

“Diana – Indagine 2016” 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: Servizio Sistemi Ambientali (Resp. Dr.ssa Enrica Canossa)
Area Monitoraggio e Valutazione Corpi Idrici (Resp. Dott. Roberto Vecchietti)
Studio a cura di Manuela Mengoni

Hanno collaborato: Sabina Bellodi
Francesca Galliera
Danilo Vallieri

Ferrara, giugno 2017

INDICE

Relazione

1. Ambito dell'indagine

1.1 Piano di campionamento

1.2 Obiettivi dello studio e metodologia di elaborazione

2. Risultati dell'indagine

2.1 Granulometria

2.2 Metalli

2.2.1 Analisi di correlazione

2.2.2 Analisi spaziale

2.2.3 Analisi multivariata

2.2.4 Analisi temporale

2.3 PCDD (diossine) e PCDF (furani)

2.4 IPA (idrocarburi policiclici aromatici)

3. 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 da ARPAE, Sezione Provinciale di Ferrara, in seguito alla convenzione che HERAmbiente ha stipulato con l'Agenzia nel novembre del 2016.

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 il 15/12/2015.

Lo studio segue tre precedenti indagini eseguite nella stessa area rispettivamente nel 2007¹, nel 2010² e nel 2013³.

Il termovalorizzatore/inceneritore è inserito nella Piccola Media Industria di Cassana (Via C. Diana) 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 dal 2007 al 2013, 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.

¹ '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.

² '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.

³ '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)': https://www.arpae.it/dettaglio_documento.asp?id=5388&idlivello=445.

L'indagine è stata curata dal Servizio Sistemi Ambientali della Sezione ARPAE di Ferrara che si è avvalsa del Laboratorio Integrato della Sezione ARPAE di Ravenna per l'analisi dei campioni.

Il campionamento, effettuato nel mese di ottobre 2016, 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** e **figura 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 2016 sono gli stessi del 2013 ad eccezione del sito D2 che durante la presente indagine è stato spostato a pochi metri di distanza, non essendo più disponibile la precedente area.

CODICE SITO	DISTANZA	X ETRS89 (fuso 32)	Y ETRS89 (fuso 32)
D1	250 m N	701746	4970769
D2	250 m E	701947	4970484
D3	250 m S	701712	4970365
D4	250 m W	701611	4970547
D5	500 m N	701696	4971005
D6	500 m E	702200	4970534
D7	500 m S	701757	4970045
D8	500 m W	701290	4970435
D9	1 Km N	701693	4971597
D10	1 Km E	702752	4970404
D11	Porotto 1 Km S	701690	4969488
D12	1 Km W	700736	4970580
D14	1.5 Km E	703265	4970458
D15	Porotto 1.5 Km S	701573	4969135
D16	1.5 Km W	700264	4970706
D17	Staz. Cassana 1.3 Km	702412	4969358
D18	500 m max ricaduta	702302	4970318

Tab. 1: identificazione e localizzazione dei siti di campionamento (coordinate UTM - ETRS89).

I campionamenti sono stati eseguiti raccogliendo una colonna indisturbata di suolo fino alla profondità di 10 cm e le aliquote prelevate sono state raggruppate in un campione di tipo *medio-composito*, ottenuto mescolando quattro aliquote puntuali prelevate all'interno di un'area (sito di campionamento) di circa 10 m².

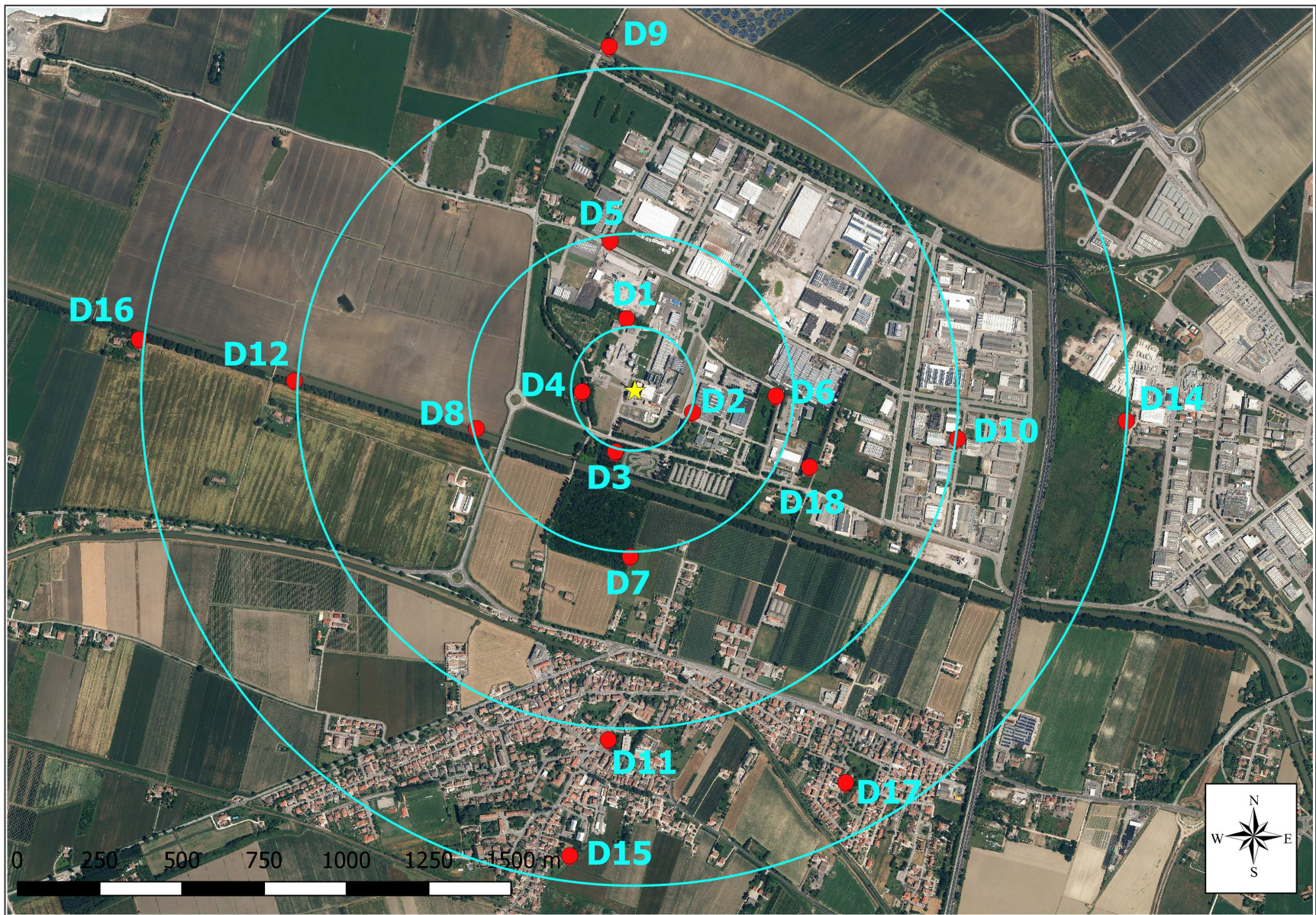


Fig. 1: ● Siti di campionamento di suolo intorno all'inceneritore di HERAmbiente.
★ Camino inceneritore

1.1 Piano di campionamento

L'attività di campionamento è stata eseguita nel mese di ottobre 2016, a tre anni di distanza dalla precedente indagine (novembre 2013);

I parametri ricercati sono gli stessi della precedente indagine del 2013:

- 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-H6CD; 1,2,3,4,6,7,8-H7CDF; 1,2,3,4,7,8,9-H7CDF; O8CDF.*
- 24 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) (ng/g s.s.): *naftalene, acenaftene, acenaftilene, fluorene, fenantrene, fluorantene, antracene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b+j)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, 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 pressione 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, 2013 e 2016.

