di incenerimento (Linea 1).

Al pari dei precedenti, il presente studio intende monitorare la presenza di microinquinanti organici e inorganici nel suolo circostante l'inceneritore, approfondendo il quadro conoscitivo delineato nel 2007 e nel 2010, attraverso l'osservazione delle variazioni spaziali e temporali degli analiti indagati (metalli, diossine e furani, idrocarburi policiclici aromatici), ricercando eventuali relazioni con la sorgente emissiva e tenendo conto dei fattori confondenti presenti nella zona.

Gli inquinanti ricercati nella presente indagine sono i medesimi del 2010, ad eccezione dei policlorobifenili (PCB), che qui non sono stati misurati essendo risultati in precedenza pressoché tutti inferiori ai limiti di quantificazione.

L'indagine è stata curata dal Servizio Sistemi Ambientali della sezione ARPA di Ferrara che si è avvalsa dei laboratori delle Sezioni ARPA di Ferrara e Ravenna per l'analisi dei campioni.

---

<sup>1</sup> 'Allegato Diana. Ricerca di microinquinanti nei suoli del comune di Ferrara in relazione all'impianto di incenerimento rifiuti di Via Diana-Canal Bianco': [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=1986&idlivello=445](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1986&idlivello=445).

<sup>2</sup> 'Diana - Indagine 2010, Relazione'. Studio delle potenziali ricadute al suolo nelle aree circostanti l'impianto di incenerimento di rifiuti non pericolosi situato in Cassana (Ferrara)': [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=3778&idlivello=445](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=3778&idlivello=445).

Il campionamento, effettuato nel mese di novembre 2013, ha riguardato complessivamente n.17 punti dislocati, come in passato, secondo una distribuzione a raggiera all'interno di un'area di 1,5 Km di raggio nell'intorno del camino dell'impianto. La scelta dell'area deriva da precedenti simulazioni modellistiche relative alla ricaduta media delle emissioni dell'inceneritore, con specifico riferimento al particolato, rappresentando questo un substrato al quale aderiscono gli inquinanti organici e inorganici indagati.

In **tabella 1.1** e **figura 1.1** sono riportati l'elenco dei vari siti di campionamento di suolo superficiale - comprensivo dei codici, della distanza dal camino e della relativa georeferenziazione - nonché l'immagine dell'area interessata.

I punti di misura del 2013 sono gli stessi del 2010 con le seguenti eccezioni: è stato eliminato il punto D13 (posto ad una distanza di circa 1.5 km a nord del camino) perché posto in area eccessivamente esposta a fattori interferenti; sono stati eliminati i punti D19 (posto a Villa Fulvia in area distante dall'inceneritore) e D20 (posto in località Fondo Reno, area inizialmente identificata come 'punto di controllo') perché rivelatisi in passato poco significativi ai fini del confronto.

CODICE	DISTANZA	UTMX	UTMY
D1	250 m N	701831	970967
D2	250 m E	702085	970782
D3	250 m S	701805	970503
D4	250 m W	701638	970741
D5	500 m N	701781	971203
D6	500 m E	702285	970732
D7	500 m S	701842	970243
D8	500 m W	701373	970622
D9	1 Km N	701778	971795
D10	1 Km E	702837	970602
D11	Porotto 1 Km S	701775	969686
D12	1 Km W	700821	970778
D14	1.5 Km E	703350	970656
D15	Porotto 1.5 Km S	701658	969333
D16	1.5 Km W	700349	970904
D17	Staz. Cassana 1.3 Km	702497	969556
D18	500 m max ricad.	702387	970516

**Tab. 1.1:** identificazione e localizzazione (coordinate UTM32\*-ED50) dei siti di campionamento.

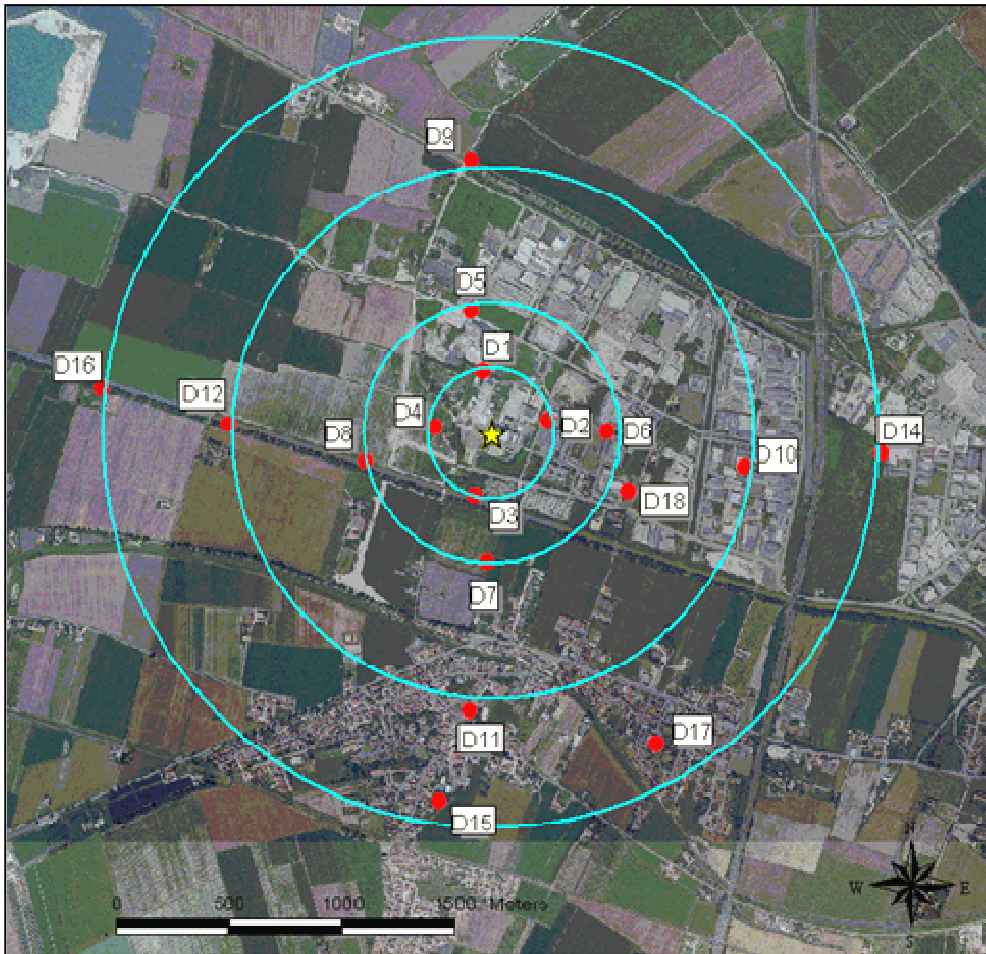


Fig. 1.1 ● Siti di campionamento suolo intorno all'inceneritore di Via Diana-Canal Bianco  
 ★ Camino inceneritore

I campionamenti sono stati eseguiti raccogliendo una colonna indisturbata di suolo fino alla profondità di 10 cm e le aliquote prelevate sono del tipo *medio-composito*, ottenuto mescolando quattro campioni puntuali prelevati all'interno di un'area (sito di campionamento) di circa 10 m<sup>2</sup>, figura 1.2.

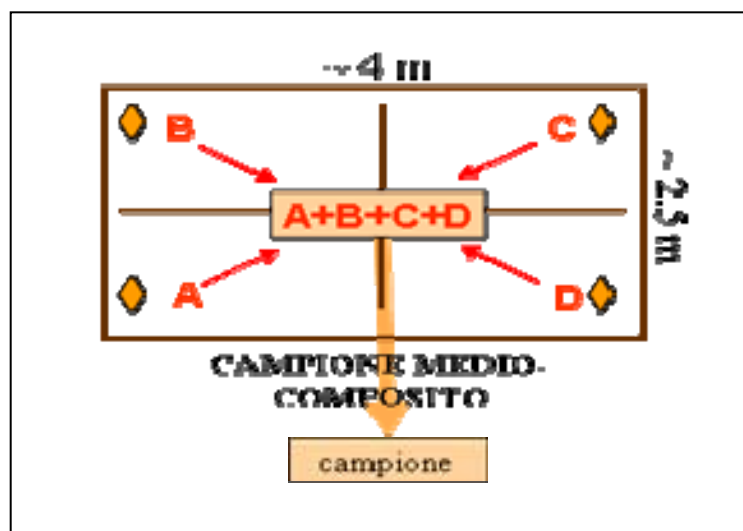


Fig. 1.2: Metodologia di campionamento del campione medio-composito.

## 1.1 Piano di campionamento

L'attività di campionamento è stata eseguita nel mese di novembre 2013, a circa tre anni di distanza dalla precedente indagine (luglio 2010).

I parametri ricercati sono:

- Scheletro (% s.s.)
- Residuo a 105°C (%)
- Granulometria (% di *sabbia – limo – argilla*)
- 14 metalli (mg/Kg s.s.): *antimonio (Sb), arsenico (As), berillio (Be), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo totale (Cr tot), mercurio (Hg), nichel (Ni), piombo (Pb), rame (Cu), stagno (Sn), tallio (Tl), vanadio (V), zinco (Zn)*
- 7 Diossine (pg/g s.s.): *2,3,7,8-T4CDD; 1,2,3,7,8-P5CDD; 1,2,3,4,7,8-H6CDD; 1,2,3,6,7,8-H6CDD; 1,2,3,7,8,9-H6CDD; 1,2,3,4,6,7,8- H7CDD; O8CDD*
- 10 Furani (pg/g s.s.): *2,3,7,8-T4CDF; 1,2,3,7,8-P5CDF; 2,3,4,7,8-P5CDF; 1,2,3,4,7,8-H6CDF; 1,2,3,6,7,8-H6CDF; 2,3,4,6,7,8-H6CDF; 1,2,3,7,8,9-H6CDF; 1,2,3,4,6,7,8-H7CDF; 1,2,3,4,7,8,9-H7CDF; O8CDF*
- 21 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) (ng/g s.s.): *naftalene, acenaftene, acenaftilene, fluorene, fenantrene, fluorantene, antracene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b+)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, benzo(e)pirene, dibenzo(a,h)antracene, indeno(1,2,3,c,d)pirene, benzo(g,h,i)perilene, dibenzo(a,e)pirene, dibenzo(a,i)pirene, dibenzo(a,h)pirene, dibenzo(a,l)pirene.*

Gli inquinanti ricercati sono gli stessi della precedente indagine del 2010, ad eccezione dei PCB, del *selenio* e del *cromo VI* che non sono stati qui ricercati; i PCB avevano dato valori pressoché tutti inferiori al limite di quantificazione, mentre il *selenio* e il *cromo VI* avevano fatto rilevare concentrazioni tutte molto basse e comunque poco significative.

Si è invece provveduto ad incrementare il profilo degli IPA in analogia a quanto previsto nel monitoraggio delle emissioni in atmosfera, pertanto sono stati inclusi nella presente indagine tre nuovi composti: *perilene, ciclopenta(c,d)pirene, dibenzo(a,e)fluorantene.*

## 1.2 Obiettivi dello studio e metodologia di elaborazione

I risultati forniti dal laboratorio sono stati organizzati in matrice e sono stati processati con l'obiettivo di individuare:

- l'esistenza di 'fattori confondenti' che sono responsabili della presenza di: sostanze di origine antropica derivanti dal 'fondo' d'inquinamento atmosferico e dagli insediamenti industriali (media scala) e urbani; fonti di pressioni prossime all'area indagata (pratiche agricole, traffico veicolare, ecc.); micro-contaminazioni dei suoli; componenti naturali dei suoli (ad esempio alcuni metalli);
- le relazioni di alcuni elementi con il 'fondo naturale' del suolo;
- le relazioni tra la sorgente emissiva ed alcune sostanze: variazioni spaziali di concentrazione di microinquinanti e variazioni in funzione della distanza dal camino dell'impianto di incenerimento;
- le variazioni temporali tra le campagne di monitoraggio del 2007, 2010 e 2013.

Lo schema di elaborazione seguito è lo stesso maturato nelle precedenti indagini e negli studi sui suoli circostanti gli inceneritori situati nel territorio provinciale e si sviluppa in:

- analisi della distribuzione dei dati e misura della dispersione e della variabilità (media, deviazione standard, percentile, varianza, coefficiente di variazione, curtosi, *box-plot*, ecc.);
- analisi delle relazioni tra le variabili (matrice dei coefficienti di correlazione, rette di regressione);
- elaborazione spaziale (attraverso *software Surfer*) che consente di apprezzare le variazioni delle variabili nell'area intorno al camino;
- elaborazione esplorativa per stabilire la similarità tra  $n$  variabili (*Cluster Analysis*);
- elaborazioni finalizzate a ridurre la dimensionalità di una matrice di dati, composta da  $n$  variabili tra loro correlate e trovare eventuali relazioni 'nascoste' tra le stesse (*Factor Analysis*).

Altre rappresentazioni grafiche sono state utilizzate per illustrare confronti temporali dei valori determinati durante le tre campagne d'indagine 2007, 2010 e 2013.

Per il trattamento e la rappresentazione dei dati che sono risultati inferiori ai limiti di quantificazione si è preso come riferimento quanto espresso dal *Rapporto ISTISAN 04/15 – 2004* che prevede di valorizzare i valori inferiori a detti limiti pari alla metà degli stessi.

## 2. Risultati dell'indagine: granulometria

Ai fini della definizione delle caratteristiche fisiche dei suoli e dell'elaborazione con gli altri parametri indagati, come nell'indagine del 2010, è stata ricercata la composizione granulometrica delle particelle minerali inferiori ai 2 mm (frazione inorganica), rappresentata da:

- *sabbia*: le particelle sabbiose hanno un diametro compreso tra 2000  $\mu$  e 50  $\mu$ ;
- *limo*: le particelle limose hanno un diametro compreso tra 50  $\mu$  e 2  $\mu$ ;
- *argilla*: le particelle argillose hanno un diametro < 2  $\mu$ .

In **tabella 2.1** è riportato un quadro riassuntivo delle porzioni di *sabbia*, *limo* e *argilla* rilevate nei 17 siti indagati.

	Sabbia	Limo	Argilla
SITO	%	%	%
D1	29,5	45,7	24,8
D2	39,8	46,9	13,3
D3	24,7	59,5	15,8
D4	49,1	43,4	7,5
D5	20,5	55,2	24,3
D6	33,8	48,9	17,3
D7	25,4	47,2	27,4
D8	45,1	43,4	11,5
D9	13,7	51,2	35,1
D10	35,5	45,7	18,8
D11	28,7	55,0	16,3
D12	16,4	44,4	39,2
D14	58,8	31,9	9,3
D15	34,5	53,2	12,3
D16	17,1	51,0	31,9
D17	18,2	57,5	24,3
D18	17,4	50,2	32,4

**Tab. 2.1:** percentuale di sabbia, limo e argilla rilevata nei campioni di suolo.

La percentuale di sabbia, limo, argilla definisce la *tessitura* del suolo. Tale proprietà influenza notevolmente le caratteristiche fisiche del terreno come ad esempio la porosità, la capacità di scambio cationico, la mobilità dei metalli (molti di questi sono adsorbiti dalle micelle argillose o sono inseriti nella struttura mineralogica dei sedimenti che conservano la composizione chimica della roccia d'origine).

Le classi tessiture dei suoli campionati, determinate sulla base della proporzione relativa delle singole frazioni dimensionali, sono pressoché confrontabili con quanto emerso nel 2010.

In **figura 2.1** è riportata la classificazione tessiturale secondo USDA-NCRS [1].



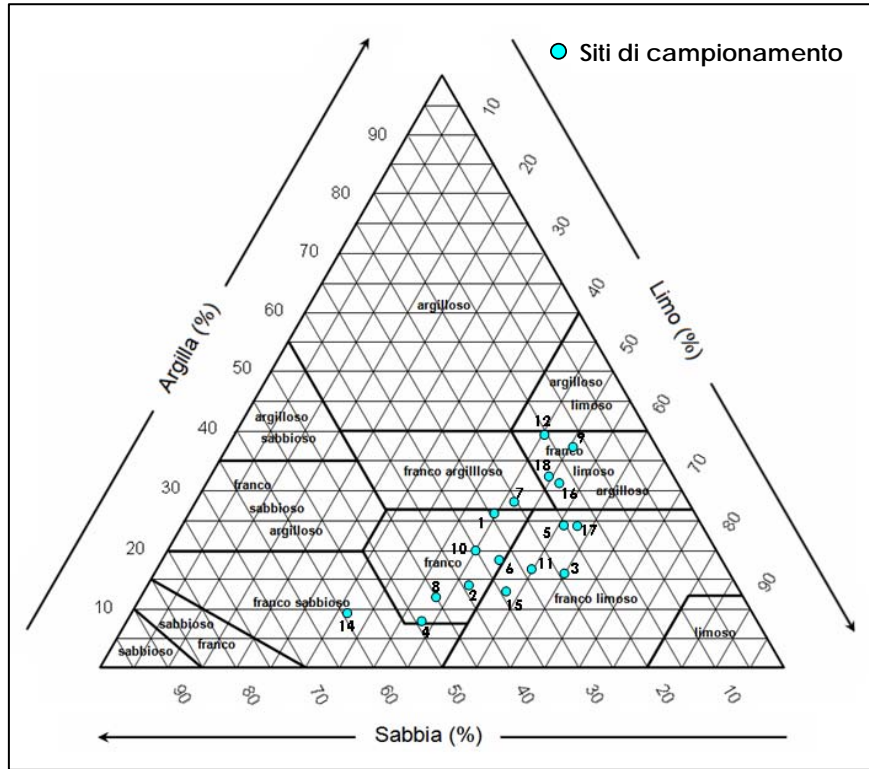


Fig. 2.1: Triangolo USDA-NRCS, individuazione delle classi tessiturale dei campioni di suolo.

Come confronto si riporta in **figura 2.2** la distribuzione spaziale della componente argillosa contenuta nei campioni di suolo prelevati nell'area di studio nel 2013 e nel 2010, ottenuta mediante il *software Surfer* e il metodo statistico d'interpolazione *Kriging* dei valori misurati.