Lo schema di elaborazione seguito è quello 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* e *Principal Components Analysis*).

Altre rappresentazioni grafiche sono state utilizzate per illustrare confronti temporali dei valori determinati durante le quattro campagne d'indagine 2007, 2010, 2013 e 2016.

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

2.1 Granulometria

Ai fini della definizione delle caratteristiche fisiche dei suoli e dell'elaborazione con gli altri parametri indagati, 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 μ e 50 μ ;
- *limo*: le particelle limose hanno un diametro compreso tra 50 μ e 2 μ ;
- *argilla*: le particelle argillose hanno un diametro < 2 μ .

In **tabella 2** è riportato un quadro riassuntivo delle porzioni di *sabbia*, *limo* e *argilla* rilevate nei 17 siti indagati.

	Sabbia	Limo	Argilla
SITO	%	%	%
D1	34,3	42,4	23,3
D2	35,9	46,9	17,2
D3	40,1	48,2	11,7
D4	47,8	44,3	7,9
D5	31,1	49,0	19,9
D6	34,3	46,6	19,1
D7	17,3	52,5	30,2
D8	53,7	36,8	9,5
D9	28,7	43,5	27,8
D10	37,7	45,1	17,2
D11	20,0	55,1	24,9
D12	66,3	22,8	10,9
D14	65,9	25,4	8,7
D15	36,6	52,5	10,9
D16	24,2	45,1	30,7
D17	28,8	50,3	20,9
D18	24,2	47,2	28,6

Tab. 2.: 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 tessiturali dei suoli campionati, determinate sulla base della proporzione relativa delle singole frazioni dimensionali, sono sostanzialmente confrontabili con quanto emerso nel 2010 e 2013, eccezione fatta per il sito D12 che in questa indagine è caratterizzato in prevalenza da una granulometria sabbiosa, diversamente dalle precedenti dove prevaleva una componente limoso-argillosa.

In **figura 2** è riportata la classificazione tessiturale secondo USDA-NCRS [1].

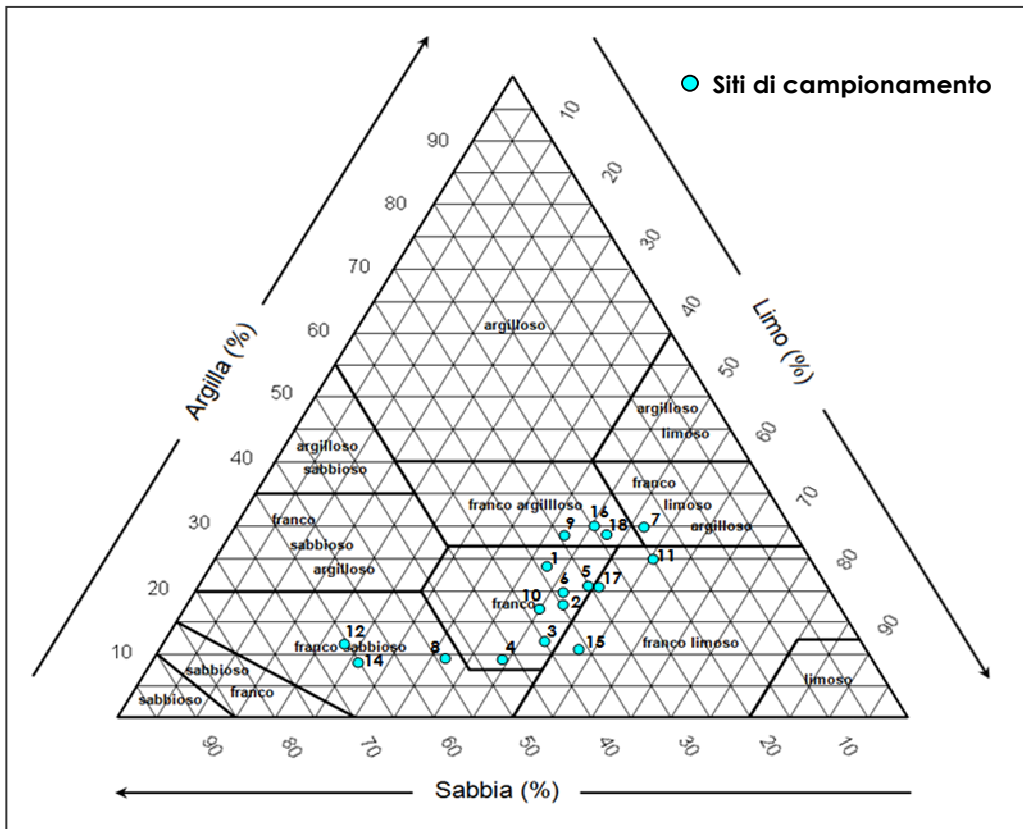


Fig. 2: Triangolo USDA-NCRS, individuazione delle classi tessiturale dei campioni di suolo.

Come confronto si riporta in **figura 3** la distribuzione spaziale della componente argillosa contenuta nei campioni di suolo prelevati nell'area di studio nel 2016 e nel 2013, 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, ad eccezione dell'area intorno al campione D12.

In linea generale la composizione dei suoli campionati è rimasta invariata nel tempo.

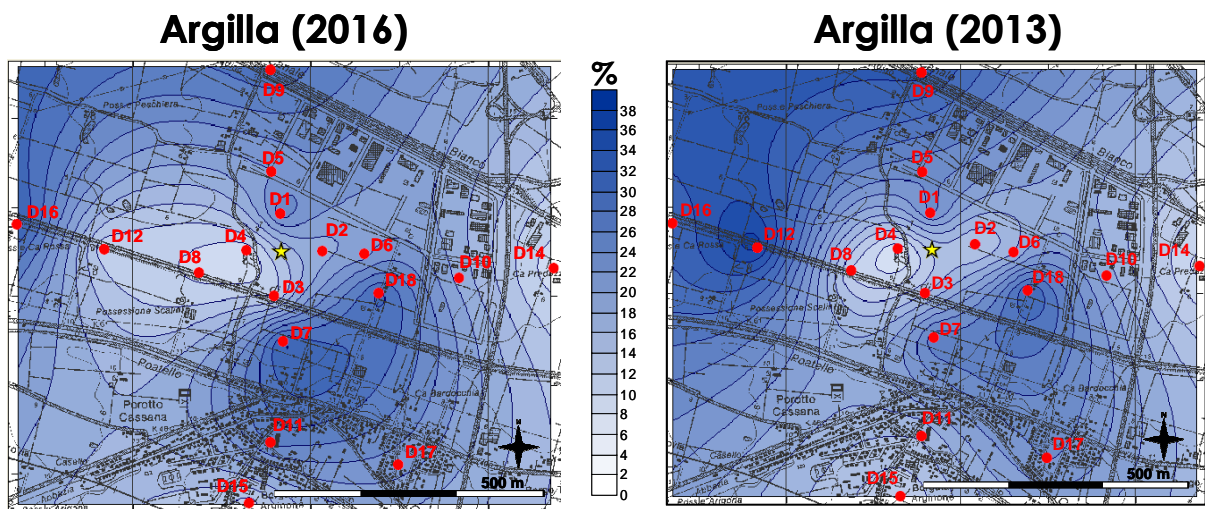


Fig. 3: distribuzione spaziale del contenuto in argilla

- Siti di campionamento di suolo intorno all'inceneritore di HERAmbiente
- ★ Camino inceneritore