Come si può osservare dal confronto fra le due elaborazioni, i risultati sono pressoché sovrapponibili, a indicare che in linea generale i suoli campionati sono rimasti invariati nel tempo.

Argilla (2013)

Argilla (2010)

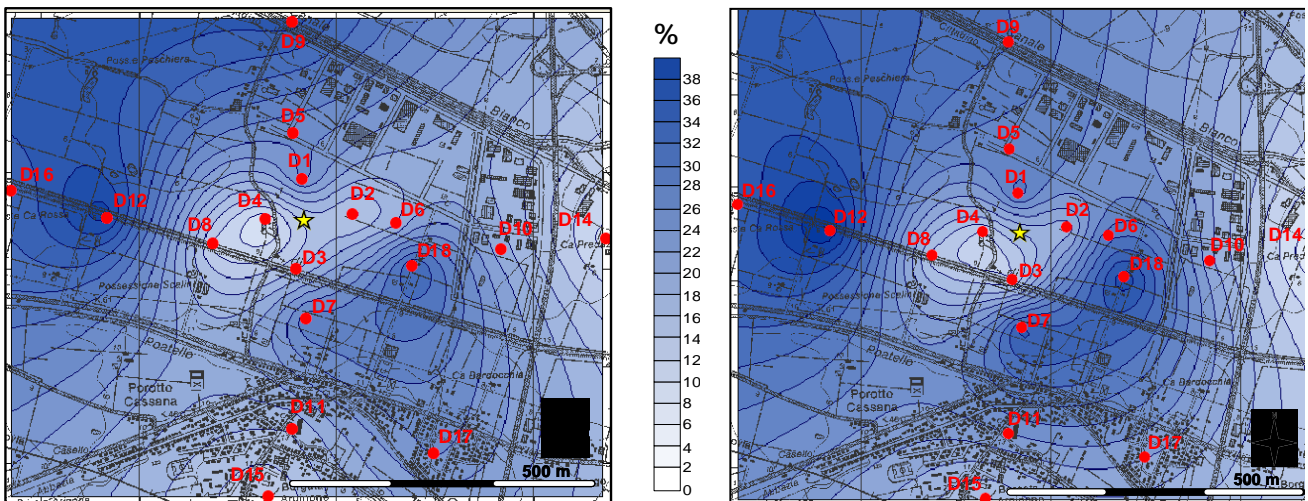


Fig. 2.2: distribuzione spaziale del contenuto in argilla (%).

- Siti di campionamento suolo intorno all'inceneritore di Via Diana-Canal Bianco
- ★ Camino inceneritore

### 3. Metalli

Nella **tabella 3.1** sono riportati i valori dei metalli ricercati nei campioni di suolo superficiale dei 17 siti indagati, espressi come mg/Kg di sostanza secca non comprensiva dello *scheletro*, intendendo con questo termine la frazione superiore a 2 mm. Tale scelta è determinata dal fatto che l'obiettivo dell'indagine non tende ad accertare una potenziale contaminazione dei suoli ai sensi del D.Lgs 152/2006 (che si basa su dati di concentrazione riferiti a campioni contenenti lo scheletro), ma ha lo scopo di rendere più evidenti eventuali le differenze fra i vari siti.

METALLO	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo tot	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
SITO	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.
D1	<0,5	12,0	1,1	<0,5	12,8	166,0	<0,5	113,0	14,1	33,0	2,5	<0,5	74,9	86
D2	<0,5	10,8	0,9	<0,5	11,4	142,6	<0,5	95,0	11,5	25,1	2,3	<0,5	58,2	69
D3	0,6	11,2	1,2	<0,5	14,1	168,0	<0,5	119,5	23,5	53,4	3,5	<0,5	76,1	125
D4	0,6	7,6	0,8	0,5	12,4	128,9	<0,5	79,8	32,4	81,5	9,3	<0,5	51,7	161
D5	<0,5	24,9	1,3	<0,5	14,7	169,9	<0,5	123,0	19,3	49,4	2,9	<0,5	75,0	95
D6	<0,5	12,5	1,0	<0,5	12,0	135,0	<0,5	92,9	14,0	32,2	2,1	<0,5	61,5	78
D7	<0,5	10,4	1,3	<0,5	13,4	143,2	<0,5	103,3	16,7	56,3	3,6	<0,5	78,0	146
D8	0,5	11,2	0,9	<0,5	11,6	147,4	<0,5	94,5	17,9	31,2	2,3	<0,5	62,1	77
D9	<0,5	17,3	1,4	<0,5	14,9	178,2	<0,5	126,4	18,3	40,2	2,7	<0,5	89,3	96
D10	<0,5	11,6	1,2	<0,5	14,6	163,7	<0,5	109,5	20,2	29,6	2,4	<0,5	67,5	91
D11	<0,5	7,1	1,2	<0,5	13,3	97,2	<0,5	60,3	19,1	35,3	2,3	<0,5	73,9	85
D12	<0,5	15,7	1,6	<0,5	17,1	201,7	<0,5	147,0	19,6	45,8	3,1	0,5	102,0	116
D14	<0,5	7,5	0,8	<0,5	10,2	126,9	<0,5	83,2	15,0	21,8	2,1	<0,5	46,1	84
D15	<0,5	5,6	0,9	<0,5	9,2	63,3	<0,5	42,6	11,4	30,5	1,6	<0,5	54,4	69
D16	<0,5	12,0	1,4	<0,5	16,1	175,2	<0,5	126,6	28,7	54,8	3,8	<0,5	76,3	175
D17	<0,5	6,9	1,6	<0,5	14,2	89,0	<0,5	59,6	23,6	43,9	2,6	<0,5	79,8	140
D18	<0,5	28,6	1,1	<0,5	13,1	183,7	<0,5	131,6	16,5	49,6	3,3	<0,5	78,4	101

Tab. 3.1: metalli rilevati nei campioni di suolo.

Nella **tabella 3.2** è riportata l'analisi preliminare del *set* di dati finalizzata a stabilire l'applicabilità di criteri statistici sui valori di concentrazione determinati. Poichè il *mercurio* è risultato per tutti i siti inferiore al limite di quantificazione (celle a fondo giallo in **tabella 3.1**), non è stato considerato nelle elaborazioni grafiche e statistiche successive; analogamente per *antimonio*, *cadmio* e *tallio* i cui valori sono risultati al di sotto o prossimi al limite di rilevabilità strumentale.

Per tutti gli altri metalli (*arsenico*, *berillio*, *cobalto*, *cromo totale*, *nichel*, *piombo*, *rame*, *stagno*, *vanadio*, *zinco*) l'analisi *statistica descrittiva* indica una distribuzione assimilabile a quella *normale*.

Tuttavia si stima una più marcata asimmetria della forma della distribuzione dei dati relativi all'*arsenico* ed allo *stagno*, ulteriormente evidenziata graficamente dall'analisi statistica *Box-and-Whisker* (**figura 3.1**); per l'*arsenico* è stato rilevato un valore di 28,6 mg/kg s.s. nel sito D18, mentre per lo *stagno* un valore di 9,3 mg/Kg s.s. nel sito D4, entrambi valori che si discostano in maniera significativa dal resto del *dataset*.

Tali valori confermano l'andamento della precedente indagine e, come per il passato, l'indagine statistica illustrata nel seguito porta a ritenere che tali ritrovamenti siano ascrivibili più a una micro-contaminazione puntuale che all'emissione del camino.

METALLO	Arsenico	Berillio	Cobalto	Cromo tot	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Vanadio	Zinco
n° osservazioni	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
min	5,6	0,8	9,2	63,3	42,6	11,4	21,8	1,6	46,1	69,0
max	28,6	1,6	17,1	201,7	147,0	32,4	81,5	9,3	102,0	175,0
media	12,5	1,2	13,2	145,9	100,5	18,9	42,0	3,1	70,9	105,5
mediana	11,2	1,2	13,3	147,4	103,3	18,3	40,2	2,6	74,9	95,0
dev.std	6,2	0,3	2,0	36,6	28,6	5,6	14,8	1,7	14,1	32,7
percentile 10°	7,0	0,9	10,9	93,9	60,0	13,0	27,8	2,1	53,3	73,8
percentile 90°	20,3	1,5	15,4	180,4	128,6	25,6	55,4	3,7	83,6	152,0
percentile 95°	25,6	1,6	16,3	187,3	134,7	29,4	61,3	4,9	91,8	163,8
varianza	38,5	0,1	4,1	1340,7	817,9	31,8	219,4	2,9	199,0	1072,4
cv%	49,5%	22,0%	15,3%	25,1%	28,5%	29,8%	35,3%	55,5%	19,9%	31,0%
errore std	1,5	0,1	0,5	8,9	6,9	1,4	3,6	0,4	3,4	7,9
asimmetria	1,6	0,2	-0,1	-0,8	-0,5	1,0	1,1	3,3	0,2	0,9
curtosi	2,3	-0,8	0,0	0,3	-0,4	0,9	1,7	12,3	0,2	-0,3

Tab. 3.2: statistica descrittiva dei dati riferiti ai metalli.

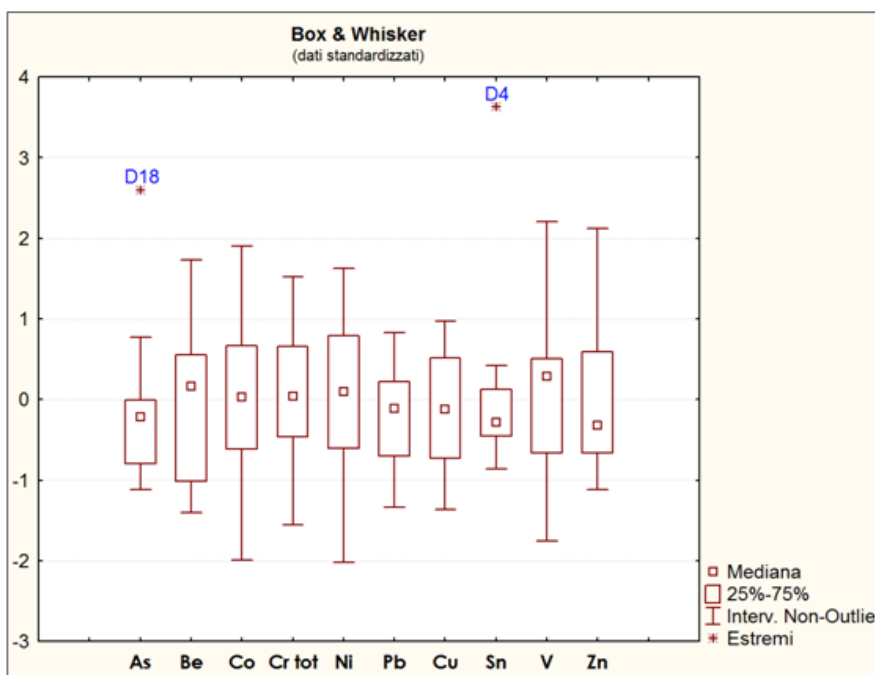


Fig. 3.1: rappresentazione grafica 'Box-and-Whisker plot' dei metalli indagati.

Vale la pena qui riportare l'esito di recenti studi<sup>3</sup> svolti dalla Regione Emilia-Romagna sulle distribuzioni spaziali del contenuto di fondo naturale e/o naturale-antropico di metalli nei suoli della pianura emiliano-romagnola [2,3].

<sup>3</sup> <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/metalli-pesanti>.

Questi studi hanno messo in luce che le concentrazioni che determinano il contenuto naturale-antropico dei metalli negli orizzonti superficiali dei suoli (*top soil* ad uso agricolo) possono dipendere da diversi fattori: provenienza del *parent material*, tessitura, grado evolutivo, contenuto di sostanza organica, uso del suolo. Per alcuni di essi la presenza di concentrazioni che superano il valore soglia della normativa ambientale dipende, in assenza di apporti antropici, dalla composizione mineralogica e granulometrica dei sedimenti e dalla loro alterazione legata ai processi pedogenetici.

In particolare è emerso che gli elevati valori di *cromo* e *nicel* all'interno dei sedimenti di provenienza 'padana' sono attribuibili alla presenza dei metalli stessi in complessi ultramafici delle Alpi Occidentali e dell'Appennino Settentrionale, drenati dal Po e da altri suoi affluenti.

La distribuzione del contenuto naturale-antropico di *rame* e *zinco* tende a essere disomogenea nei suoli regionali e generalmente al di sotto dei limiti di legge; elevate concentrazioni sono attribuibili all'uso e gestione del suolo e, in maniera meno rilevante, a fattori di tipo naturale.

Anche il *piombo*, distribuito omogeneamente in tutta la regione, mostra un contenuto naturale-antropico inferiore al limite di legge e possiede una componente naturale pressoché nulla, mancando nella nostra regione rocce ad elevato contenuto naturale che possano influenzare il *parent material* dei suoli; inoltre la contaminazione diffusa è principalmente legata al *fall out* atmosferico.

I valori di concentrazione dello *stagno* nei suoli della pianura ferrarese superano, per la quasi totalità dei casi, il livello soglia stabilito dal D.Lgs 152/2006 per i siti di tipo 'A' (pari a 1 mg/Kg s.s.); i caratteri del suolo che più ne condizionano il contenuto sono la sostanza organica e la tessitura; vi è però anche una rilevante componente antropica, costituita dalle deposizioni atmosferiche e dall'uso e gestione del suolo (utilizzo di fitofarmaci, coltivazione della barbabietola, distribuzione di terreno di 'risultato' nelle aree limitrofe agli zuccherifici).

Nei suoli alluvionali ricchi di argilla e di materiale organico del comprensorio ferrarese, in condizioni estremamente riducenti, si possono rilevare concentrazioni di *arsenico* che superano il valore normato dal D.L.gs 152/2006.

Il contenuto naturale-antropico del *vanadio* nei suoli è legato principalmente alla tessitura (il limite di legge viene superato prevalentemente nei suoli a tessitura fine) e in modo meno rilevante alla provenienza del *parent material* e ai contributi antropici legati all'uso agricolo (concimi fosfatici).

Il raffronto dei valori dei metalli misurati nella presente indagine con quelli riportati nelle elaborazioni cartografiche regionali della distribuzione spaziale del fondo naturale-antropico [4], circoscritte all'area d'interesse, fa emergere per tutti i metalli (*arsenico*, *cromo totale*, *nicel*, *piombo*, *rame*, *stagno*, *vanadio*, *zinco*) un'ottima confrontabilità.

### 3.1 Analisi di correlazione

Al fine di valutare il grado di interdipendenza esistente tra i vari metalli (**tabella 3.1.1**) - e tra questi e la tessitura dei suoli, le sommatorie dei microinquinanti organici e la distanza dei siti rispetto al camino dell'inceneritore (**tabella 3.1.2**) - sono state elaborate le matrici dei coefficienti di correlazione. Per le stesse variabili si riporta in **figura 3.1.1** la matrice di *scatterplot* (grafico di dispersione).

Variabile	As	Be	Co	Cr tot	Ni	Pb	Cu	Sn	V	Zn
As	1,00	0,25	0,39	0,69	0,72	-0,09	0,16	-0,05	0,45	-0,07
Be	0,25	1,00	0,86	0,34	0,41	0,28	0,21	-0,15	0,90	0,43
Co	0,39	0,86	1,00	0,66	0,69	0,52	0,40	0,15	0,85	0,53
Cr tot	0,69	0,34	0,66	1,00	0,99	0,16	0,21	0,11	0,56	0,18
Ni	0,72	0,41	0,69	0,99	1,00	0,13	0,22	0,06	0,62	0,21
Pb	-0,09	0,28	0,52	0,16	0,13	1,00	0,79	0,76	0,14	0,84
Cu	0,16	0,21	0,40	0,21	0,22	0,79	1,00	0,87	0,22	0,83
Sn	-0,05	-0,15	0,15	0,11	0,06	0,76	0,87	1,00	-0,12	0,67
V	0,45	0,90	0,85	0,56	0,62	0,14	0,22	-0,12	1,00	0,28
Zn	-0,07	0,43	0,53	0,18	0,21	0,84	0,83	0,67	0,28	1,00

Tab. 3.1.1: coefficienti di correlazione 'r' tra i metalli ricercati (in rosso sono evidenziate le correlazioni significative a livello  $p < 0,01$ ).

Variabile	Distanza	Argilla	Limo	Sabbia	As	Be	Co	Cr tot	Ni	Pb	Cu	Sn	V	Zn	Somma PCDD/PCDF	Somma IPA
Distanza	1,00	0,10	-0,09	-0,03	-0,34	0,23	0,02	-0,37	-0,32	0,11	-0,21	-0,23	-0,03	0,13	0,28	-0,19
Argilla	0,10	1,00	0,24	-0,87	0,58	0,81	0,77	0,62	0,69	0,06	0,19	-0,13	0,90	0,30	-0,08	-0,36
Limo	-0,09	0,24	1,00	-0,69	0,15	0,49	0,32	-0,14	-0,06	0,17	0,24	-0,11	0,42	0,16	-0,59	0,07
Sabbia	-0,03	-0,87	-0,69	1,00	-0,51	-0,86	-0,74	-0,39	-0,49	-0,13	-0,26	0,16	-0,88	-0,31	0,36	0,23
As	-0,34	0,58	0,15	-0,51	1,00	0,25	0,39	0,69	0,72	-0,09	0,16	-0,05	0,45	-0,07	0,08	-0,18
Be	0,23	0,81	0,49	-0,86	0,25	1,00	0,86	0,34	0,41	0,28	0,21	-0,15	0,90	0,43	-0,08	-0,14
Co	0,02	0,77	0,32	-0,74	0,39	0,86	1,00	0,66	0,69	0,52	0,40	0,15	0,85	0,53	0,14	0,09
Cr tot	-0,37	0,62	-0,14	-0,39	0,69	0,34	0,66	1,00	0,99	0,16	0,21	0,11	0,56	0,18	0,29	0,10
Ni	-0,32	0,69	-0,06	-0,49	0,72	0,41	0,69	0,99	1,00	0,13	0,22	0,06	0,62	0,21	0,25	0,05
Pb	0,11	0,06	0,17	-0,13	-0,09	0,28	0,52	0,16	0,13	1,00	0,79	0,76	0,14	0,84	0,21	0,44
Cu	-0,21	0,19	0,24	-0,26	0,16	0,21	0,40	0,21	0,22	0,79	1,00	0,87	0,22	0,83	-0,04	0,29
Sn	-0,23	-0,13	-0,11	0,16	-0,05	-0,15	0,15	0,11	0,06	0,76	0,87	1,00	-0,12	0,67	0,10	0,35
V	-0,03	0,90	0,42	-0,88	0,45	0,90	0,85	0,56	0,62	0,14	0,22	-0,12	1,00	0,28	-0,15	-0,18
Zn	0,13	0,30	0,16	-0,31	-0,07	0,43	0,53	0,18	0,21	0,84	0,83	0,67	0,28	1,00	0,06	0,22
Somma PCDD/PCDF	0,28	-0,08	-0,59	0,36	0,08	-0,08	0,14	0,29	0,25	0,21	-0,04	0,10	-0,15	0,06	1,00	-0,02
Somma IPA	-0,19	-0,36	0,07	0,23	-0,18	-0,14	0,09	0,10	0,05	0,44	0,29	0,35	-0,18	0,22	-0,02	1,00

Tab. 3.1.2: coefficienti di correlazione 'r' tra i metalli e la distanza dal camino, la tessitura e le somme dei composti organici (in rosso sono evidenziate le correlazioni significative a livello  $p < 0,01$ ).