2.2 Metalli

Nella **tabella 3** 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 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	0,3	8,9	0,9	0,15	14,5	137,8	<0,10	101,0	13,5	26,3	2,2	0,3	69,5	71,9
D2	0,2	8,3	0,9	0,16	12,5	103,2	<0,10	66,8	16,7	36,7	2,3	0,3	64,1	90,9
D3	0,4	8,9	0,7	0,18	13,9	139,5	<0,10	98,0	20,3	27,3	3,4	0,3	61,0	70,3
D4	0,4	7,1	0,6	0,23	11,1	114,7	<0,10	77,8	24,1	56,9	3,7	0,2	49,6	121,5
D5	0,6	10,9	1,1	0,30	13,9	140,4	<0,10	98,3	19,4	39,0	2,5	0,3	66,5	55,4
D6	<0,2	9,6	0,9	0,12	12,9	121,9	<0,10	80,4	16,7	31,8	2,0	0,3	61,1	78,3
D7	0,6	7,7	1,3	0,19	16,1	153,0	<0,10	110,3	32,1	52,1	4,2	0,4	79,5	64,1
D8	0,4	5,8	0,8	0,17	12,1	117,7	<0,10	82,0	16,2	22,1	2,0	0,3	54,7	44,5
D9	0,5	8,5	1,2	0,20	13,9	137,5	<0,10	95,4	17,5	30,3	2,4	0,5	73,2	55,7
D10	0,2	9,1	0,6	0,15	13,5	126,6	<0,10	93,7	14,7	25,3	2,0	0,3	58,4	69,8
D11	0,2	6,2	0,8	<0,10	12,3	92,8	<0,10	59,2	16,8	32,8	2,4	0,4	71,6	75,4
D12	0,3	5,6	0,7	0,13	11,8	109,3	<0,10	79,4	13,2	34,1	1,6	0,2	49,0	44,8
D14	<0,2	6,8	0,4	0,13	10,6	110,5	<0,10	73,7	12,4	15,1	1,6	0,2	42,9	53,3
D15	<0,2	5,3	0,6	<0,10	9,8	66,3	<0,10	47,4	12,1	24,4	1,6	0,2	47,2	59,5
D16	0,6	7,6	1,4	0,25	16,1	163,2	<0,10	116,8	22,9	39,1	2,8	0,5	86,2	63,0
D17	0,4	6,3	1,1	0,21	12,9	80,7	<0,10	54,5	21,5	43,3	3,8	0,4	75,4	137,8
D18	0,3	22,6	1,0	0,17	14,5	146,0	<0,10	105,0	18,3	39,5	2,8	0,4	76,7	86,5

Tab. 3: metalli rilevati nei campioni di suolo.

Nella **tabella 4** 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**), non è stato considerato nelle elaborazioni grafiche e statistiche successive.

E' importante rilevare che nella presente indagine i limiti di quantificazione strumentale sono risultati inferiori a quelli della precedente per diversi metalli, conseguentemente è stato possibile apprezzare anche le concentrazioni di antimonio, cadmio e tallio che nel 2013 erano risultate pressoché tutte inferiori a tali limiti. Diversamente è accaduto per il mercurio, che a causa delle basse concentrazioni non è stato possibile apprezzare nonostante il limite di quantificazione più basso.

Per tutti i metalli l'analisi statistica descrittiva indica una distribuzione assimilabile a quella normale. Come già evidenziato in passato, per l'arsenico si stima una più marcata asimmetria, evidenziata graficamente dall'analisi statistica Box-and-Whisker (**figura 4**). Per questo metallo è stato rilevato un valore massimo di 22,6 mg/kg s.s. nel sito D18 che può essere ascrivibile a una

micro-contaminazione puntuale più che all'emissione del camino, così come emerge dall'indagine statistica illustrata nel seguito.

METALLO	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo tot	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
n° osservazioni	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
min	0,1	5,3	0,4	0,1	9,8	66,3	47,4	12,1	15,1	1,6	0,2	42,9	44,5
max	0,6	22,6	1,4	0,3	16,1	163,2	116,8	32,1	56,9	4,2	0,5	86,2	137,8
media	0,3	8,5	0,9	0,2	13,1	121,2	84,7	18,1	33,9	2,5	0,3	63,9	73,1
mediana	0,3	7,7	0,9	0,2	12,9	121,9	82,0	16,8	32,8	2,4	0,3	64,1	69,8
percentile 10°	0,1	5,7	0,6	0,1	10,9	88,0	57,3	12,9	23,5	1,6	0,2	48,3	49,9
percentile 90°	0,6	10,1	1,2	0,2	15,1	148,8	107,1	23,4	46,8	3,7	0,4	77,8	103,1
percentile 95°	0,6	13,2	1,3	0,3	16,1	155,0	111,6	25,7	53,1	3,9	0,5	80,8	124,8
dev.std	0,2	3,9	0,3	0,1	1,7	25,9	20,0	5,0	10,7	0,8	0,1	12,5	25,1
varianza	0,03	15,6	0,1	0,004	3,1	672,5	401,1	25,5	113,6	0,6	0,01	156,1	629,5
errore std	0,04	0,96	0,07	0,02	0,42	6,29	4,86	1,22	2,59	0,19	0,02	3,03	6,09
cv%	51,6%	46,2%	30,9%	38,2%	13,4%	21,4%	23,6%	27,8%	31,5%	31,5%	30,0%	19,5%	34,3%
asimmetria	0,20	3,09	0,25	-0,03	0,002	-0,49	-0,30	1,32	0,53	0,76	0,40	-0,05	1,45
curtosi	-1,04	11,18	-0,54	0,54	-0,26	-0,13	-0,76	2,44	0,32	-0,38	-0,56	-0,91	2,05

Tab. 4: statistica descrittiva dei dati riferiti ai metalli.

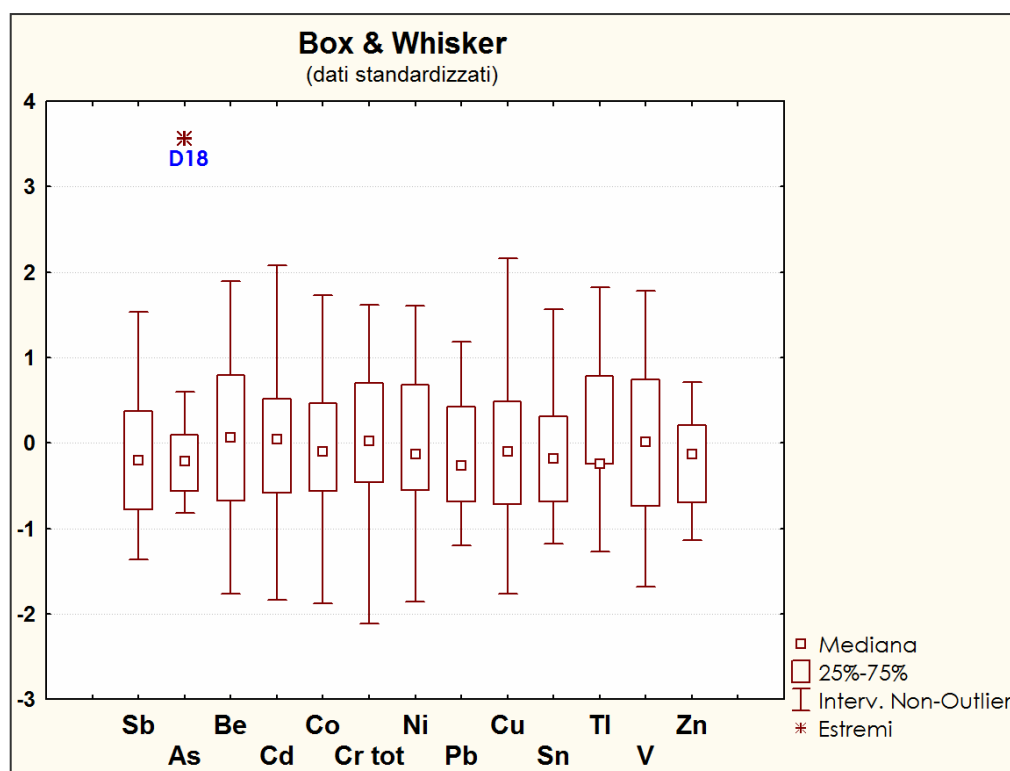


Fig. 4: rappresentazione grafica 'Box-and-Whisker plot' dei metalli indagati.

Riguardo ai livelli di concentrazione misurati per i vari metalli è utile confrontarli con quanto emerge dagli studi svolti dalla Regione Emilia-Romagna sulle distribuzioni spaziali del fondo naturale e/o naturale-antropico di metalli nei suoli della Pianura emiliano-romagnola.

Dal 2005 il Servizio geologico, sismico e dei suoli (Sgss) ha prodotto due tipologie di cartografia dei metalli pesanti: *Carta del fondo naturale di cromo, rame, nichel, piombo, vanadio, zinco* a scala 1:250.000, che rappresenta la distribuzione areale della concentrazione a circa un metro di profondità (90-130 cm); *Carta del fondo naturale-antropico di arsenico, cromo, rame, nichel, piombo, stagno, vanadio, zinco* a scala 1:250.000, che rappresenta la distribuzione areale della concentrazione nei primi 30 cm.⁴

Il raffronto dei valori misurati nella presente indagine con quelli riportati nelle elaborazioni cartografiche regionali relative all'area d'interesse, fa emergere per tutti i metalli (*arsenico, cromo totale, nichel, piombo, rame, stagno, vanadio, zinco*) un'ottima confrontabilità con i valori di fondo naturale e naturale-antropico.

Gli studi svolti dalla Regione Emilia-Romagna [2,3] che hanno accompagnato le elaborazioni cartografiche 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 *nichel* 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).

⁴ Entrambe le carte sono consultabili sui siti web del Servizio Geologico ai seguenti indirizzi:

<http://bit.ly/suoli-ER>

<http://bit.ly/cartografia-suoli-ER>

e scaricabili dal Geocatalogo regionale alla voce "suoli".

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.Lgs 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).

2.2.1 Analisi di correlazione

Al fine di valutare il grado di interdipendenza esistente tra i vari metalli (**tabella 5**) - e tra questi e la tessitura dei suoli, le sommatorie dei microinquinanti organici e la distanza dei siti rispetto al camino dell'inceneritore (**tabella 6**) - sono state elaborate le matrici dei coefficienti di correlazione. Per le stesse variabili si riporta in **figura 5** la matrice di *scatterplot* (grafico di dispersione).

	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr tot	Ni	Pb	Cu	Sn	TI	V	Zn
Sb	1,00	0,05	0,74	0,82	0,68	0,63	0,63	0,72	0,54	0,62	0,54	0,59	-0,03
As	0,05	1,00	0,22	0,21	0,40	0,46	0,46	0,07	0,15	0,12	0,26	0,36	0,12
Be	0,74	0,22	1,00	0,54	0,81	0,54	0,52	0,61	0,48	0,47	0,84	0,90	0,06
Cd	0,82	0,21	0,54	1,00	0,52	0,60	0,57	0,56	0,50	0,52	0,31	0,39	0,18
Co	0,68	0,40	0,81	0,52	1,00	0,84	0,84	0,59	0,34	0,49	0,74	0,86	-0,05
Cr tot	0,63	0,46	0,54	0,60	0,84	1,00	0,99	0,45	0,20	0,30	0,47	0,52	-0,29
Ni	0,63	0,46	0,52	0,57	0,84	0,99	1,00	0,43	0,18	0,28	0,44	0,51	-0,31
Pb	0,72	0,07	0,61	0,56	0,59	0,45	0,43	1,00	0,81	0,91	0,45	0,56	0,34
Cu	0,54	0,15	0,48	0,50	0,34	0,20	0,18	0,81	1,00	0,78	0,24	0,43	0,58
Sn	0,62	0,12	0,47	0,52	0,49	0,30	0,28	0,91	0,78	1,00	0,39	0,53	0,60
TI	0,54	0,26	0,84	0,31	0,74	0,47	0,44	0,45	0,24	0,39	1,00	0,92	0,08
V	0,59	0,36	0,90	0,39	0,86	0,52	0,51	0,56	0,43	0,53	0,92	1,00	0,20
Zn	-0,03	0,12	0,06	0,18	-0,05	-0,29	-0,31	0,34	0,58	0,60	0,08	0,20	1,00

Tab. 5: coefficienti di correlazione 'r' tra i metalli ricercati (in rosso sono evidenziate le correlazioni significative a livello $p < 0,01$).

	Distanza	Argilla	Limo	Sabbia	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr tot	Ni	Pb	Cu	Sn	TI	V	Zn	Somma PCDD/PCDF	Somma IPA
Distanza	1,00	-0,01	-0,18	0,12	-0,16	-0,36	-0,07	-0,22	-0,29	-0,37	-0,33	-0,23	-0,25	-0,27	0,09	-0,10	-0,10	-0,36	-0,31
Argilla	-0,01	1,00	0,48	-0,84	0,45	0,41	0,85	0,23	0,81	0,52	0,52	0,44	0,34	0,35	0,88	0,94	0,05	-0,11	-0,15
Limo	-0,18	0,48	1,00	-0,88	0,18	0,18	0,41	0,03	0,32	-0,02	-0,04	0,45	0,39	0,50	0,44	0,55	0,41	0,08	0,03
Sabbia	0,12	-0,84	-0,88	1,00	-0,36	-0,34	-0,72	-0,15	-0,64	-0,28	-0,26	-0,52	-0,43	-0,50	-0,75	-0,85	-0,27	0,01	0,06
Sb	-0,16	0,45	0,18	-0,36	1,00	0,05	0,74	0,82	0,68	0,63	0,63	0,72	0,54	0,62	0,54	0,59	-0,03	-0,16	-0,13
As	-0,36	0,41	0,18	-0,34	0,05	1,00	0,22	0,21	0,40	0,46	0,46	0,07	0,15	0,12	0,26	0,36	0,12	-0,06	-0,01
Be	-0,07	0,85	0,41	-0,72	0,74	0,22	1,00	0,54	0,81	0,54	0,52	0,61	0,48	0,47	0,84	0,90	0,06	0,01	-0,03
Cd	-0,22	0,23	0,03	-0,15	0,82	0,21	0,54	1,00	0,52	0,60	0,57	0,56	0,50	0,52	0,31	0,39	0,18	0,11	0,04
Co	-0,29	0,81	0,32	-0,64	0,68	0,40	0,81	0,52	1,00	0,84	0,84	0,59	0,34	0,49	0,74	0,86	-0,05	-0,06	-0,10
Cr tot	-0,37	0,52	-0,02	-0,28	0,63	0,46	0,54	0,60	0,84	1,00	0,99	0,45	0,20	0,30	0,47	0,52	-0,29	0,09	-0,14
Ni	-0,33	0,52	-0,04	-0,26	0,63	0,46	0,52	0,57	0,84	0,99	1,00	0,43	0,18	0,28	0,44	0,51	-0,31	0,01	-0,19
Pb	-0,23	0,44	0,45	-0,52	0,72	0,07	0,61	0,56	0,59	0,45	0,43	1,00	0,81	0,91	0,45	0,56	0,34	0,08	-0,03
Cu	-0,25	0,34	0,39	-0,43	0,54	0,15	0,48	0,50	0,34	0,20	0,18	0,81	1,00	0,78	0,24	0,43	0,58	0,21	0,07
Sn	-0,27	0,35	0,50	-0,50	0,62	0,12	0,47	0,52	0,49	0,30	0,28	0,91	0,78	1,00	0,39	0,53	0,60	-0,07	-0,03
TI	0,09	0,88	0,44	-0,75	0,54	0,26	0,84	0,31	0,74	0,47	0,44	0,45	0,24	0,39	1,00	0,92	0,08	-0,16	-0,07
V	-0,10	0,94	0,55	-0,85	0,59	0,36	0,90	0,39	0,86	0,52	0,51	0,56	0,43	0,53	0,92	1,00	0,20	-0,13	-0,03
Zn	-0,10	0,05	0,41	-0,27	-0,03	0,12	0,06	0,18	-0,05	-0,29	-0,31	0,34	0,58	0,60	0,08	0,20	1,00	0,15	0,19
Somma PCDD/PCDF	-0,36	-0,11	0,08	0,01	-0,16	-0,06	0,01	0,11	-0,06	0,09	0,01	0,08	0,21	-0,07	-0,16	-0,13	0,15	1,00	0,38
Somma IPA	-0,31	-0,15	0,03	0,06	-0,13	-0,01	-0,03	0,04	-0,10	-0,14	-0,19	-0,03	0,07	-0,03	-0,07	-0,03	0,19	0,38	1,00