Dall'esame dei coefficienti di correlazione, in analogia con quanto emerso nelle indagini precedenti, viene confermata l'evidente relazione tra alcuni metalli. In particolare risultano forti le correlazioni tra *cromo totale* e  *nichel* e tra *berillio*, *cobalto* e *vanadio*; una forte relazione si riscontra anche tra *piombo*, *rame*, *stagno* e *zinco*.

Correlazioni significative per *berillio*, *cobalto*, *cromo totale*,  *nichel* e *vanadio* sono state registrate con la tessitura del suolo, in particolare con l'*argilla* e, in negativo, con la *sabbia*.

Non si rilevano invece correlazioni tra i metalli e la sommatoria di *diossine* e *furani* e neppure tra i metalli e la sommatoria degli IPA. Per questi ultimi, ai fini della confrontabilità con i dati delle

indagini pregresse, nel calcolo della sommatoria sono ricompresi i 21 IPA 'storicamente' ricercati durante le indagini dell'area, mentre sono esclusi i composti di nuovo inserimento (*perilene, ciclopenta(c,d)pirene, dibenzo(a,e)fluorantene*).

Non è parimenti possibile stabilire una relazione tra la distanza del camino dell'inceneritore e le concentrazioni rilevate per ogni singolo metallo, essendo 'non significativa' la correlazione tra le due grandezze.

Tali risultati sono sostanzialmente in linea con quanto riportato in letteratura per i suoli superficiali regionali e provinciali [2, 3, 5] e con quanto riscontrato in alcune indagini condotte nella vicina regione Veneto [6], pertanto le concentrazioni dei metalli ricercati possono essere riconducibili al contenuto geochimico naturale del suolo, alla tessitura ed all'impatto di diversi fattori antropici che insistono a scala più ampia e non sono associabili ad un'unica sorgente emissiva.

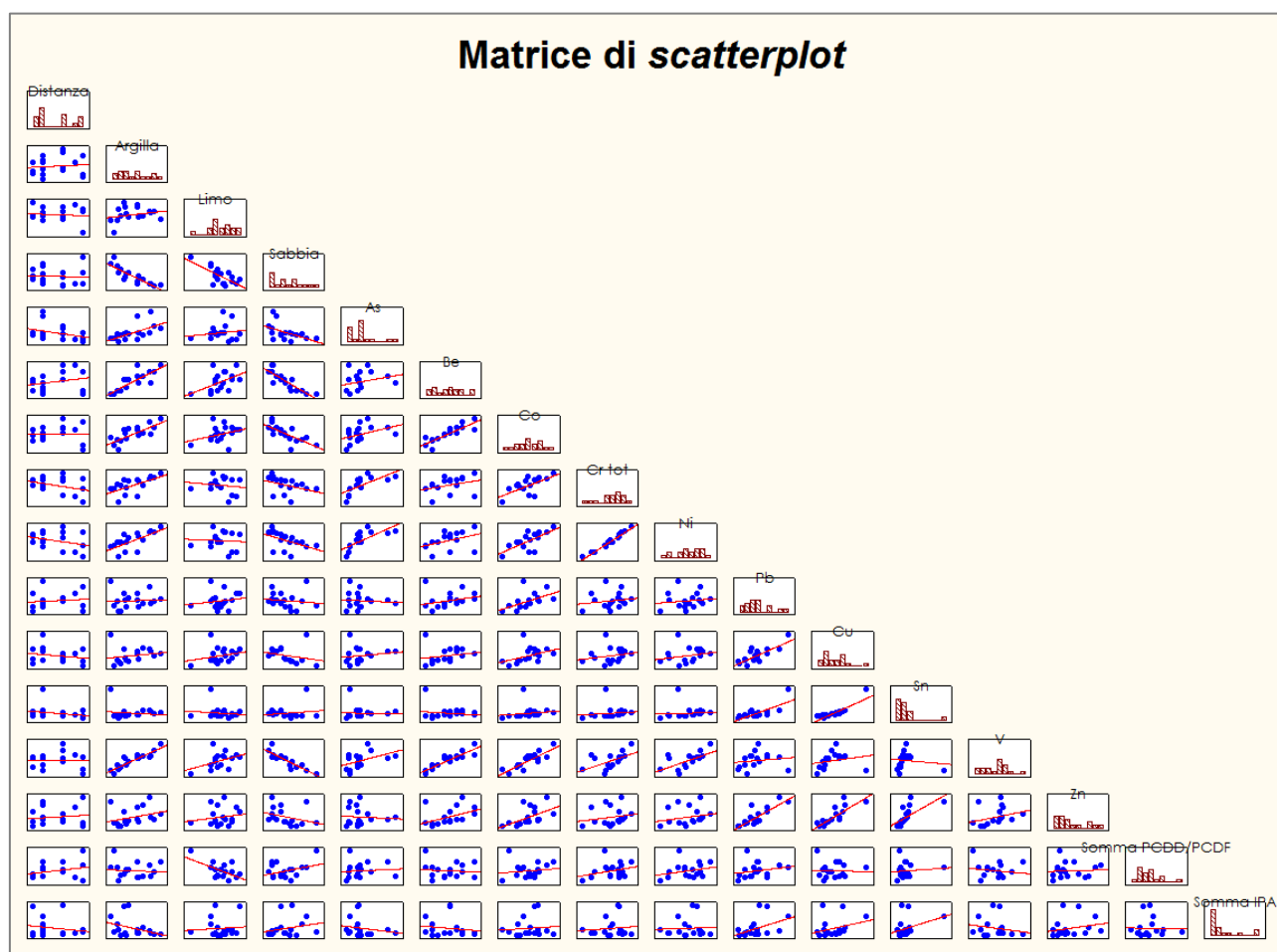


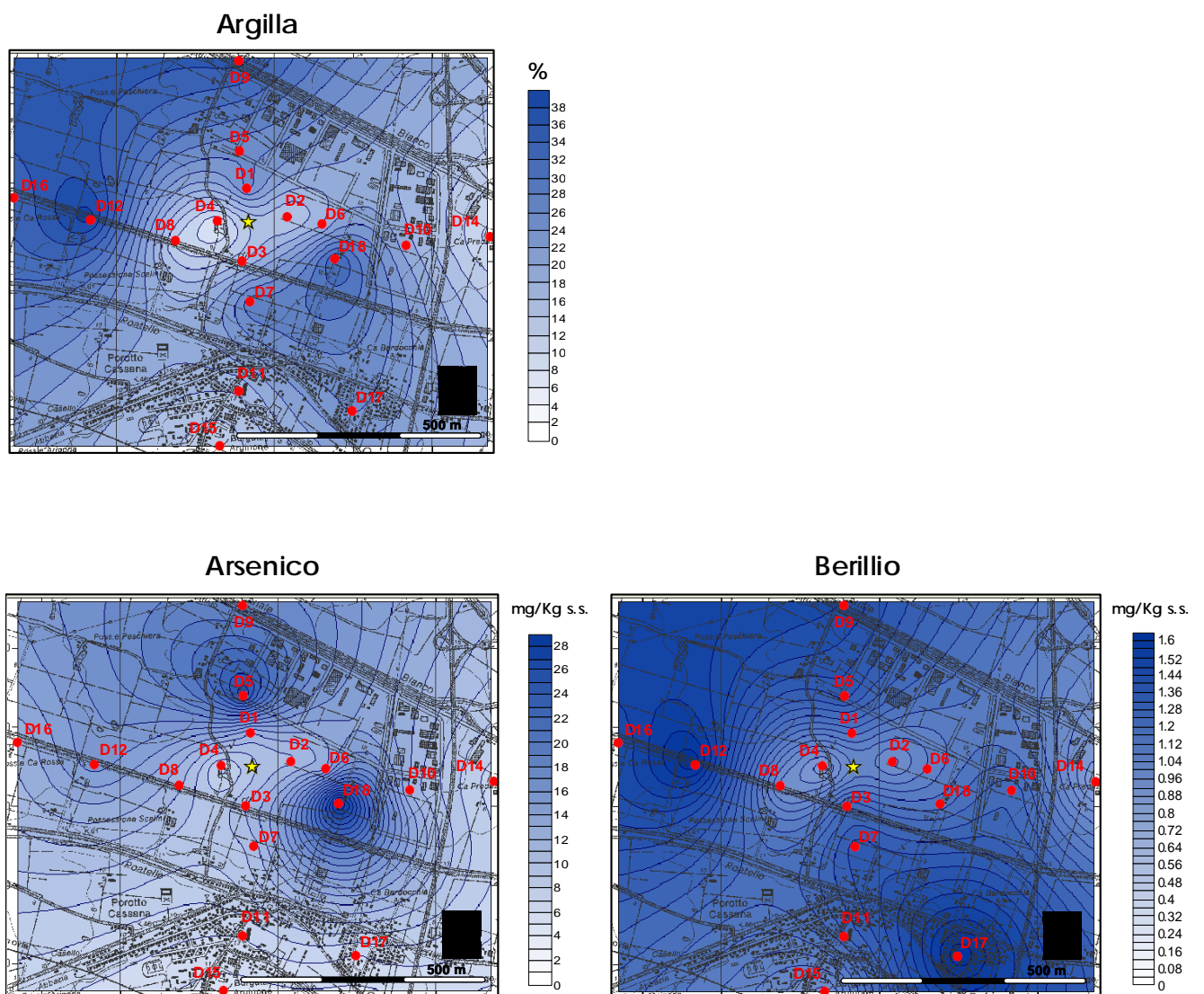
Fig. 3.1.1: grafici di dispersione relativi ai metalli, alla distanza dal camino, alla tessitura ed alle somme dei composti organici (in rosso sono evidenziate le rette di regressione).

## 3.2 Analisi spaziale

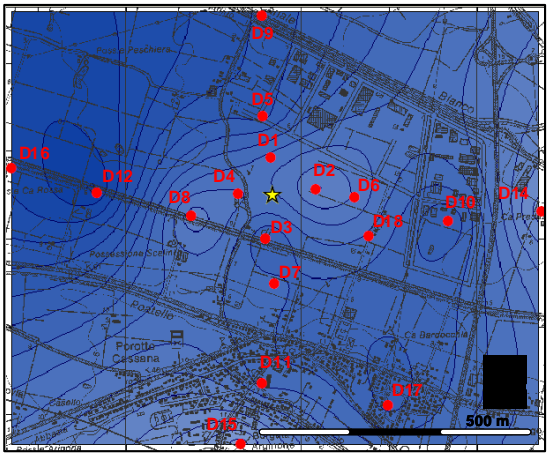
Allo scopo di ricercare l'eventuale esistenza di relazioni spaziali fra le concentrazioni dei metalli, la distanza dal camino e la tessitura (in particolare il contenuto di *argilla*) dei suoli indagati nell'area intorno all'inceneritore, si è effettuato un esame comparato delle immagini contenute in **figura 3.2.1**, ottenute mediante interpolazione statistica *Kriging*.

Fig. 3.2.1: mappe della distribuzione di argilla (%) e della concentrazione dei metalli (mg/Kg s.s.).

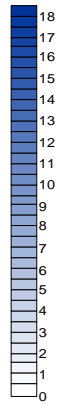
- Siti di campionamento suolo intorno all'inceneritore di Via Diana-Canal Bianco
- ★ Camino inceneritore



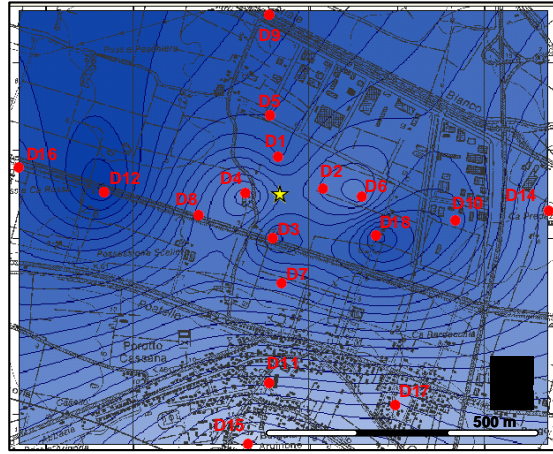
Cobalto



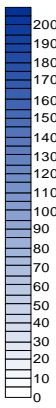
mg/Kg s.s.



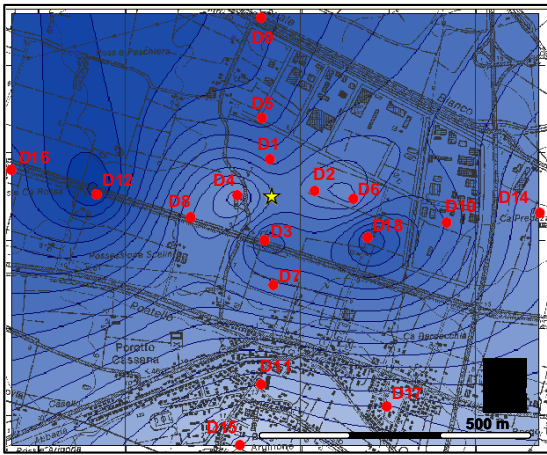
Cromo totale



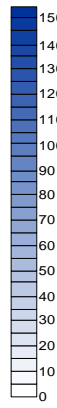
mg/Kg s.s.



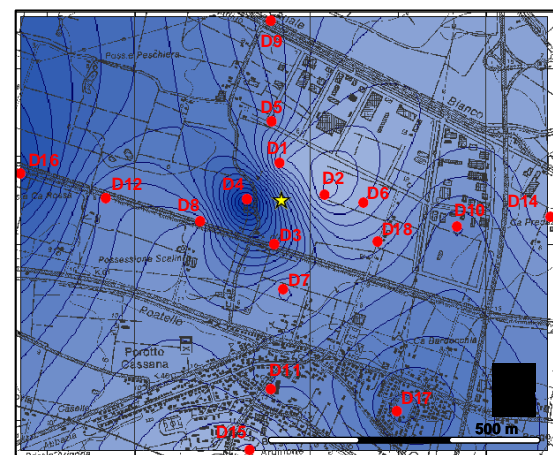
Nichel



mg/Kg s.s.



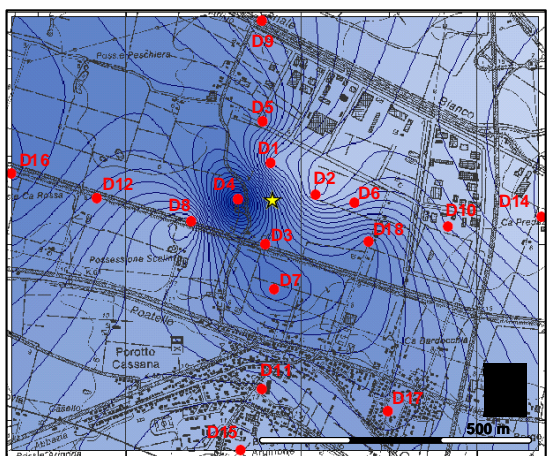
Piombo



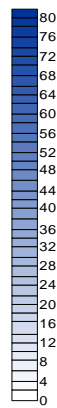
mg/Kg s.s.



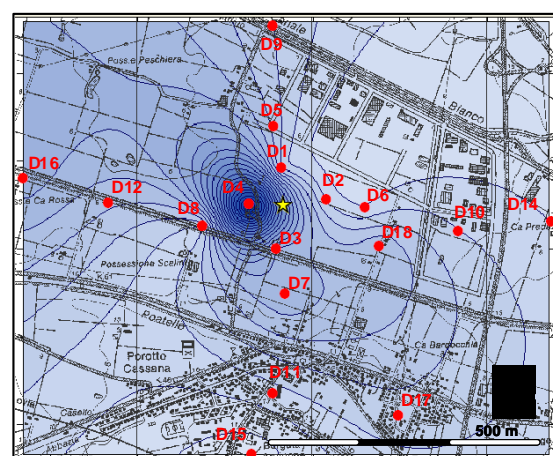
Rame



mg/Kg s.s.