Tab. 6: 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 $p < 0,01$).

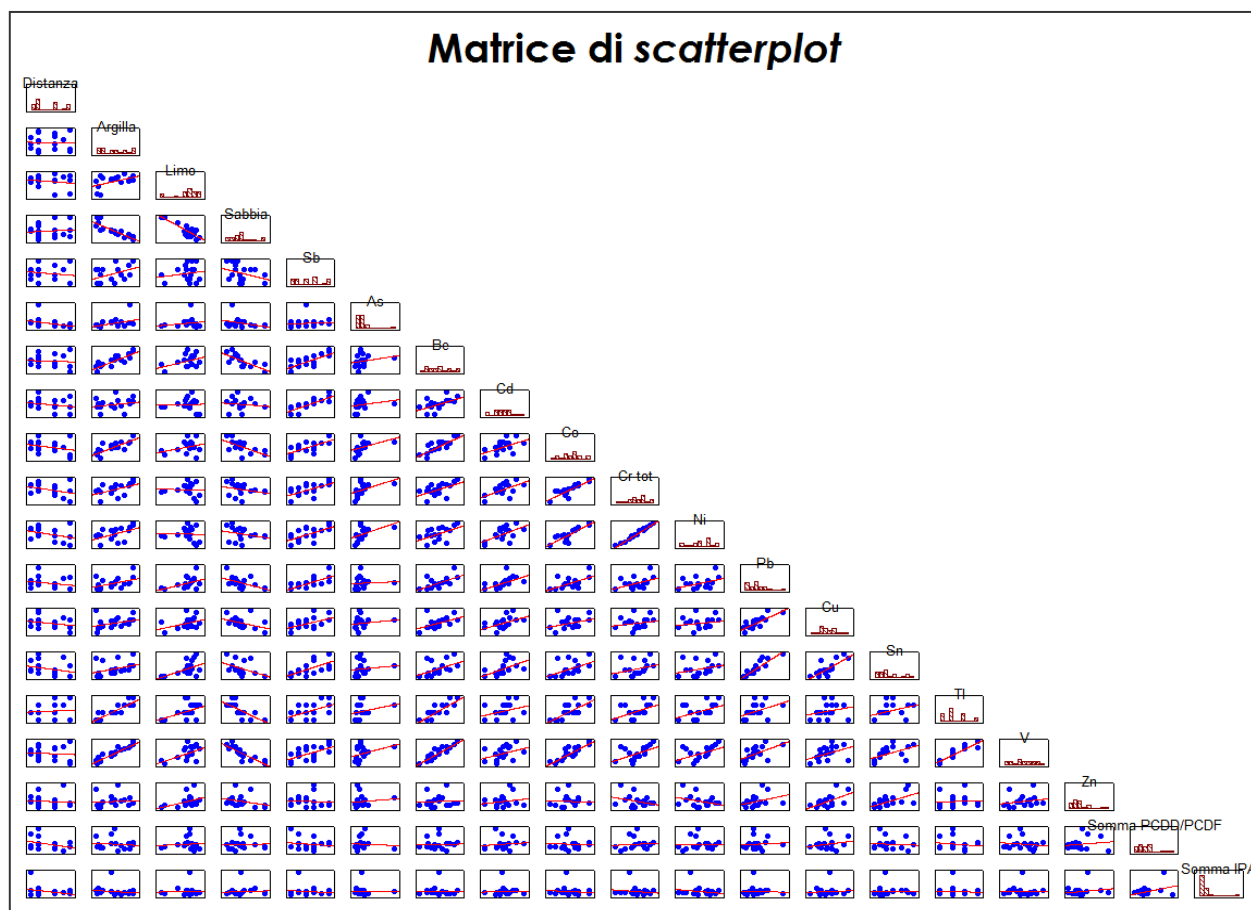


Fig. 5: grafici di dispersione relativi ai metalli, alla distanza dal camino, alla tessitura ed alle somme dei composti organici (in rosso sono evidenziate le rette di regressione).

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*, tra *berillio*, *cobalto*, *tallio* e *vanadio*, tra *stagno*, *piombo* e *rame* e tra *antimonio* e *cadmio*.

Correlazioni significative per *berillio*, *cobalto* 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 ancora una volta in linea con quanto riportato in letteratura per i suoli superficiali regionali e provinciali [2, 3, 4] e con quanto riscontrato in alcune indagini condotte nella