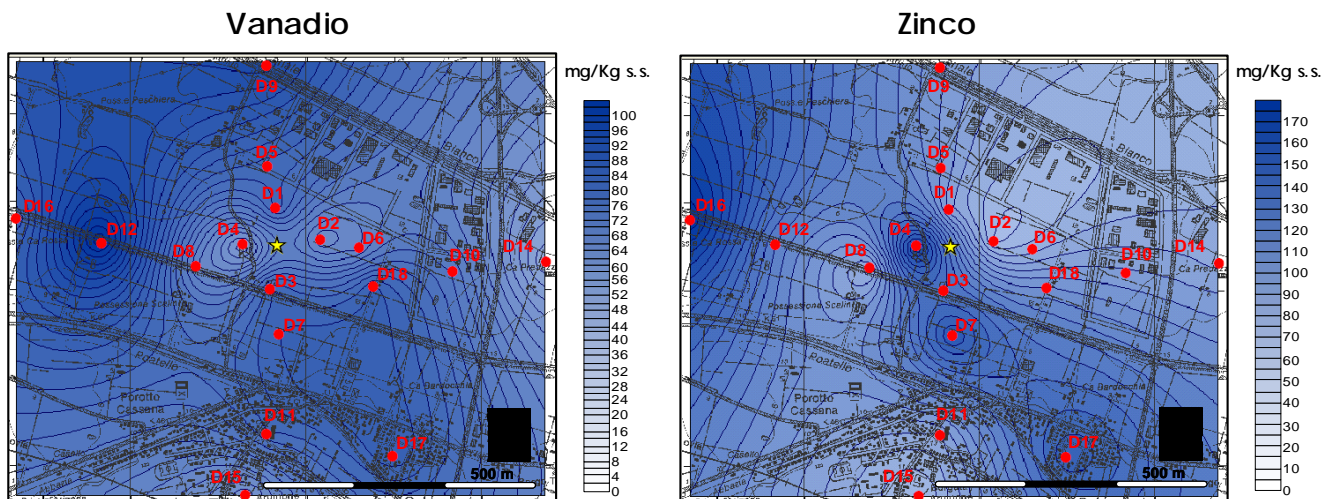
Stagno



mg/Kg s.s.







Dalle mappe di isoconcentrazione dei metalli risulta evidente la presenza di una sostanziale omogeneità di distribuzione fra l'*argilla* e i metalli come *berillio*, *cobalto*, *romo totale*, *nichel* e *vanadio*. Per i restanti metalli si osservano dei picchi isolati in alcuni siti, soprattutto in D4 e per l'*arsenico* in D5 e D18.

### 3.3 Analisi multivariata

Nel presente capitolo sono riportati i risultati dell'applicazione di ulteriori tecniche di elaborazione (analisi multivariata) che sono state applicate alla matrice dei dati per scopi esplorativi, interpretativi e per ottenere eventuali conferme degli esiti delle altre procedure applicate.

La *Cluster Analysis*, che utilizza algoritmi per accoppiare osservazioni o variabili in gruppi (*clusters*) di elementi positivamente correlati secondo livelli di somiglianze (qui indicati sull'asse delle ordinate attraverso la valutazione della distanza di legame), suggerisce possibili relazioni genetiche sulla base dei raggruppamenti così individuati.

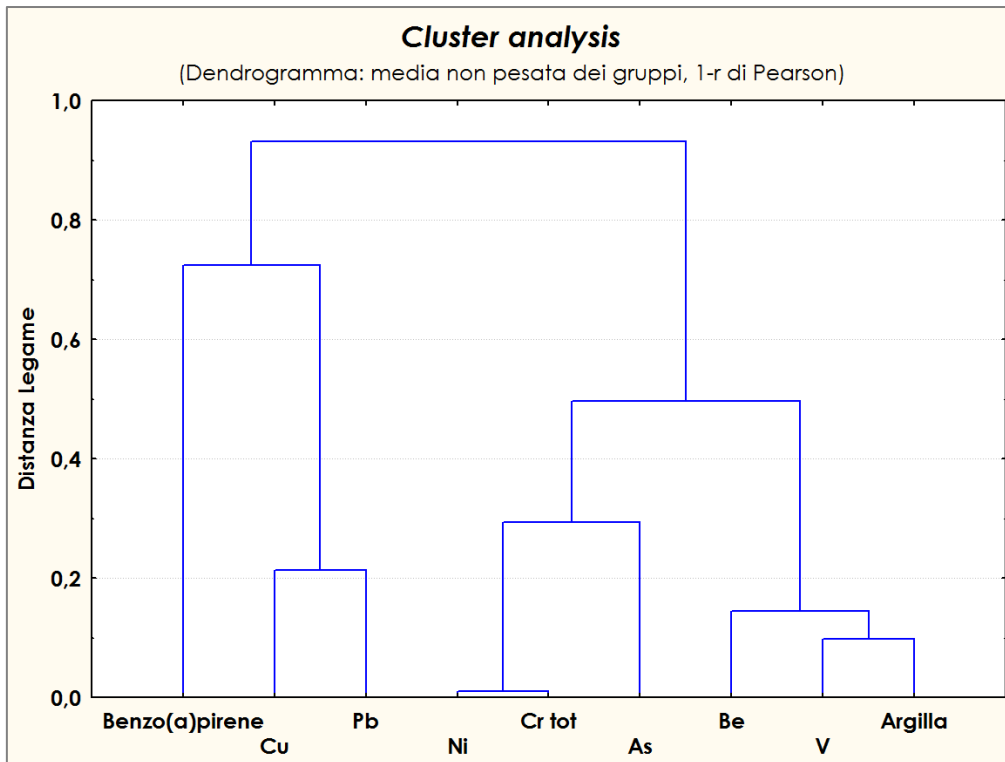


Fig. 3.3.1: Cluster Analysis di alcune variabili indagate.

La **figura 3.3.1** contiene il dendrogramma di alcuni metalli (individuati sulla base dell'analisi di correlazione riportata nel capitolo precedente), della percentuale di *argilla* e del *benzo(a)pirene* (un IPA utilizzato come indicatore dei composti di origine antropogenica in virtù del suo particolare interesse tossicologico). In essa si individuano tre raggruppamenti principali:

- un unico gruppo costituito dai metalli (*nichel*, *cromo totale*, *arsenico*, *berillio*, *vanadio*) e dall'*argilla*: in particolare, come già evidenziato nello studio delle correlazioni tra i metalli, si osserva il forte legame di similarità fra *cromo totale* e *nichel* - metalli rappresentativi della componente silicatica e ultrafemica (ofioliti) dei sedimenti alluvionali del Po - e tra *berillio*, *vanadio* e la componente granulometrica più fine;
- un *cluster* costituito da *piombo* e *rame*;
- il *benzo(a)pirene* (utilizzato come indicatore dei composti di origine antropogenica) non correla con il resto delle variabili.

Questo risultato è confrontabile con quello ottenuto nell'indagine del 2010, dove si sono visti raggruppare gli stessi profili di composizione dei metalli; in particolare, in questo studio si evidenzia un maggiore livello di distanza tra il composto organico e il gruppo *piombo/rame*, influenzati da due fattori esterni diversi.

Tutto ciò risulta ulteriormente in accordo con l'applicazione della *Factor Analysis*, finalizzata a ridurre il numero di variabili riconducibili a fattori comuni di correlazione reciproca, ordinati in funzione della loro capacità di spiegare la varianza mostrata.

La *matrice dei pesi fattoriali* (peso del contributo sulla componente principale, **tabella 3.3.1**) e lo *scatter plot* dei pesi fattoriali (corrispettiva proiezione tridimensionale, **figura 3.3.2**) mostrano che gli stessi gruppi di variabili visti sopra sono in forte correlazione con un fattore comune; i tre fattori individuati rimandano a loro volta a tre diverse cause esogene responsabili del comportamento osservato. Da questi resta escluso il *benzo(a)pirene* che non mostra alcuna similarità con i metalli.

Variabile	Pesi Fattoriali (Varimax normalizz., Estrazione: Componenti principali (Pesi marcati > 0,7000))		
	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3
Argilla	0,5254	0,0152	<b>0,8244</b>
As	<b>0,8211</b>	-0,1004	0,2024
Be	0,1802	0,2352	<b>0,8883</b>
Cr tot	<b>0,9456</b>	0,1583	0,1502
Ni	<b>0,9377</b>	0,1380	0,2427
Pb	-0,0306	<b>0,9530</b>	0,0851
Cu	0,0971	<b>0,8569</b>	0,1427
V	0,4390	0,1414	<b>0,8314</b>
Benzo(a)pirene	0,1894	0,5221	-0,5935

Tab. 3.3.1: matrice dei pesi fattoriali.

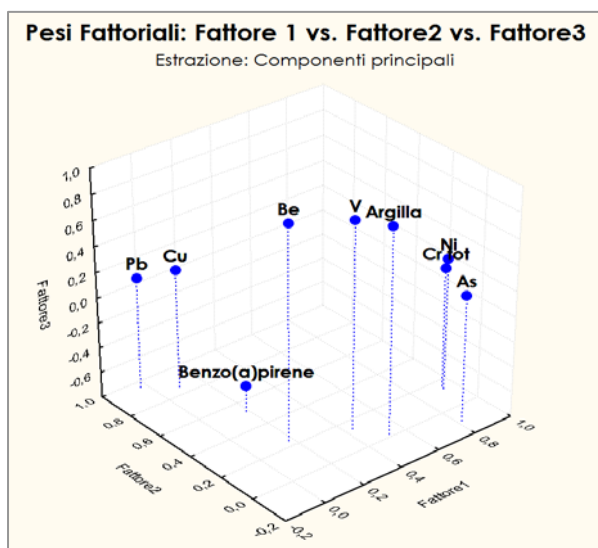


Fig. 3.3.2: *scatter plot* dei pesi fattoriali.

L'analisi PCA, rappresentata in **figura 3.3.3**, mostra che è possibile ridurre la variabilità della matrice di dati a due componenti principali (fattori): sul primo fattore agisce maggiormente la forzante associabile al fondo naturale del suolo ed alla tessitura, rappresentate dal gruppo di metalli correlati con l'*argilla* (*arsenico, berillio, cromo totale, nichel e vanadio*); sul secondo fattore pesa una forzante influenzata presumibilmente da fonti di origine antropica (*piombo, rame e benzo(a)pirene*).

Inoltre, dal piano di proiezione delle osservazioni (siti di campionamento), per le stesse variabili si osserva che sulla seconda componente principale (fattore 2) pesa in modo rilevante il sito D4 (posto a 250 m dall'impianto), mentre i siti più lontani dall'impianto sono influenzati maggiormente dal fattore 1, **figura 3.3.4**.

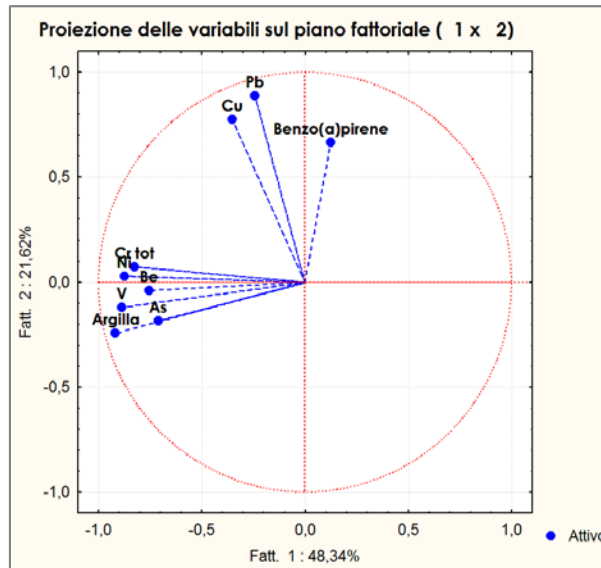


Fig. 3.3.3: *loading plot* delle variabili.

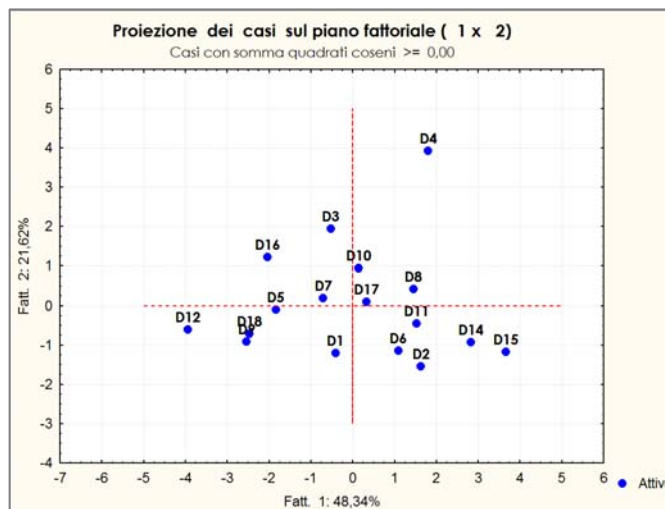


Fig. 3.3.4: *score plot* delle osservazioni.

In sintesi, l'analisi statistica relativa ai metalli conferma quanto già emerso nelle indagini svolte negli anni precedenti e rafforza l'ipotesi che vede la concentrazione di *berillio*, *cobalto*, *cromo totale*, *nichel* e *vanadio* fondamentalmente riconducibile alla tessitura e al contenuto naturale dei suoli indagati. Quanto agli altri elementi (*arsenico*, *piombo*, *rame*, *stagno*, *zinco*), la mancanza di una correlazione significativa con la distanza dall'inceneritore porta ad ipotizzare che i valori più alti rilevati in alcuni siti siano l'esito di micro-contaminazioni puntuali derivanti da fattori confondenti o da apporti di sorgenti diffuse.

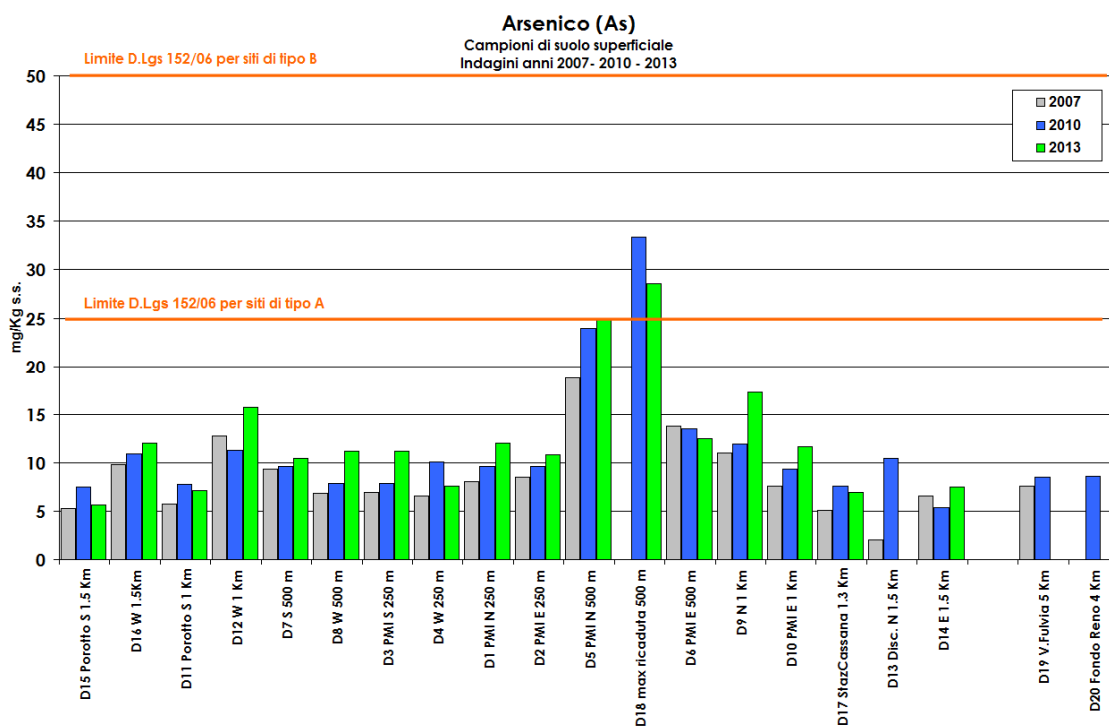
### 3.4 Analisi temporale

Con lo scopo di ottenere una valutazione temporale delle variazioni di concentrazione dei metalli nel periodo intercorrente fra le indagini precedenti e quella attuale, sono stati elaborati degli istogrammi che, oltre a dettagliare la concentrazione dei metalli per ogni sito di campionamento, mettono in rilievo il confronto tra i valori determinati nel 2007 (barre grigie), quelli del 2010 (barre blu) e quelli del 2013 (barre verdi), immagini contenute in **figura 3.4.1**.

Si osserva che per tutti i metalli il valore del limite di quantificazione del 2007 e del 2013 è pari a 0,5 mg/Kg s.s., mentre nel 2010 era 0,1 mg/Kg s.s.; per l'elaborazione grafica del confronto, si è adottato come valore soglia per i dati del 2010 il valore di 0,25 mg/Kg s.s., corrispondente alla metà del limite di quantificazione del 2007 e del 2013.

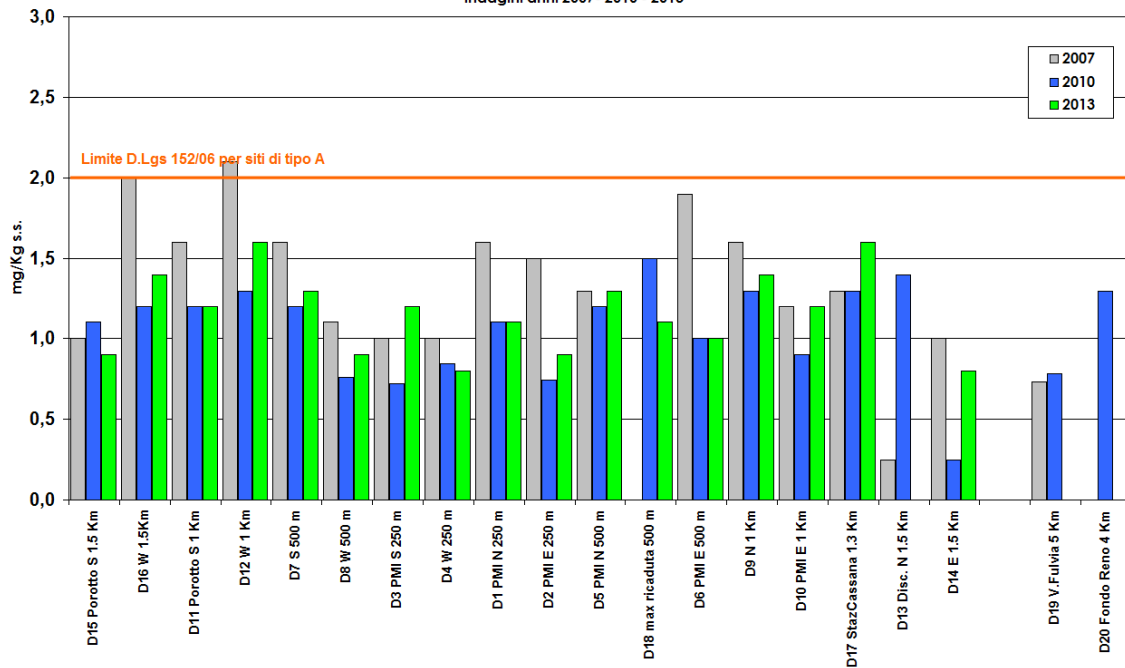
A titolo puramente indicativo sono stati inseriti nei grafici i limiti normativi previsti dal D.Lgs 152/2006<sup>4</sup> nel suolo riferiti a siti di tipo 'A' (ad uso verde pubblico, privato e residenziale) ed a siti di tipo 'B' (ad uso commerciale e industriale); tuttavia è importante ricordare che i valori riportati nei grafici non sono immediatamente confrontabili con tali limiti, essendo le concentrazioni rilevate riferite al suolo privo dello scheletro. Tale modalità di rappresentazione, che genera valori cautelativamente maggiori rispetto alle modalità previste dalla normativa, consente di esaltare eventuali differenze fra i vari siti.

Fig. 3.4.1

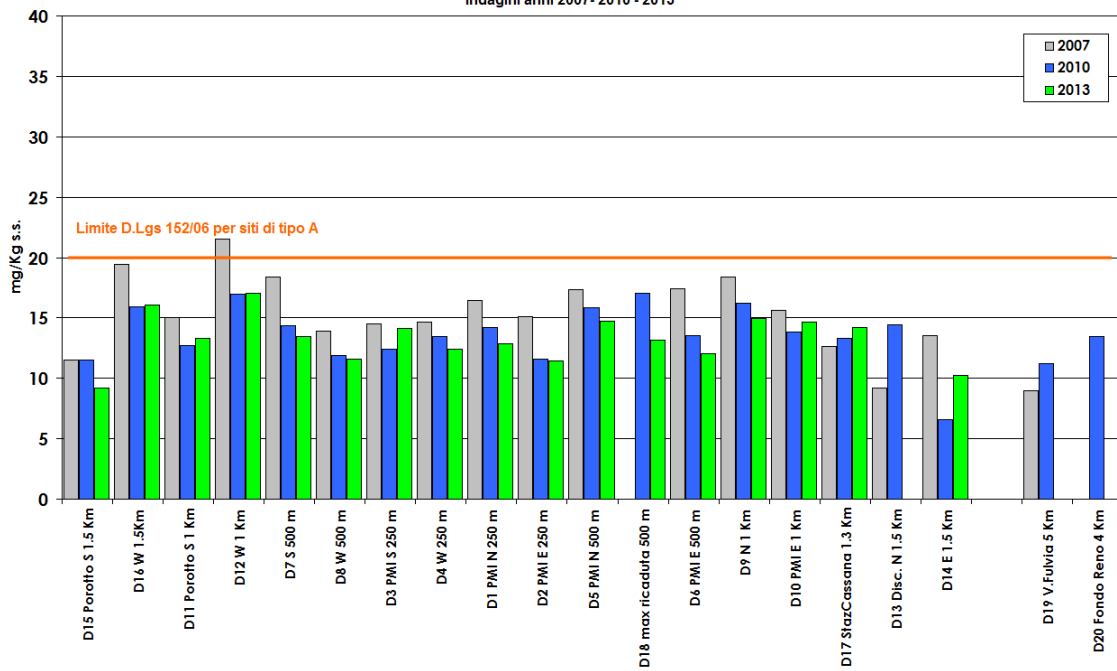


<sup>4</sup> D.Lgs 152/2006 e s.m.i., Tab.1 dell'All.5 al Titolo V della Parte IV.

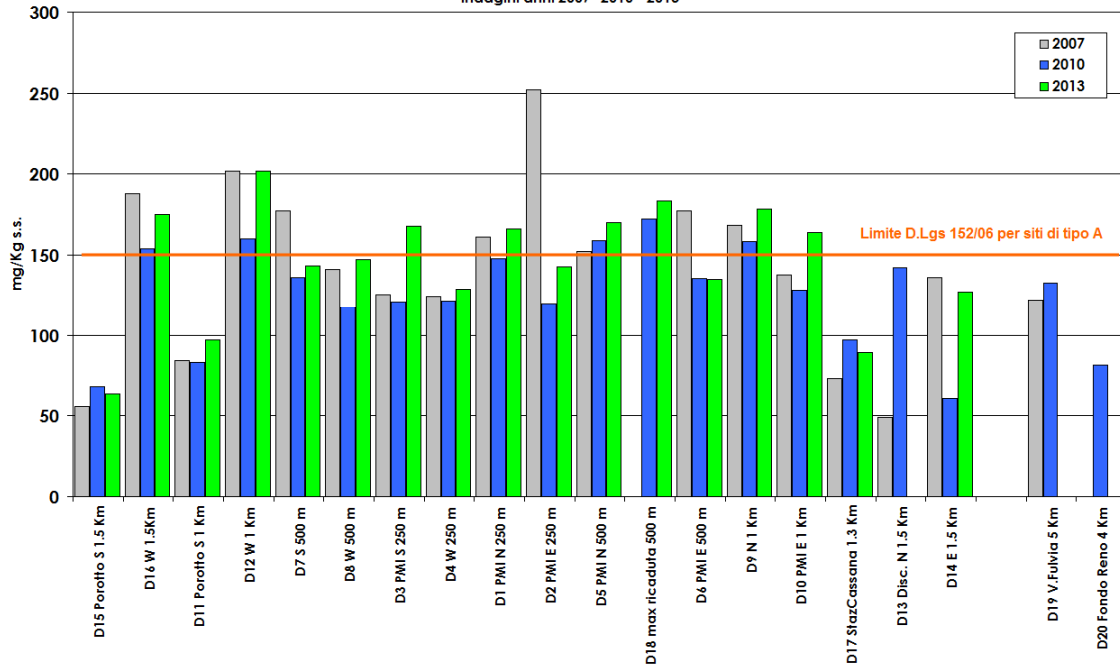
**Berillio (Be)**  
Campioni di suolo superficiale  
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013



**Cobalto (Co)**  
Campioni di suolo superficiale  
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013

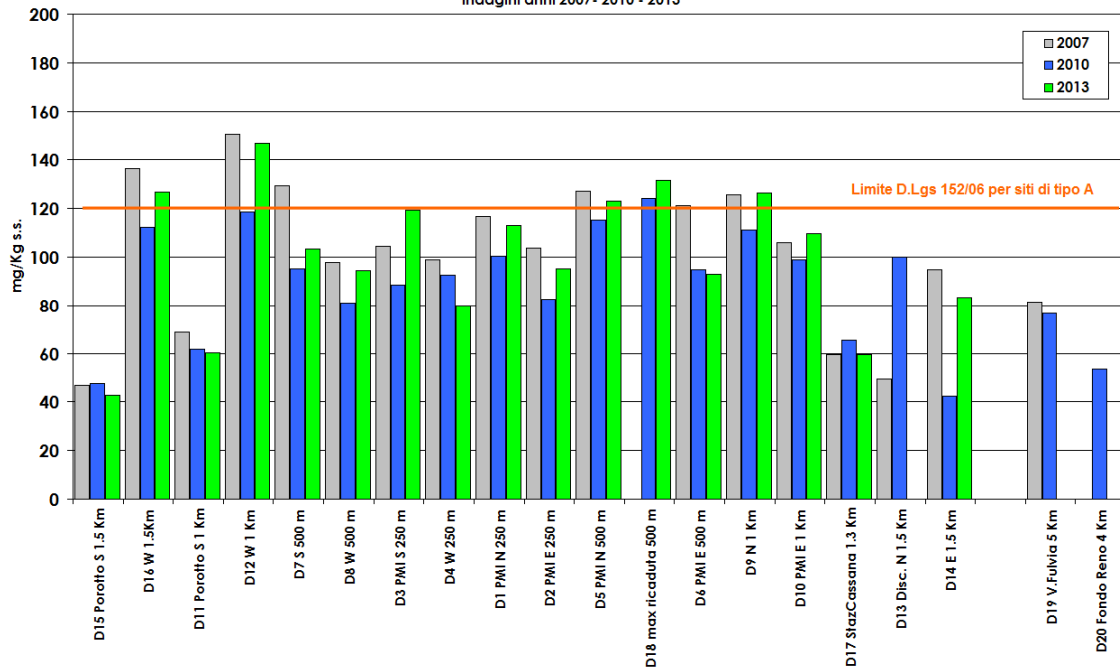


**Cromo totale (Cr tot)**  
Campioni di suolo superficiale  
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013

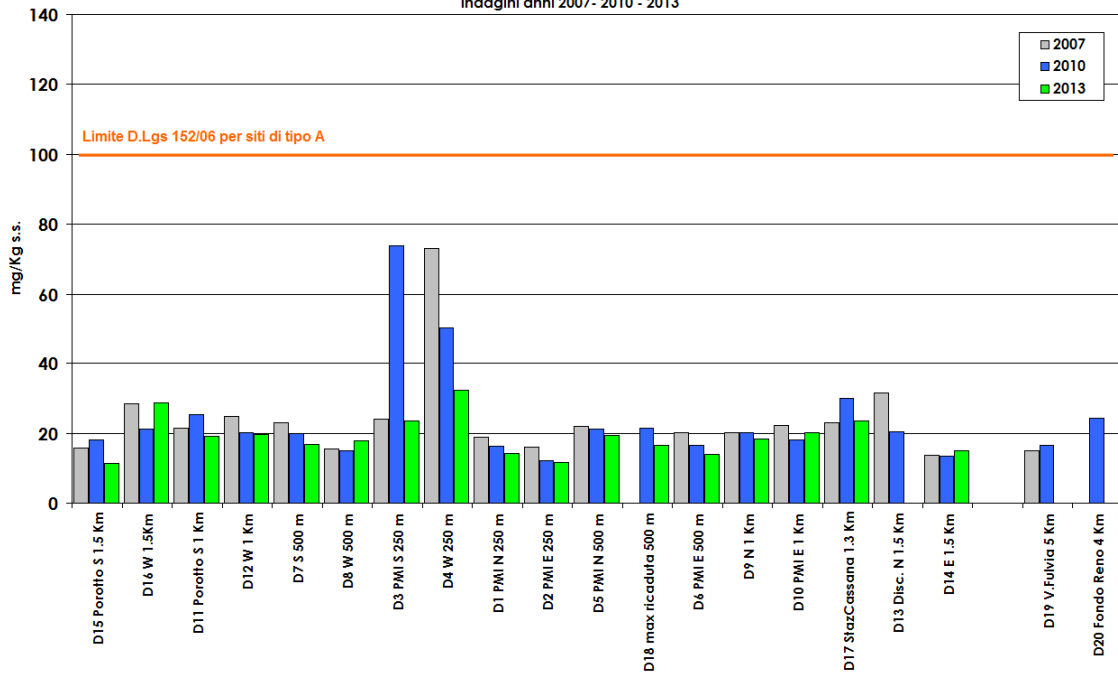


**Nichel (Ni)**

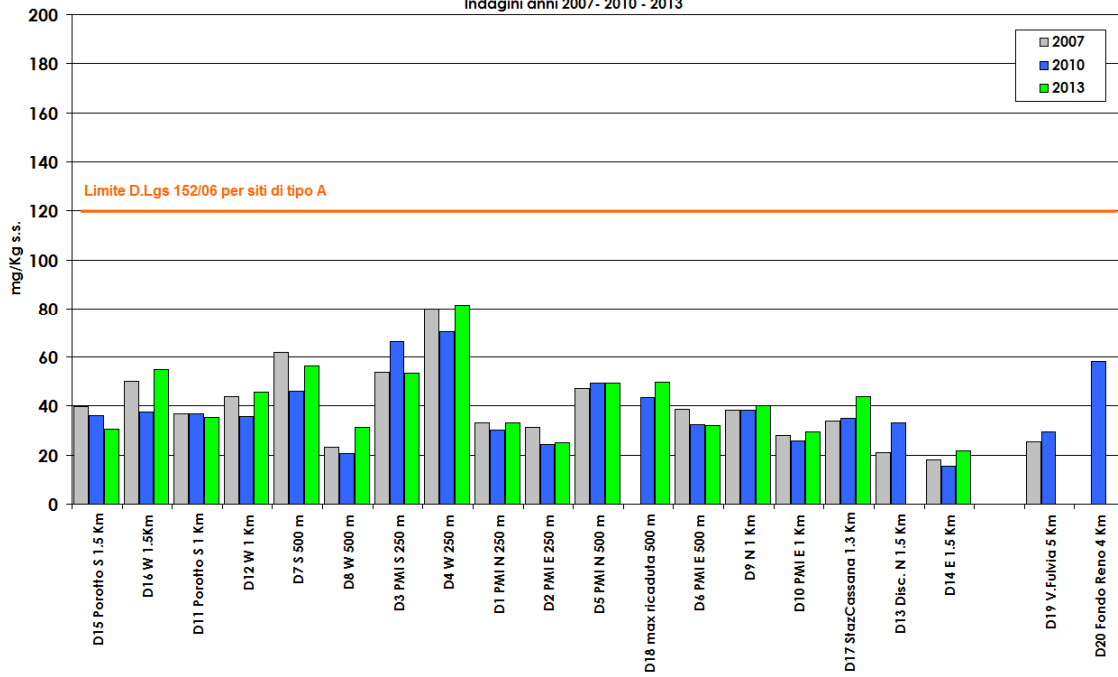
Campioni di suolo superficiale  
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013



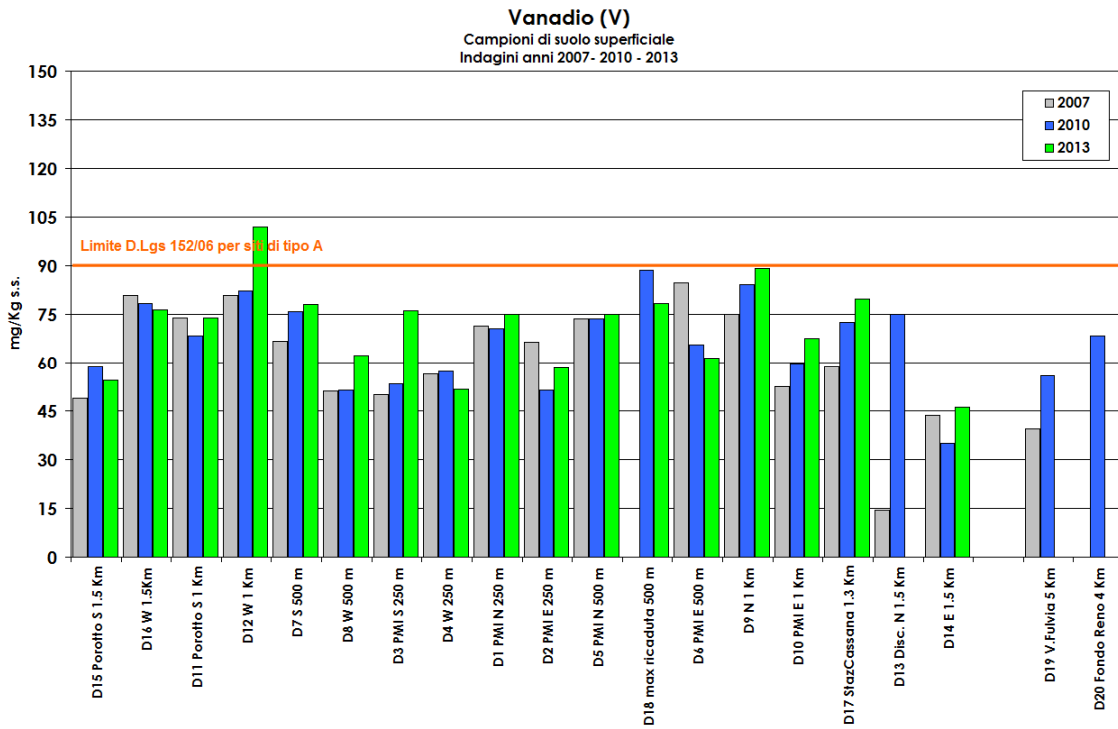
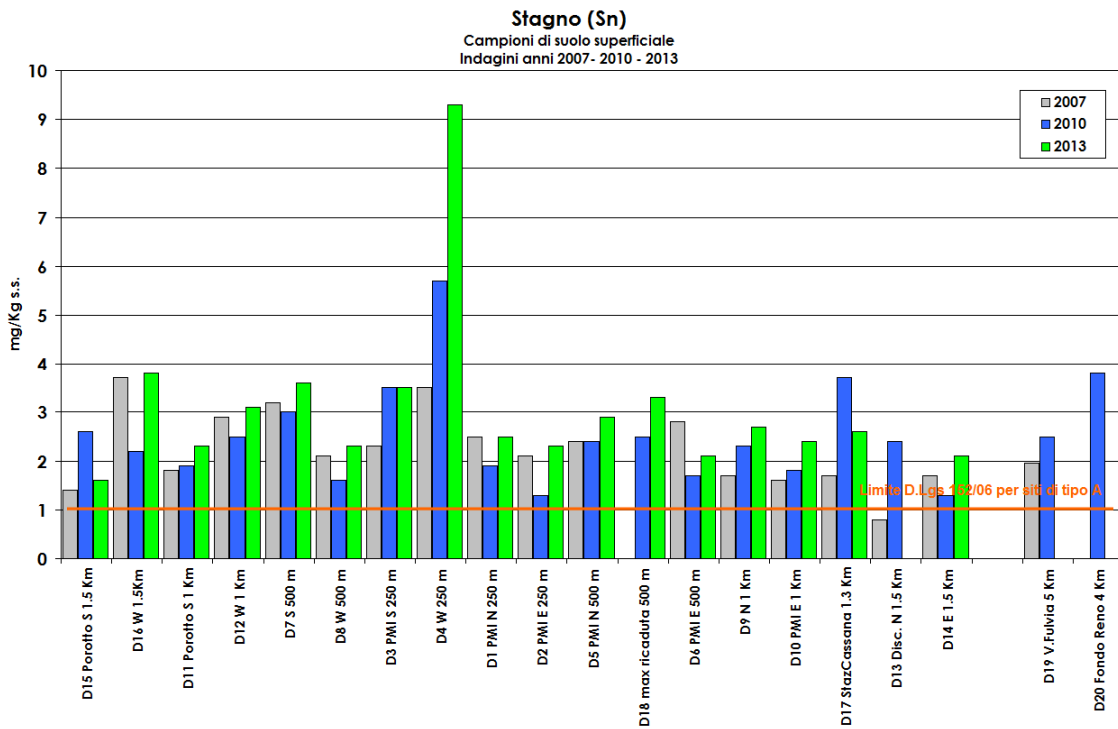
**Piombo (Pb)**  
Campioni di suolo superficiale  
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013