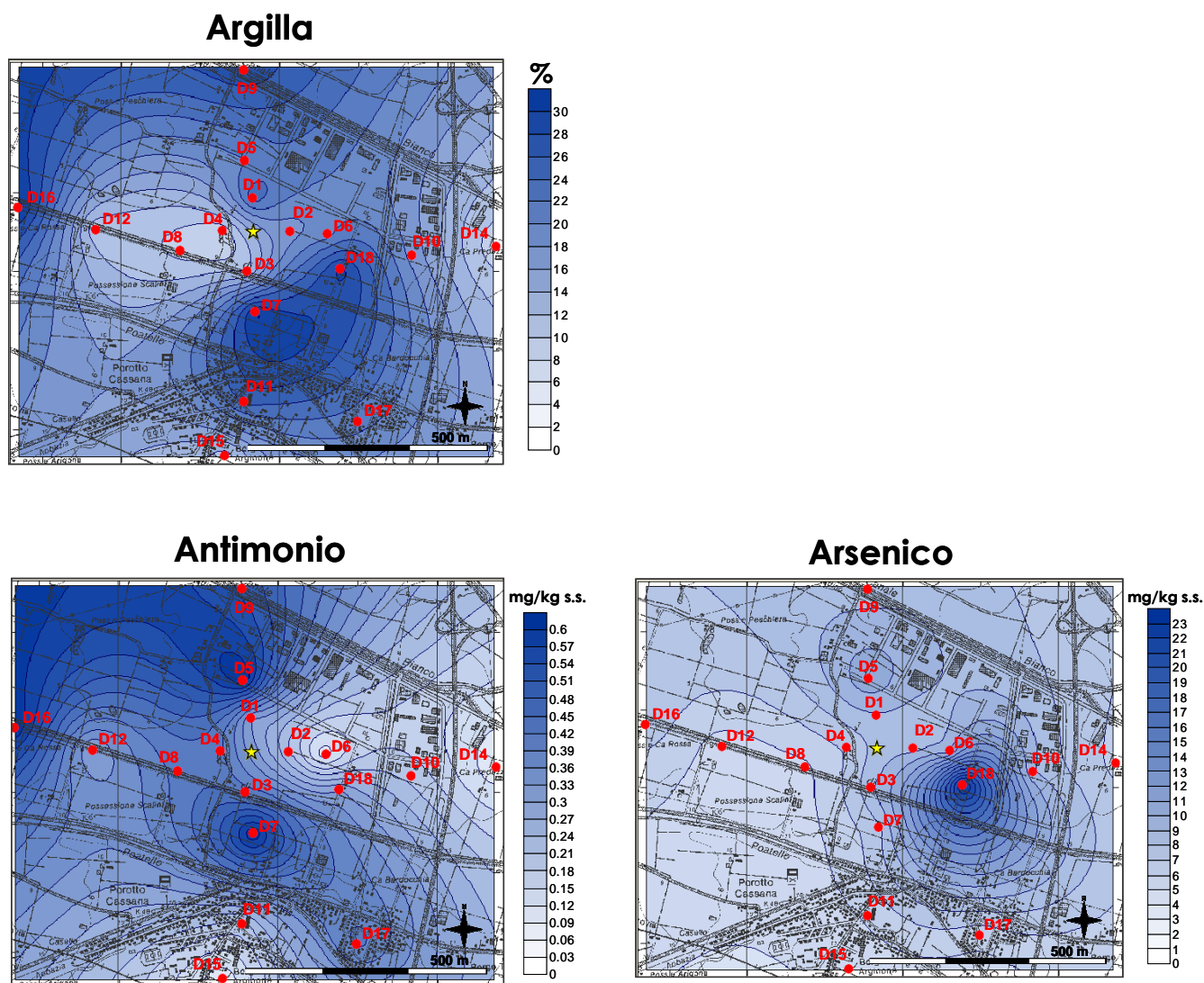
vicina Regione Veneto [5]. Pertanto le concentrazioni dei metalli ricercati possono essere riconducibili al contenuto geochimico naturale del suolo, alla tessitura ed all'impatto di diversi fattori antropici che insistono a scala più ampia e non sono associabili ad un'unica sorgente emissiva.

2.2.2 Analisi spaziale

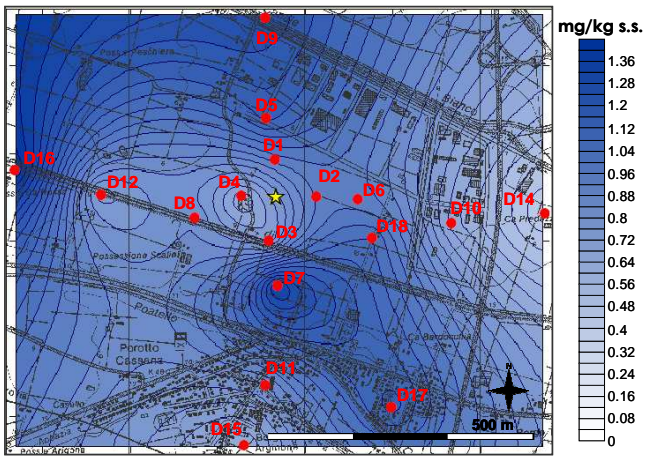
Allo scopo di ricercare l'eventuale esistenza di relazioni spaziali fra le concentrazioni dei metalli, la distanza dal camino e la tessitura (in particolare il contenuto di *argilla*), si è effettuato un esame comparato delle immagini contenute in **figura 6**, ottenute mediante interpolazione statistica *Kriging*.

Fig. 6: mappe della distribuzione di argilla (%) e della concentrazione dei metalli (mg/Kg s.s.).

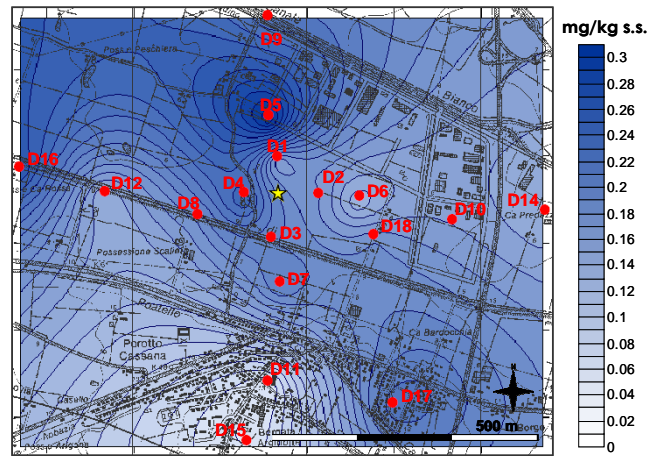
- Siti di campionamento di suolo intorno all'inceneritore di HERAmbiente
- ★ Camino inceneritore