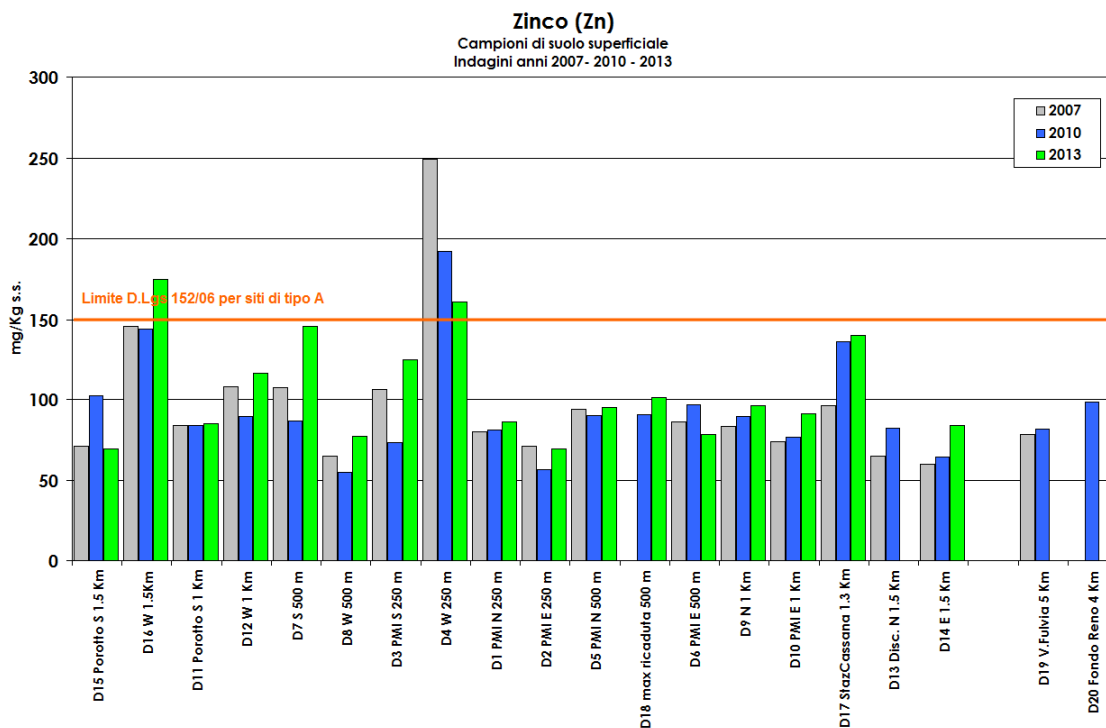


**Rame (Cu)**  
Campioni di suolo superficiale  
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013









Osservando singolarmente i grafici emerge che:

- **arsenico:** complessivamente la situazione rilevata è simile a quella del 2010, registrandosi per alcuni siti lievi riduzioni e per altri lievi incrementi. Nel sito D18 (all'interno dell'area di massima ricaduta) si registra una lieve riduzione rispetto al passato. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **berillio:** i valori del 2010 e del 2013 sono diminuiti per quasi tutti i siti rispetto a quelli del 2007; tuttavia nel 2013, per quasi tutti i siti, si registra un leggero aumento delle concentrazioni rispetto all'indagine precedente. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **cobalto:** i valori del 2013 sono sovrapponibili a quelli del 2010 per quasi tutti i siti. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti.
- **cromo totale e nichel:** i valori del 2013 sono tutti confrontabili con quelli del 2007 e del 2010 con l'eccezione del sito D2 per il *cromo totale* (importante riduzione rispetto al 2007). Volendo confrontare i valori rilevati con i limiti previsti dal D.Lgs 152/2006 (considerando quindi anche lo scheletro e includendo l'incertezza di misura) si rileva per tutti i campioni e per entrambi i metalli la conformità, eccetto per i siti D9 (solo per *cromo totale*) e D12 (sia per il *cromo totale* che per il *nichel*), entrambi siti di tipo 'A' (ad uso verde pubblico, privato e residenziale). Tali superamenti sono da attribuire al fondo 'naturale-antropico', come già rilevato nei paragrafi precedenti;
- **piombo:** nel 2013 i valori sono diminuiti in quasi tutti i siti, in particolare nei siti D3 e D4. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;

- **rame:** complessivamente la situazione rilevata è simile a quella del 2010. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **stagno:** in quasi tutti i siti nel 2013 si registrano dei leggeri aumenti rispetto alle indagini precedenti, ad eccezione dei siti D15 e D17; nel sito D4 si rileva un aumento più marcato della concentrazione dovuto presumibilmente a una micro-contaminazione puntuale. Il confronto con il D.Lgs 152/2006, in analogia con le indagini precedenti, indica il superamento del limite per tutti i siti attribuibile al fondo 'naturale-antropico' secondo quanto riportato in letteratura ed emerso da studi analoghi svolti da questa Agenzia nel territorio provinciale;
- **vanadio:** complessivamente la situazione rilevata è simile a quella del 2010. Volendo confrontare i valori rilevati con il limite previsti dal D.Lgs 152/2006 (considerando lo scheletro e includendo l'incertezza di misura), si rileva per tutti i campioni la conformità, anche per il sito D12 di tipo 'A';
- **zinco:** situazione pressoché invariata per tutti i siti, ad eccezione di qualche punto in cui si rilevano dei leggeri aumenti (D3, D7 e D16), mentre nel sito D4 si riscontra una diminuzione. Volendo confrontare i valori rilevati con il limite previsto dal D.Lgs 152/2006 (considerando lo scheletro e includendo l'incertezza di misura), si rileva per tutti i campioni la conformità, anche per il sito D16 di tipo 'A'. Il valore riscontrato nel sito D4 non risulta rilevante in quanto sito di tipo 'B' (ad uso commerciale e industriale).

Complessivamente nel 2013 non si apprezzano variazioni significative nei livelli medi di concentrazione misurati rispetto al 2010 e i lievi incrementi che si rilevano per alcuni metalli non appaiono modificare il quadro d'insieme degli ultimi anni.

In analogia con i risultati dell'analisi statistica, l'analisi temporale delle concentrazioni riscontrate nei diversi siti investigati, e in particolare nell'area più prossima all'impianto, non sembra rilevare una dipendenza dalla distanza dal camino, e in senso generale i valori appaiono influenzati da fattori diffusi e antropici piuttosto che da ricadute proprie dell'impianto oggetto dello studio.

## 4. PCDD (diossine) e PCDF (furani)

Nella **tabella 4.1** (pagina seguente) sono riportati i valori delle *diossine* e dei *furani* ricercati, inclusi quelli trovati inferiori ai limiti di quantificazione analitica (celle a fondo giallo), espressi come pg/g di sostanza secca, non comprensiva dello scheletro (diversamente da quanto previsto dal D.Lgs 152/2006). Analogamente a quanto detto a proposito dei metalli, tale modalità di rappresentazione, che genera valori cautelativamente maggiori rispetto alle modalità previste dalla normativa, consente di esaltare eventuali differenze fra i vari siti.

In ogni sito indagato, per il calcolo delle somme di tutti i congeneri, le concentrazioni degli analiti inferiori al limite di quantificazione sono state valorizzate pari alla metà del loro limite. Le metodiche analitiche utilizzate dal laboratorio sono le stesse già utilizzate per le precedenti indagini; si osserva che i limiti di quantificazione dei singoli congeneri variano a seconda del campione come previsto dalle specifiche del metodo.

Gli stessi dati sono stati espressi anche in Tossicità Equivalente (WHO-TEQ e I-TEQ), ottenuti moltiplicando la concentrazione di ogni composto rilevato nei campioni di suolo per i Fattori di Tossicità Equivalente (*Toxic Equivalency Factor*, TEF) proposti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-TEF) e dalla NATO (*International-TEF*), **tabella 4.2**.

PCDD/PCDF	WHO-TEF 2005	I-TEF 1988
2,3,7,8-T4CDD	1	1
1,2,3,7,8-P5CDD	1	0,5
1,2,3,4,7,8-H6CDD	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-H6CDD	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-H6CDD	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	0,01	0,01
O8CDD	0,0003	0,001
2,3,7,8-T4CDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-P5CDF	0,03	0,05
2,3,4,7,8-P5CDF	0,3	0,5
1,2,3,4,7,8-H6CDF	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-H6CDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-H6CDF	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8-H6CDF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	0,01	0,01
O8CDF	0,0003	0,001

**Tab. 4.2:** Fattori di Tossicità Equivalente per i congeneri PCDD/PCDF, secondo WHO e NATO [7, 8].

PCDD/ PCDF	2,3,7,8- T4CDD	1,2,3,7,8- P5CDD	1,2,3,4,7,8- H6CDD	1,2,3,6,7,8- H6CDD	1,2,3,7,8,9- H6CDD	1,2,3,4,6,7,8- H7CDD	O8CDD	2,3,7,8- T4CDF	1,2,3,7,8- P5CDF	2,3,4,7,8- P5CDF	1,2,3,4,7,8- H6CDF	1,2,3,6,7,8- H6CDF	2,3,4,6,7,8- H6CDF	1,2,3,7,8,9- H6CDF	1,2,3,4,6,7,8- H7CDF	1,2,3,4,7,8,9- H7CDF	O8CDF	Sommatoria PCDD/PCDF	Sommatoria PCDD/PCDF WHO-TEQ	Sommatoria PCDD/PCDF I-TEQ
SITO	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg WHO-TEQ/g s.s.	pg I-TEQ/g s.s.
D1	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	42,6	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,4	< 1,4	< 1,4	< 1,4	5,6	< 1,4	< 1,4	58,1	2,1	1,9
D2	< 1,3	4,0	< 1,4	< 1,4	< 1,4	< 1,4	40,1	< 1,3	< 1,3	< 1,3	5,8	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	9,3	68,4	6,0	4,2
D3	< 1,1	1,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	10,3	38,0	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	7,7	< 1,0	11,5	75,5	3,1	2,3
D4	< 0,6	< 0,6	< 1,0	< 1,0	< 1,0	7,7	51,6	< 0,7	< 0,7	1,4	< 0,9	< 0,9	2,3	< 0,9	11,2	< 0,9	27,2	106,0	1,8	2,0
D5	< 1,3	< 1,3	3,7	< 1,4	< 1,4	7,3	78,7	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,4	< 1,4	< 1,4	6,5	7,5	3,7	21,4	135,9	3,2	3,2
D6	< 1,0	< 1,0	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	63,8	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 0,9	1,1	< 0,9	< 0,9	4,8	2,4	15,5	93,4	1,7	1,7
D7	< 1,7	< 1,7	< 1,4	< 1,4	< 1,4	< 1,4	32,4	< 1,9	< 1,9	< 1,9	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	5,8	< 1,0	16,6	64,7	2,6	2,4
D8	< 0,9	1,2	< 0,8	< 0,8	< 0,8	8,5	46,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,8	< 0,8	4,3	< 0,8	12,7	1,7	25,1	104,6	2,8	2,4
D9	< 1,5	< 1,5	< 1,6	< 1,6	< 1,6	8,4	36,9	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	6,4	< 1,6	22,2	84,2	2,6	2,4
D10	< 0,5	< 0,5	< 0,8	< 0,8	< 0,8	4,3	61,8	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7	0,7	< 0,7	5,1	< 0,7	19,2	95,3	1,1	1,1
D11	< 0,8	< 0,8	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	55,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	7,0	< 1,5	12,5	84,6	1,7	1,6
D12	< 1,5	< 1,5	< 1,7	< 1,7	< 1,7	13,7	62,4	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,7	< 1,7	16,3	< 1,7	5,6	< 1,7	24,3	132,2	4,2	4,1
D14	< 1,6	< 1,6	76,2	< 2,0	< 2,0	7,0	73,2	< 1,5	< 1,5	< 1,5	9,4	< 1,9	< 1,9	< 1,9	< 1,9	< 1,9	16,8	193,2	11,1	11,0
D15	< 0,7	< 0,7	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	14,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,2	< 1,2	2,0	< 1,2	4,4	< 1,2	11,8	39,5	1,6	1,5
D16	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,3	17,3	43,6	< 1,3	1,4	< 1,3	5,9	< 1,3	< 1,3	< 1,3	15,6	< 1,3	26,4	117,4	2,9	2,8
D17	< 0,5	< 0,5	2,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0	35,2	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	4,1	< 1,1	11,2	59,0	1,3	1,3
D18	< 1,0	< 1,0	< 0,9	< 0,9	8,2	4,6	32,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	3,9	< 1,0	8,8	63,9	2,4	2,3

Tab. 4.1: PCDD e PCDF rilevati nei campioni di suolo, calcolo della sommatoria di tutti i congeneri e della sommatoria degli stessi espressa in Tossicità Equivalente (*Total Toxic Equivalency*, TEQ) secondo WHO e NATO.

Allo scopo di ottenere una valutazione temporale delle variazioni di concentrazione delle *diossine* e dei *furani* nel periodo intercorrente fra le indagini precedenti e quella attuale, sono stati elaborati degli istogrammi che, per ognuna delle due modalità di espressione dei dati, dettagliano la concentrazione della sommatoria di PCDD e PCDF per ogni sito di campionamento, mettendo in rilievo il confronto fra i valori misurati nel 2007 (barre grigie), quelli del 2010 (barre blu) e quelli del 2013 (barre verdi), **figure 4.1 e 4.2**.

Fig. 4.1

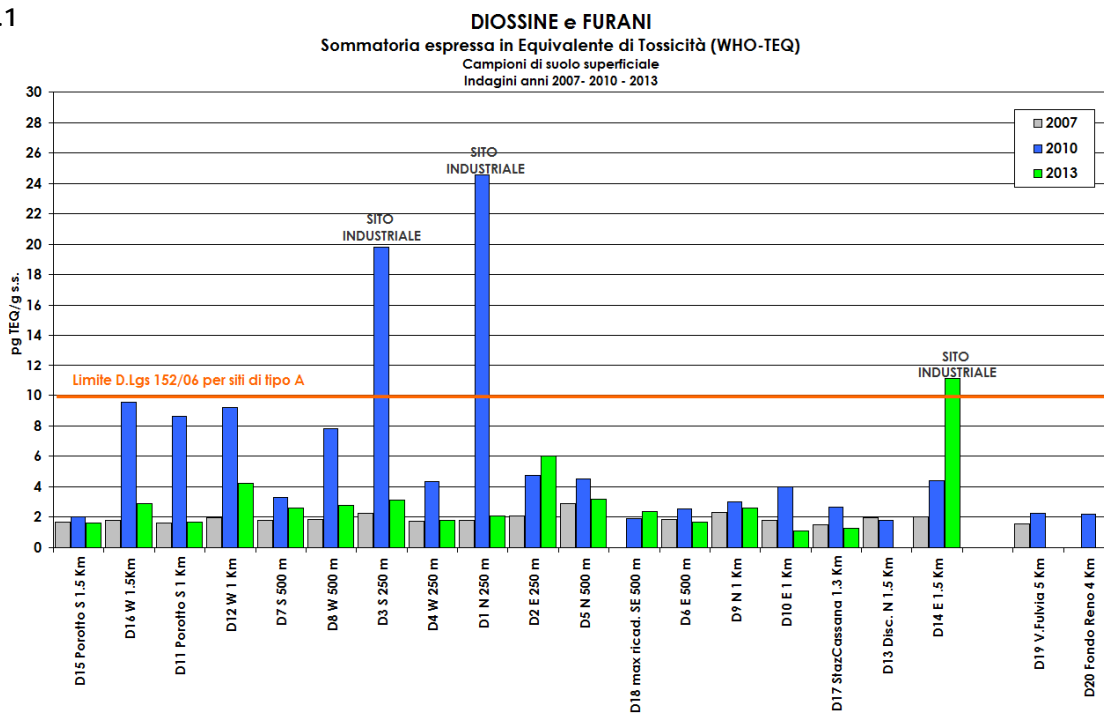
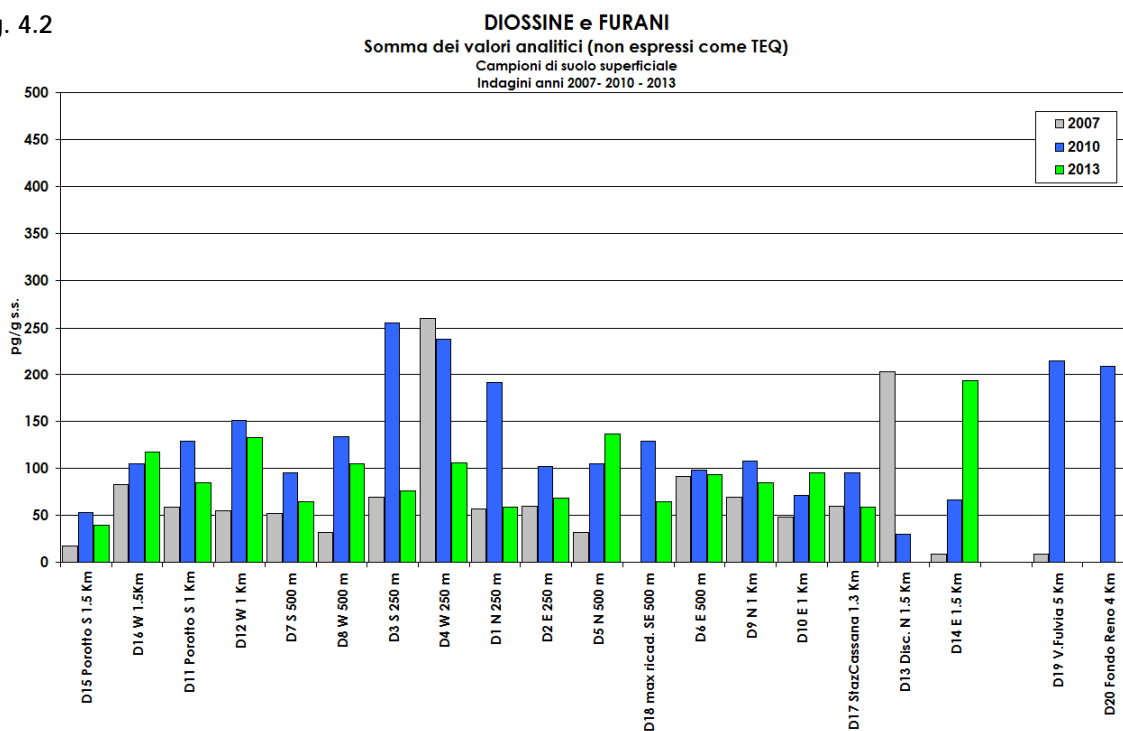


Fig. 4.2



A titolo di confronto sommario in **figura 4.1** è riportato anche il limite previsto dal D.Lgs 152/2006 per i siti tipo 'A' (uso verde pubblico, privato e residenziale) benché, come già detto in precedenza a proposito dei metalli, il raffronto con la normativa non è rigoroso, essendo tali concentrazioni riferite al suolo privo dello scheletro.