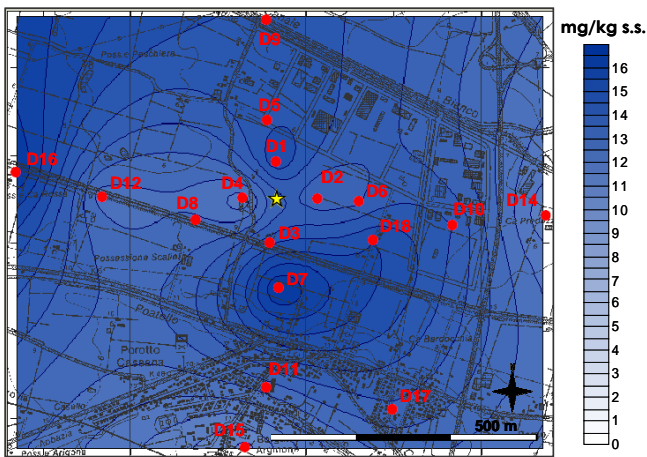
Berillio



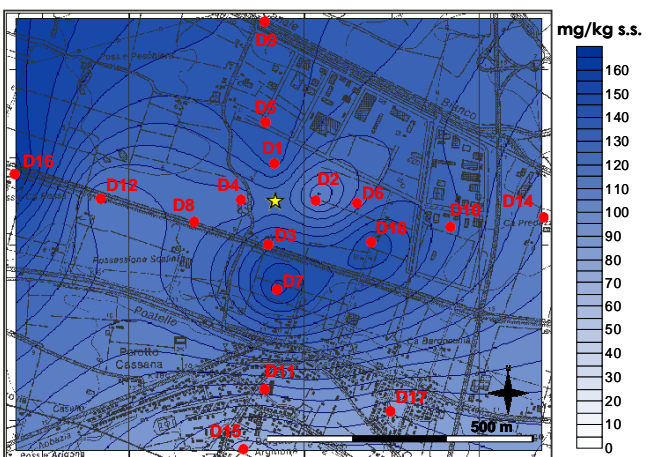
Cadmio



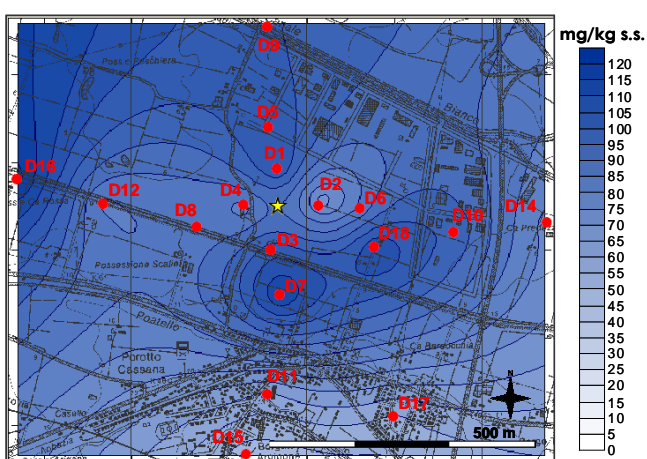
Cobalto



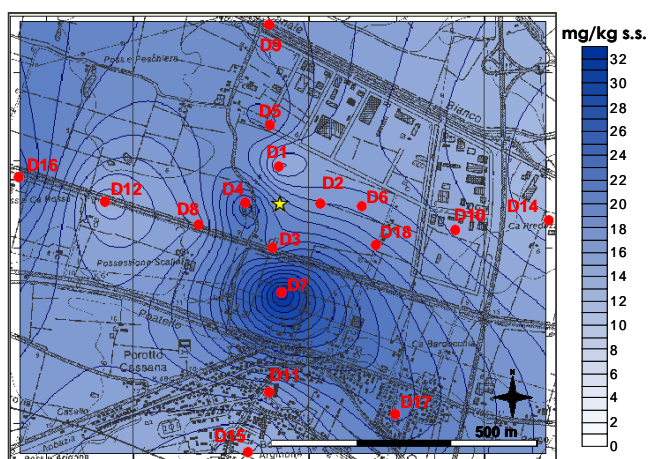
Cromo totale



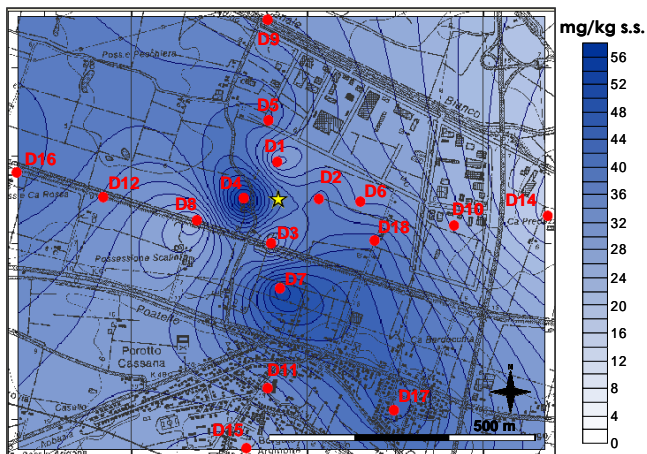
Nichel



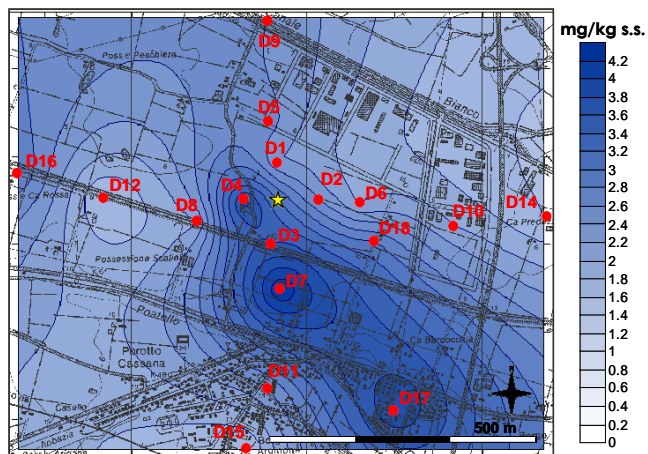
Piombo



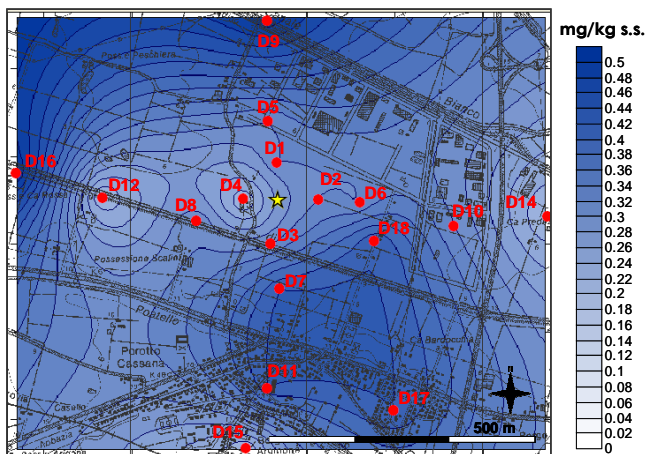
Rame



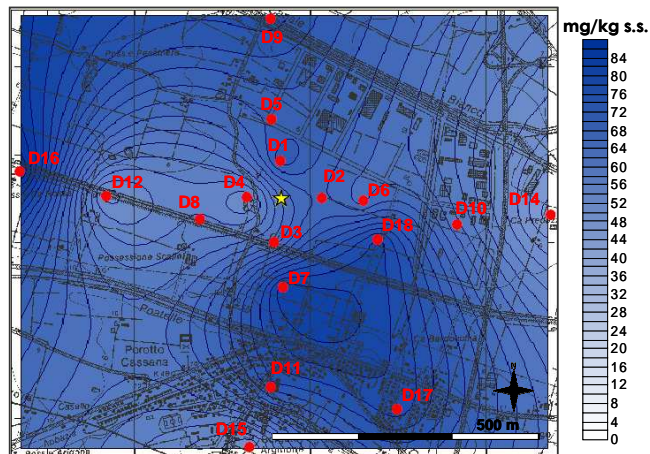
Stagno



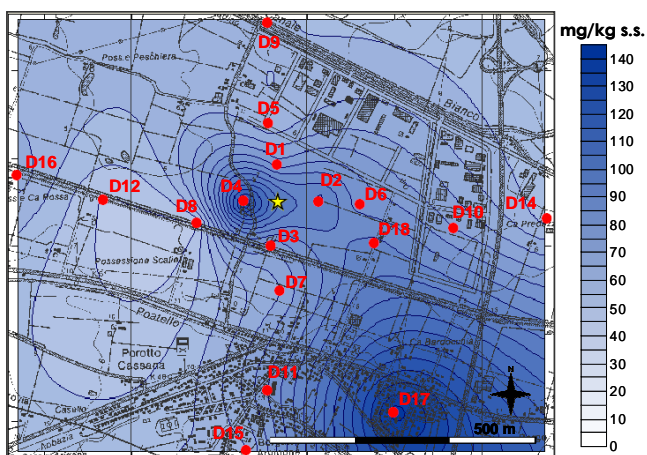
Tallio



Vanadio



Zinco



Dalle mappe di isoconcentrazione dei metalli si conferma la presenza di una sostanziale omogeneità di distribuzione fra l'argilla e i metalli come berillio, cobalto, cromo totale, nichel, tallio e vanadio. Le basse concentrazioni di antimonio e cadmio risultano piuttosto omogenee in tutta l'area indagata. Per i restanti metalli si osservano dei picchi isolati in alcuni siti: risulta ancora evidente l'arsenico in D18, piombo, rame e stagno in D4 e D7 e lo zinco in D17 e D4; tali concentrazioni possono essere riconducibili a micro-contaminazioni e/o alla presenza di fonti locali.

2.2.3 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.