Osservando le due figure e la **tabella 4.1** si rileva che:

- **la 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina, congenere di maggiore importanza tossicologica, non è stata rilevata in nessun campione;**
- **le concentrazioni rilevate in generale sono alquanto contenute;** i congeneri rilevati più di frequente sono quelli *epta-* e *octa-*cloro sostituiti (H7CDD, H7CDF, O8CDD, O8CDF); si tratta di composti meno tossici, le cui distribuzioni e abbondanza relativa nelle emissioni sono caratteristiche dello specifico processo che le ha originate;
- **il confronto delle sommatorie dei congeneri del 2010 e del 2013, sia espresse in TEQ che tal quali, indica che nel 2013 vi è stata una diminuzione generale del contenuto totale di diossine e furani. Complessivamente durante i sei anni d'indagine è stata registrata una tendenziale crescita dal 2007 al 2010, mentre appare una diminuzione delle concentrazioni medie dal 2010 al 2013; la riduzione riguarda soprattutto i siti più prossimi all'impianto (a distanza di 250 m dall'inceneritore) e quelli nelle aree urbane a sud rispetto al camino;**
- per quel che riguarda i **siti di tipo 'A' nessun valore è risultato superiore a 10 pg TEQ/g s.s.,** concentrazione pari al limite stabilito nel D.Lgs 152/2006 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale; solo per il punto D14 si rileva una concentrazione superiore, ma si tratta di sito ubicato in area industriale (raggio di 1,5 Km dal camino) il cui limite normato è pari a 100 pg TEQ/g s.s..

Secondo quanto già rilevato nel 2010, la conoscenza dei profili emissivi dei congeneri e la capacità dei suoli di accumulare tali microinquinanti per periodi piuttosto lunghi possono fornire utili informazioni circa il contributo di una specifica fonte di combustione e la possibile relazione tra la sorgente e la matrice suolo.

I profili emissivi riguardanti il traffico, sia esso a combustibile diesel o a benzina, sono costituiti principalmente dalla *octa*clorodibenzodiossina (O8CDD), il cui fattore di tossicità è basso ed è un congenere persistente nell'ambiente; tra i *furani* sono invece significativi l'*octa*clorodibenzofurano (O8CDF) e l'*epta*clorodibenzofurano (1,2,3,4,6,7,8-H7CDF). I profili riguardanti l'incenerimento di rifiuti solidi urbani (RSU) si distinguono dal traffico perché mostrano un profilo con un numero maggiore di *furani* [9].





relativi dei vari congeneri in tutti i siti, facendo ipotizzare una comune origine di questi inquinanti ascrivibile al fondo urbano piuttosto che alle emissioni dell'impianto.

In analogia a quanto fatto con i metalli, è stata effettuata un'analisi di correlazione fra la somma dei valori analitici dei PCDD/PCDF (non espressa in TEQ), i congeneri maggiormente rilevati, la granulometria e la distanza dal camino dell'inceneritore, **tabella 4.3**.

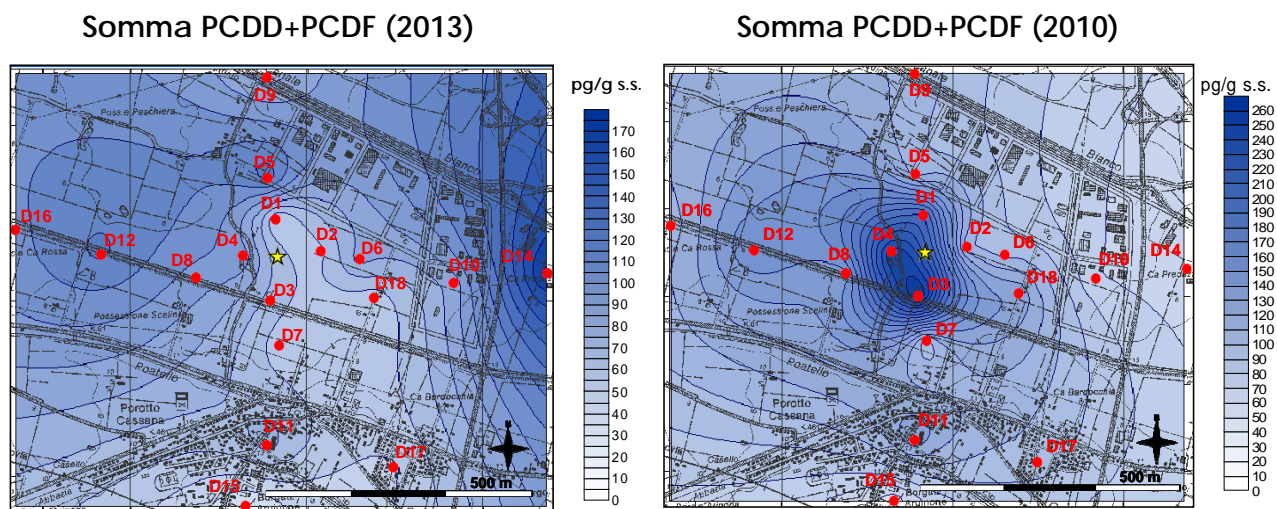
Variabile	Distanza	Argilla	Limo	Sabbia
<b>Somma PCDD/PCDF</b>	0,28	-0,08	-0,59	0,36
<b>1,2,3,4,6,7,8-H7CDD</b>	0,22	0,34	-0,10	-0,20
<b>O8CDD</b>	-0,03	-0,09	-0,38	0,26
<b>1,2,3,4,6,7,8-H7CDF</b>	0,01	0,08	0,17	-0,14
<b>O8CDF</b>	0,27	0,08	-0,23	0,06

**Tab. 4.3:** coefficienti di correlazione 'r' tra la sommatoria dei congeneri PCDD/PCDF (non espressa in TEQ), alcuni congeneri, la granulometria e la distanza dal camino ( $p < 0,01$ ).

Non si riscontra nessuna correlazione statisticamente significativa fra la sommatoria di *diossine* e *furani* e la distanza dal camino dell'inceneritore, nè fra i congeneri principali e la distanza. Tale risultato si differenzia da quanto emerso nell'indagine del 2010, dove si evidenziava una correlazione inversa della sommatoria dei congeneri con la distanza dal camino (cioè allontanandosi dalla sorgente erano minori le probabilità di ritrovare tali composti).

Altresì non esistono correlazioni significative tra i microinquinanti organici e le caratteristiche tessiture del suolo.

Tale situazione emerge con evidenza anche dal confronto delle mappe ottenute mediante interpolazione statistica (metodo *Kriging*) delle sommatorie di *diossine* e *furani* (esprese come tale quale) misurate nei vari siti durante l'indagine del 2013 e del 2010, **figura 4.4**.



**Fig. 4.4:** mappe di isoconcentrazione della sommatoria dei congeneri PCDD/PCDF.

- Siti di campionamento suolo intorno all'inceneritore di Via Diana-Canal Bianco
- ★ Camino inceneritore

## 5. IPA (idrocarburi policiclici aromatici)

Nella **tabella 5.1** sono riportati i valori dei 21 *idrocarburi policiclici aromatici* (IPA) ricercati, che comprendono nell'insieme sia i composti individuati dall'EPA come 'prioritari', sia quelli previsti dal vigente D.Lgs. 152/2006 (celle a fondo azzurro). Tutte le concentrazioni sono espresse in ng/g e si riferiscono alla sostanza secca, non comprensiva dello scheletro. Analogamente a quanto detto a proposito degli altri inquinanti, tale modalità di rappresentazione, che genera valori cautelativamente maggiori rispetto alle modalità previste dalla normativa, consente di esaltare eventuali differenze fra i vari siti.

Rispetto agli anni precedenti si è provveduto ad incrementare il profilo degli IPA includendo nella presente indagine tre nuovi composti: *perilene*, *ciclopenta(c,d)pirene*, *dibenzo(a,e)fluorantene*, in analogia a quanto previsto in ambito autorizzativo nel monitoraggio delle emissioni dell'inceneritore (celle a fondo verde).

Le metodiche analitiche utilizzate dal laboratorio sono state le stesse già impiegate per le precedenti indagini, così come i limiti di quantificazione analitica (evidenziati in celle a fondo giallo i composti inferiori a tali limiti).

La diffusione degli IPA nell'ambiente avviene attraverso il particolato emesso durante i processi di combustione che, dopo il trasporto in sospensione, si deposita al suolo. La permanenza dei vari idrocarburi policiclici nel terreno dipende dalla loro solubilità e volatilità, che in linea di massima sono inversamente proporzionali al numero di anelli aromatici. Si stima indicativamente che l'emivita nei suoli superficiali sia dell'ordine di giorni per il *naftalene* (due anelli aromatici), di settimane o mesi per i composti con tre anelli e di centinaia di giorni per gli IPA a più alto peso molecolare [10, 11].

IPA	Naftalene	Acenaffilene	Acenaffene	Fluorene	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Benzo(e)pirene	Pirene	Benzo(a)antracene	Crisene	Benzo(b)+(j)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Indeno(1,2,3,c,d)pirene	Dibenzo(ac)+(ah)antracene	Benzo(ghi)perilene	Dibenzo(a,l)pirene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,i)pirene	Dibenzo(a,h)pirene	Ciclopenta(cd)pirene	Perilene	Dibenzo(ae)fluorantene
SITO	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.
D1	< 0,1	0,1	< 0,1	0,4	8,2	1,1	12,0	7,5	11,2	8,0	5,6	8,4	3,1	6,5	12,6	2,3	6,4	7,6	1,9	1,4	< 0,1	2,6	3,5	3,0
D2	< 0,1	0,1	< 0,1	0,3	3,6	0,1	3,7	3,6	3,9	1,6	2,2	3,4	1,1	1,9	4,5	0,7	3,0	3,1	1,0	< 0,1	< 0,1	0,9	3,1	1,0
D3	< 0,1	0,5	0,9	3,8	94,9	34,6	174,8	60,4	148,4	104,3	77,6	99,2	43,1	81,2	77,7	26,1	54,0	46,8	30,1	27,5	< 0,1	28,8	18,5	45,2
D4	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	18,9	1,1	99,9	68,2	102,1	66,3	48,6	71,7	31,1	54,6	101,3	13,4	60,3	39,2	13,8	8,3	< 0,1	2,4	2,9	1,8
D5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	6,4	1,1	24,2	17,2	23,1	19,3	10,3	20,1	7,2	17,8	37,6	5,3	16,6	15,4	4,6	4,2	< 0,1	5,3	5,5	4,2
D6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,6	< 0,1	3,0	4,6	3,1	2,4	3,3	4,5	1,5	2,3	5,0	0,9	2,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,0	1,9	0,7
D7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4,7	17,4	11,6	30,1	24,0	24,7	35,9	19,7	29,6	13,0	27,1	33,4	18,3	19,8	28,9	5,5	2,8	< 0,1	9,9	9,5	7,8
D8*	< 0,1	0,4	1,6	< 0,1	4,3	0,3	40,7	40,7	40,7	40,7	29,1	88,5	21,2	68,3	31,7	7,4	46,1	< 0,1	< 0,1	8,6	< 0,1	18,3	24,2	8,9
D9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	5,0	< 0,1	4,6	6,2	5,1	2,4	3,0	6,6	1,4	2,4	7,9	1,3	4,2	5,2	1,2	< 0,1	< 0,1	1,1	4,8	1,3
D10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	22,6	3,3	122,5	94,6	129,8	106,4	71,4	118,8	51,5	100,4	201,9	27,0	95,2	73,3	25,1	14,7	< 0,1	5,1	4,7	3,0
D11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	8,0	0,1	8,7	16,5	10,5	5,5	9,9	12,6	4,8	4,8	13,4	2,6	11,4	6,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,5	1,1	0,3
D12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	5,9	0,8	8,6	7,0	8,6	6,1	4,6	7,7	2,8	5,3	11,3	1,7	5,3	5,1	1,0	0,5	< 0,1	2,0	2,4	1,6
D14	< 0,1	0,2	0,2	0,6	7,3	0,7	12,9	12,3	12,4	10,2	6,4	12,6	5,0	11,5	22,4	4,0	13,5	10,7	4,0	2,3	< 0,1	3,0	4,1	4,4
D15	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	10,2	0,4	31,0	25,4	32,6	21,2	21,2	23,1	9,5	13,6	24,8	4,4	18,3	10,8	3,5	< 0,1	< 0,1	0,8	1,3	0,4
D16	< 0,1	0,1	< 0,1	0,1	8,5	1,0	20,7	14,4	20,7	16,6	9,8	17,6	6,5	13,5	27,5	3,9	12,1	12,1	2,7	1,7	< 0,1	5,4	4,3	3,9
D17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	16,4	< 0,1	7,1	19,8	8,8	4,9	11,3	13,0	4,1	2,5	12,0	2,5	12,9	5,0	3,6	< 0,1	< 0,1	0,9	1,2	0,4
D18	< 0,1	0,1	< 0,1	0,3	6,2	0,4	10,6	11,8	10,9	9,2	7,3	12,6	5,0	10,5	4,5	3,4	11,2	8,9	2,8	2,8	< 0,1	3,0	4,7	2,6

Tab. 5.1: IPA rilevati nei campioni di suolo.

\* I dati riportati per il sito D8 si riferiscono a quelli rilevati durante il ricampionamento eseguito il 12/03/2014, poiché i dati rilevati durante il primo campionamento di novembre 2013 sono risultati affetti da contaminazione puntuale, dovuta probabilmente a pratiche di combustione di sorgenti mobili (come mezzi agricoli o veicoli a benzina o diesel) vista anche l'apprezzabile vicinanza del sito di campionamento ad un'area ad uso agricolo.

Per completezza si riportano di seguito i valori rilevati nel campionamento effettuato il giorno 13/11/2013: Naftalene < 0,1 ng/g s.s., Acenaffilene 0,8 ng/g s.s., Acenaffene < 0,1 ng/g s.s., Fluorene 0,3 ng/g s.s., Fenantrene 14,9 ng/g s.s., Antracene 3,3 ng/g s.s., Fluorantene 105,4 ng/g s.s., Benzo(e)pirene 87,7 ng/g s.s., Pirene 108,4 ng/g s.s., Benzo(a)antracene 98,2 ng/g s.s., Crisene 72,0 ng/g s.s., Benzo(b)+(j)fluorantene 132,1 ng/g s.s., Benzo(k)fluorantene 54,5 ng/g s.s., Benzo(a)pirene 105,1 ng/g s.s., Indeno(1,2,3,c,d)pirene 134,1 ng/g s.s., Dibenzo(ac)+(ah)antracene 33,6 ng/g s.s., Benzo(ghi)perilene 102,6 ng/g s.s., Dibenzo(a,l)pirene 57,6 ng/g s.s., Dibenzo(a,e)pirene 42,0 ng/g s.s., Dibenzo(a,i)pirene 28,3 ng/g s.s., Dibenzo(a,h)pirene < 0,1 ng/g s.s., Ciclopenta(cd)pirene 50,8 ng/g s.s.; Perilene 44,7 ng/g s.s.; Dibenzo(ae)fluorantene 39,7 ng/g s.s..

Analogamente a quanto operato con gli altri parametri organici ricercati, si sono confrontati i dati del 2013 con quelli del 2007 e del 2010, sia relativamente alla sommatoria degli IPA indicati nel D.Lgs 152/2006 (*benzo(a)antracene*, *benzo(a)pirene*, *benzo(b)+(j)fluorantene*, *benzo(k)fluorantene*, *benzo(g,h,i)perilene*, *crisene*, *dibenzo(a,e)pirene*, *dibenzo(a,h)pirene*, *dibenzo(a,i)pirene*, *dibenzo(a,l)pirene*, **figura 5.1**), che relativamente al *benzo(a)pirene*, composto di rilevanza sia emissiva che immissiva, **figura 5.2**.

Per i composti con concentrazioni inferiori al limite di quantificazione è stato considerato, ai fini della sommatoria, il valore pari alla metà del limite.

Fig. 5.1

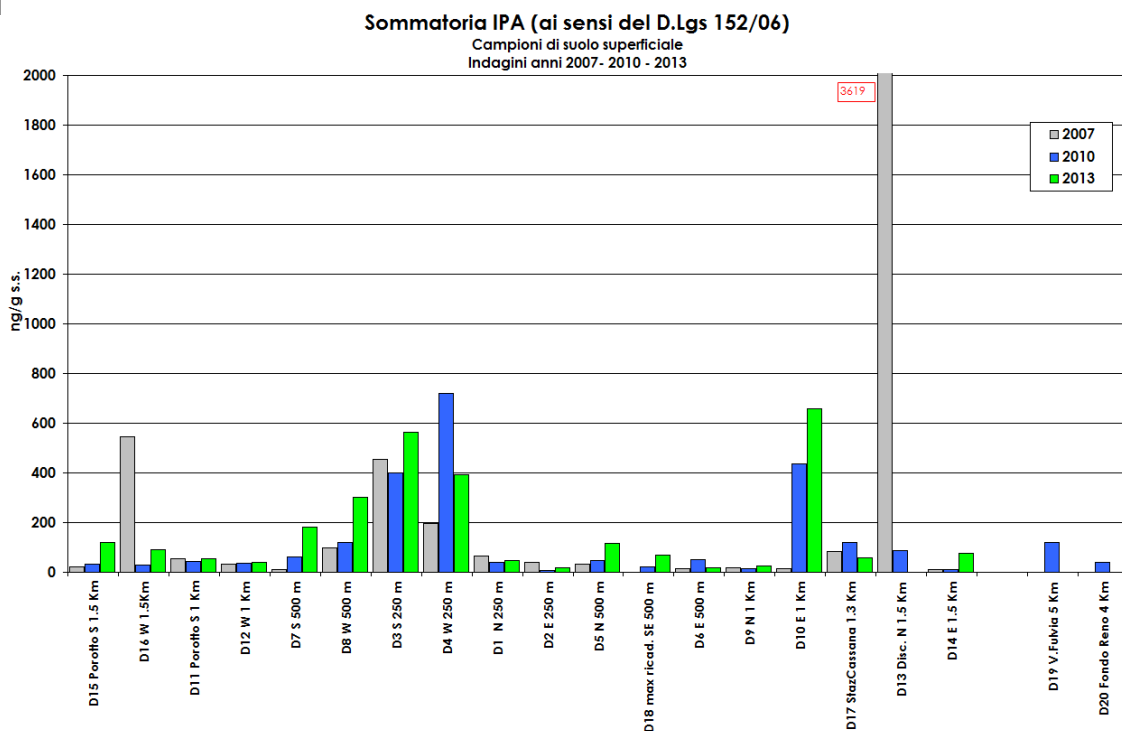
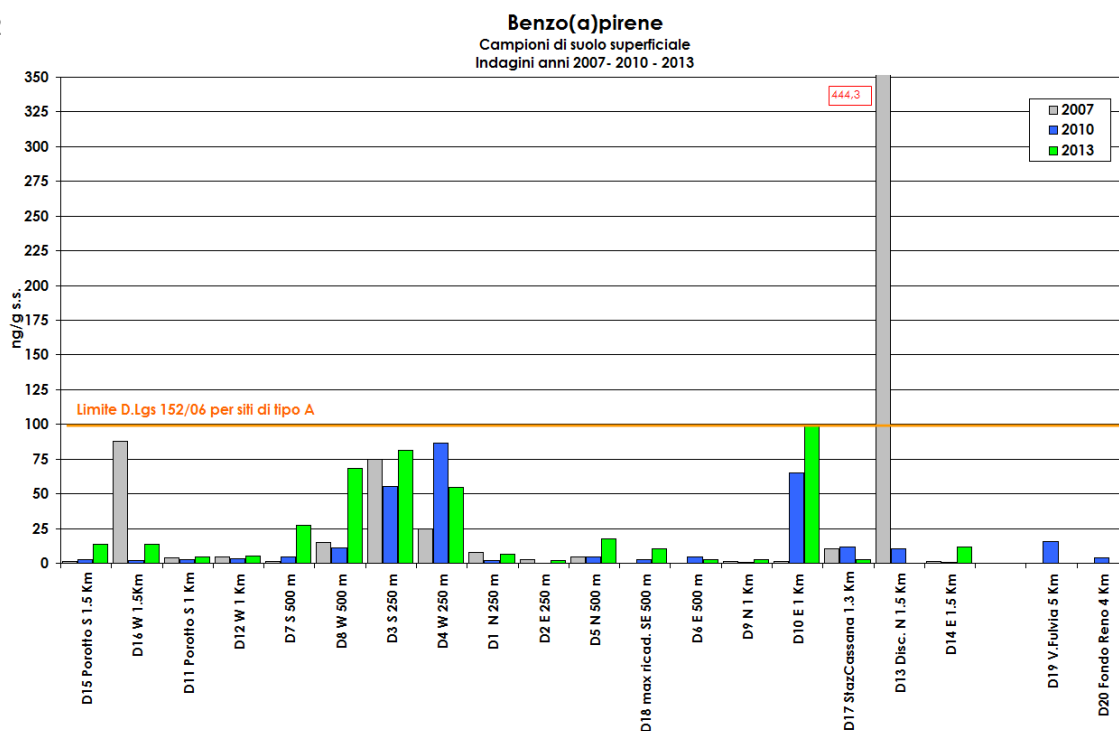


Fig. 5.2



Nel 2013, rispetto all'indagine precedente, si rileva un aumento complessivo delle concentrazioni di IPA, riscontrato sia nella sommatoria di tutti i composti che nella sommatoria rappresentata in figura 5.1. Tale incremento, che comunque fa rilevare concentrazioni modeste, riguarda praticamente tutti i siti ma in misura maggiore i siti D3, D7, D8 e D10, posti a differenti distanze dall'impianto; ad eccezione del sito D10, che si trova ad est dell'impianto all'interno della P.M.I., gli altri siti si trovano a sud e a ovest rispetto all'impianto e i siti D3 e D8 sono all'interno della zona di massima ricaduta del camino.

L'assenza di correlazione fra la sommatoria degli IPA e la distanza dal camino dell'inceneritore (vedi tabella 3.1.2), unitamente alla difformità di comportamento di questi composti rispetto agli inquinanti organo-clorurati, non consente di ricondurre il loro incremento all'inceneritore in senso stretto. A ciò si aggiunge che, diversamente dagli anni precedenti, nel 2013 sono stati rilevati anche alcuni composti a basso peso molecolare (*acenaftilene, acenaftene, fluorene, antracene*) i cui tempi di emivita nel suolo sono estremamente bassi, dell'ordine di alcuni giorni o settimane.

Tale situazione nel suo complesso, sostenuta anche da elaborazioni statistiche di analisi multivariata (che qui non si rappresentano per brevità), fa ipotizzare che l'area d'indagine abbia risentito di ricadute di origine recente rispetto all'epoca del campionamento (eseguito nel novembre 2013), più che del contributo dell'inceneritore, che peraltro non è discriminabile<sup>5</sup>.

Nella figura 5.2 è riportato il confronto 'improprio' per il *benzo(a)pirene* con il valore soglia normato per siti di tipo 'A' (uso verde pubblico, privato e residenziale), che è pari a 100 ng/g s.s..

In figura 5.1 non è stato evidenziato il limite normato per la sommatoria degli IPA essendo molto superiore al fondo scala (10.000 ng/g s.s. per siti di tipo 'A').

In generale dalle elaborazioni grafiche emerge che, in analogia con gli anni precedenti, il comportamento del *benzo(a)pirene* è del tutto simile a quello della sommatoria complessiva degli IPA normati.

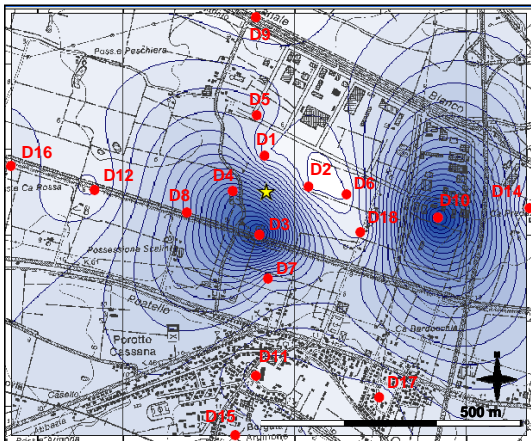
Relativamente al confronto del *benzo(a)pirene* con il valore soglia normato per siti di tipo 'A', nessun valore è risultato superiore a 100 ng/g s.s.; solo per il sito D10 si rileva un valore prossimo al limite, ma si tratta di sito ubicato in un'area industriale, quindi ampiamente al di sotto del limite di 10.000 ng/g s.s. previsto per siti di tipo 'B'.

Per completezza d'informazione, si riporta nelle mappe seguenti l'analisi spaziale della sommatoria di tutti gli IPA ricercati (esclusi *perilene, ciclopenta(c,d)pirene, dibenzo(a,e)fluorantene*) e del *benzo(a)pirene*, le cui distribuzioni risultano praticamente sovrapponibili, figura 5.3.

---

<sup>5</sup> Per completezza d'informazione si ricorda che nel settembre 2013, in un'area molto prossima all'inceneritore, si è sviluppato un incendio importante di paglia e sterpaglie, che ha investito soprattutto il quadrante a sud-ovest dell'inceneritore e ha diffuso nell'area d'indagine una quantità di particolato apprezzabile.

### Somma IPA



### Benzo(a)pirene

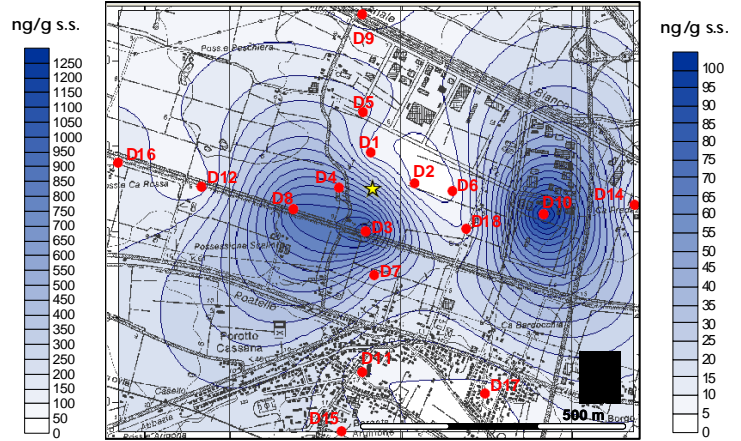


Fig. 5.3: mappe di isoconcentrazione della sommatoria di tutti gli IPA e del *benzo(a)pirene*.

- Siti di campionamento suolo intorno all'inceneritore di Via Diana-Canal Bianco
- ★ Camino inceneritore

## 6. Conclusioni

Al pari dei precedenti studi, effettuati nel 2007 e nel 2010, l'indagine svolta nel mese di novembre 2013 ha monitorato la presenza di microinquinanti organici e inorganici nel suolo circostante l'inceneritore (metalli, diossine e furani, idrocarburi policiclici aromatici), osservandone le variazioni spaziali e temporali e ricercando eventuali relazioni con la sorgente emissiva convogliata dell'impianto di incenerimento, in presenza di fattori confondenti.

Il quadro che si ottiene dall'indagine condotta può essere sintetizzato come segue.

- I valori dei **metalli** riscontrati nell'area di studio sono in linea con quanto già osservato nelle precedenti indagini e ben rispecchiano la distribuzione spaziale del fondo 'naturale-antropico' descritta in letteratura, con particolare riferimento alla regione Emilia-Romagna.

La concentrazione di *antimonio*, *mercurio*, *cadmio* e *tallio* è risultata inferiore al limite di quantificazione strumentale pressoché in tutti i siti.

Per la maggior parte dei metalli, le concentrazioni rilevate nei suoli superficiali hanno una forte relazione con la tessitura del suolo, in particolare con la componente granulometrica più fine. Nello specifico: *berillio*, *cobalto*, *cromo totale*, *nichel* e *vanadio* presentano una correlazione significativa con la percentuale di *argilla*, ben visibile anche nelle mappe di isoconcentrazione.

Quanto agli altri elementi (*arsenico*, *piombo*, *rame*, *stagno*, *zinco*), la mancanza di una correlazione significativa con la distanza dall'inceneritore porta ad ipotizzare che i valori più alti rilevati in alcuni siti siano l'esito di micro-contaminazioni puntuali derivanti da fattori confondenti o da apporti di sorgenti diffuse.

Non si rilevano correlazioni tra i metalli, la sommatoria di diossine e furani e la sommatoria degli IPA. Non si rileva neppure una relazione significativa tra il contributo del camino dell'inceneritore e le concentrazioni rilevate per ogni metallo, poiché i valori delle concentrazioni non correlano con la distanza dalla sorgente emissiva.

Complessivamente non si apprezzano variazioni significative tra i diversi siti investigati, in particolare fra l'area più prossima all'impianto e quelle più distanti.

I livelli medi di concentrazione non sono significativamente diversi rispetto al 2010 e i lievi incrementi che si rilevano per alcuni metalli non appaiono modificare il quadro d'insieme degli ultimi anni.

In merito al raffronto con i limiti di legge, considerando l'incidenza dei valori di fondo, l'inclusione dello scheletro e l'incertezza analitica, le concentrazioni osservate nel 2013 risultano tutte conformi al D.Lgs 152/2006.

- Per ciò che concerne le **diossine** e **furani** (PCDD/PCDF), la loro sommatoria, anche espressa in termini di Tossicità Equivalente (WHO-TEQ), ha dato valori alquanto contenuti e omogenei in ogni sito indagato, ampiamente inferiori ai limiti previsti dal D.Lgs 152/2006.

Il confronto delle sommatorie dei congeneri del 2010 e del 2013, sia espresse in TEQ che tal quali, indica che nel 2013 vi è stata una diminuzione generale del contenuto totale di diossine e furani. Complessivamente durante i sei anni d'indagine è stata registrata una tendenziale crescita dal 2007 al 2010, mentre appare una diminuzione delle concentrazioni medie dal 2010 al 2013; la riduzione riguarda soprattutto i siti più prossimi all'impianto (a distanza di 250 m dall'inceneritore) e quelli nelle aree urbane a sud rispetto al camino.

Tale aspetto è in linea con il fatto che, diversamente da quanto rilevato nel 2010, nella presente indagine non si è riscontrata nessuna correlazione statisticamente significativa fra la sommatoria di diossine e furani e la distanza dal camino dell'inceneritore, nè fra la stessa e i principali congeneri.

La *2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina*, congenere di maggiore importanza tossicologica, non è stata rilevata in nessun campione, mentre sono risultati più abbondanti i congeneri meno tossici *epta-* e soprattutto *octacloro* sostituiti (H7CDD, H7CDF, O8CDD, O8CDF), compatibili con un inquinamento diffuso da traffico e da molteplici sorgenti che contribuiscono a generare un valore di fondo della concentrazione di tali composti.

- Riguardo agli **idrocarburi policiclici aromatici** (IPA) i livelli rilevati sono ampiamente inferiori ai limiti indicati dalla normativa; tuttavia rispetto all'indagine precedente nel 2013 si rileva un complessivo aumento, seppur moderato, delle concentrazioni che riguarda praticamente tutti i siti e particolarmente quelli posti nel quadrante sud-ovest rispetto all'impianto.

Diversamente dagli anni precedenti, nel 2013 sono stati rilevati anche alcuni composti a basso peso molecolare (*acenaftilene*, *acenaftene*, *fluorene*, *antracene*) i cui tempi di emivita nel suolo sono estremamente bassi, dell'ordine di alcuni giorni o settimane. Tale ritrovamento, unitamente all'assenza di correlazione fra la sommatoria degli IPA e la distanza dal camino dell'inceneritore, nonché alla difformità di comportamento di questi composti rispetto agli inquinanti organoclorurati, porta ad ipotizzare che l'area d'indagine abbia risentito di ricadute di origine recente rispetto all'epoca del campionamento (eseguito nel novembre 2013), più che del contributo dell'inceneritore, che peraltro non è discriminabile.

Complessivamente l'indagine del 2013 non ha rilevato specifiche criticità ambientali nell'area indagata, pur tuttavia le analisi svolte nella medesima area nel corso degli anni (2007, 2010, 2013) hanno mostrato ciascuna elementi di singolarità e differenze che delineano un quadro in continua evoluzione strettamente correlato alle attività antropiche (civili ed industriali) che hanno luogo nel territorio.



## Bibliografia

- [1] US Department of Agriculture - NRCS. *Soil Taxonomy*.
- [2] Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2012. *Carta del fondo naturale della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:250.000 (2012). Note illustrative della Carta pedogeochimica della pianura emiliano-romagnola alla scala 1:250 000 (2012).*  
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/metalli-pesanti/carta-pedogeochimica-cr-ni-zn-pb-cu-250-2012>
- [3] Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2013. *Carta del fondo naturale-antropico della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:250.000 (2013). Note illustrative della Carta del Fondo naturale Antropico della pianura emiliano-romagnola alla scala 1:250 000 (2013).*  
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/metalli-pesanti/carta-del-fondo-naturale-antropico-della-pianura-emiliano-romagnola-alla-scala1-250-000-2012>
- [4] Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. *Cartografia interattiva e banche dati. Cartografia dei suoli.*  
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis-suoli>
- [5] Bianchini et al. (2002). *Chemical-mineralogical characterisation of clay sediments around Ferrara (Italy): a tool for an environmental analysis*. Appl. Clay Science 21: 165-176.
- [6] ARPAV, 2011. *Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Determinazione dei valori di fondo*. Dipartimento Provinciale di Treviso, Servizio Suoli, Regione Veneto.
- [7] Van den Berg et al. (2006). *The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds*. Toxicological Sciences 93(2). Pages 223-241 (2006).
- [8] NATO/CCMS, 1988. *International toxicity equivalency factors (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxin and related compounds*. North Atlantic Treaty Organization, Committee on the Challenges of Modern Society, North Atlantic Treaty Organization, Brussels, Report no.176.
- [9] Istituto Superiore di Sanità (2006). *Linee guida per la prevenzione della contaminazione da PCDD e PCDF e da sostanze diossina-simili in azienda agricola*. Rapporti ISTISAN 06/5.
- [10] Park et. al (1990). *Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon compounds in two soil type: Influence of volatilization, abiotic loss and biological activity*. Environ. Toxicol. Chem., 9, 187-195.
- [11] *Banca dati tossicologica del suolo e dei prodotti derivati*. Regione Puglia.  
<http://bdt.unile.it/schede.html>