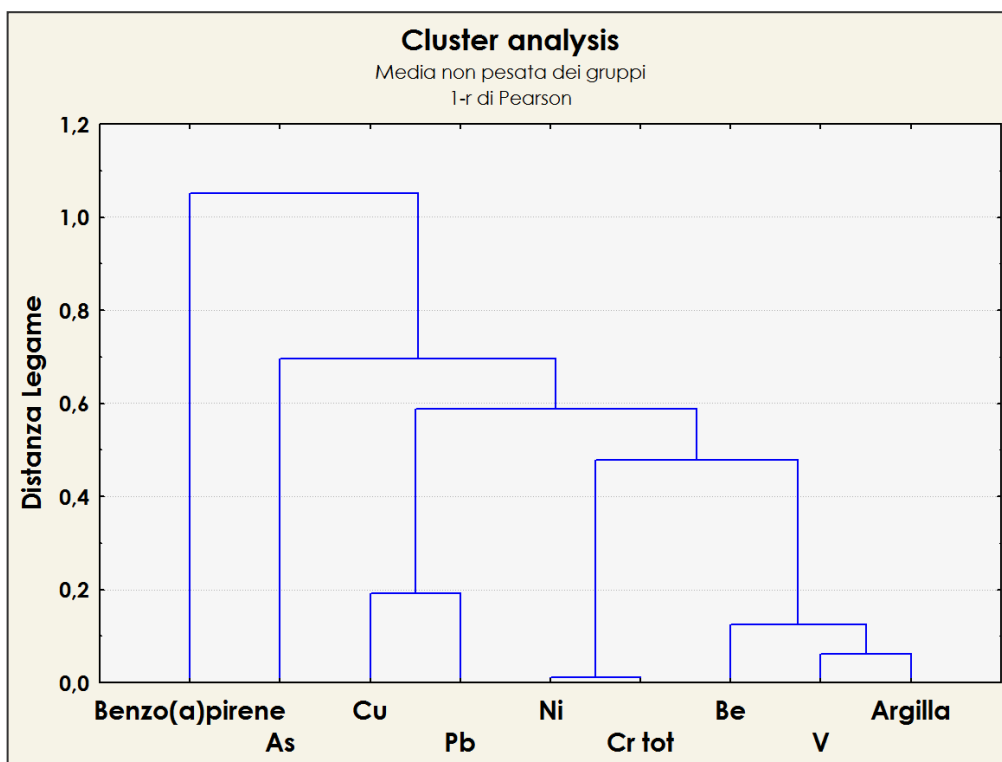


Fig. 7: Cluster Analysis di alcune variabili indagate.

In **figura 7** viene illustrato il dendrogramma della concentrazione di alcuni metalli (individuati sulla base dei risultati dell'analisi di correlazione riportata nel capitolo precedente), della percentuale di *argilla* e della concentrazione del *benzo(a)pirene* (un IPA utilizzato come indicatore dei composti di origine antropogenica in virtù del suo particolare interesse tossicologico).

Nel dendrogramma si individuano due raggruppamenti principali:

- un unico gruppo costituito dai metalli: all'interno si evidenziano quattro sottogruppi *arsenico*, *rame-piombo*, *nichel-cromo totale*, *berillio-vanadio-argilla*. In particolare, come già evidenziato nello studio delle correlazioni, 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;
- il *benzo(a)pirene* non correla con il resto delle variabili.

Questo risultato è confrontabile con quello ottenuto nelle indagini del 2010 e 2013, dove si sono visti raggruppare grossomodo gli stessi profili di composizione dei metalli.

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 7**) e lo *scatter plot* dei pesi fattoriali (corrispettiva proiezione tridimensionale, **figura 8**) mostrano che i metalli sono riconducibili a due diverse cause esogene responsabili del comportamento osservato: una prima (fattore 1) accomuna *cromo totale* e *nichel* a cui si aggiunge anche l'*arsenico*; una seconda (fattore 2) riunisce *piombo*, *rame*, *vanadio* e *berillio* a cui si aggiunge con peso minore anche la componente argillosa. Il terzo fattore riguarda solo il *benzo(a)pirene* che non mostra alcuna similarità con i metalli.

Variabile	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3
Argilla	0,5454	0,6272	0,3029
As	0,7438	0,0042	-0,1511
Be	0,4220	0,7873	0,1706
Cr tot	0,8731	0,2643	0,0753
Ni	0,8739	0,2375	0,1157
Pb	0,1195	0,8765	-0,0392
Cu	-0,0504	0,8499	-0,1968
V	0,4961	0,7369	0,1794
Benzo(a)pirene	0,0091	0,0237	-0,9356

Tab. 7: matrice dei pesi fattoriali.

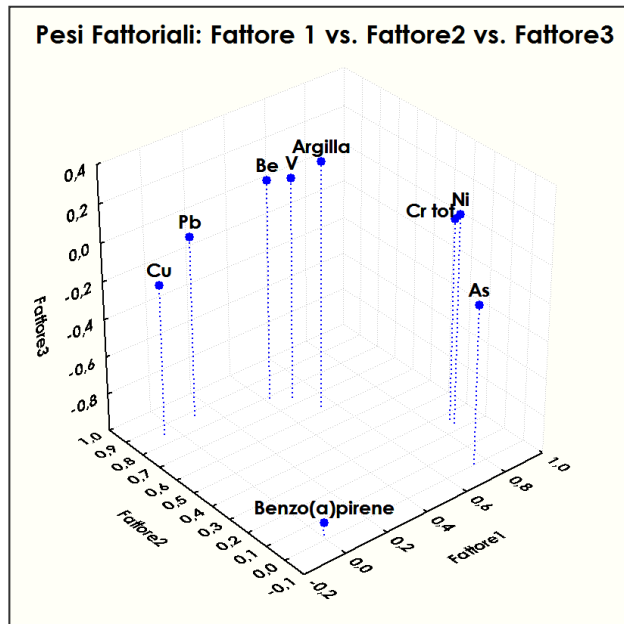


Fig. 8: scatter plot dei pesi fattoriali.

L'analisi PCA (rappresentata in **figura 9**), unitamente alle coordinate fattoriali delle variabili (qui non rappresentate), 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* (*berillio, cromo totale, nichel e vanadio*); sul secondo fattore pesa una forzante sulla quale incidono anche fonti di origine antropica (*piombo, rame*).

Inoltre, dal piano di proiezione delle osservazioni (siti di campionamento), per le stesse variabili si osserva che sulla seconda componente principale (fattore 2) pesano in modo rilevante i siti D17 (posto a 1.3 Km SE dell'impianto), D4 (a 250 m W) e D18 (a 500 m ESE) **figura 10**.

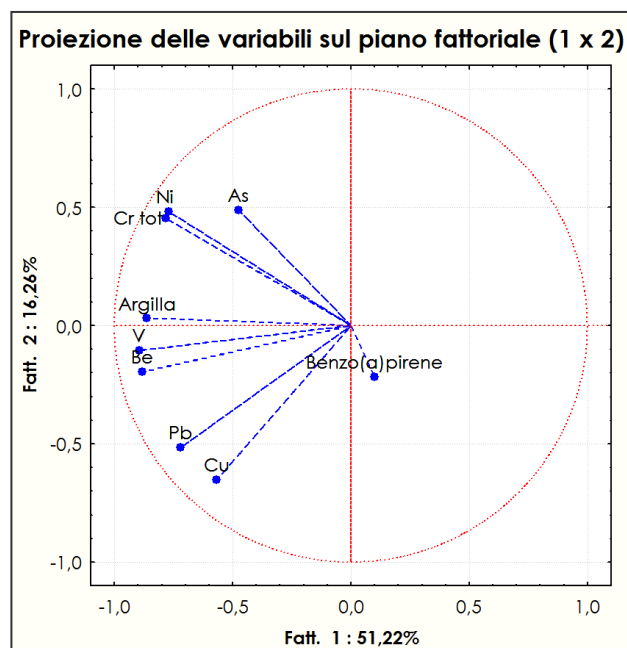


Fig. 9: loading plot delle variabili.

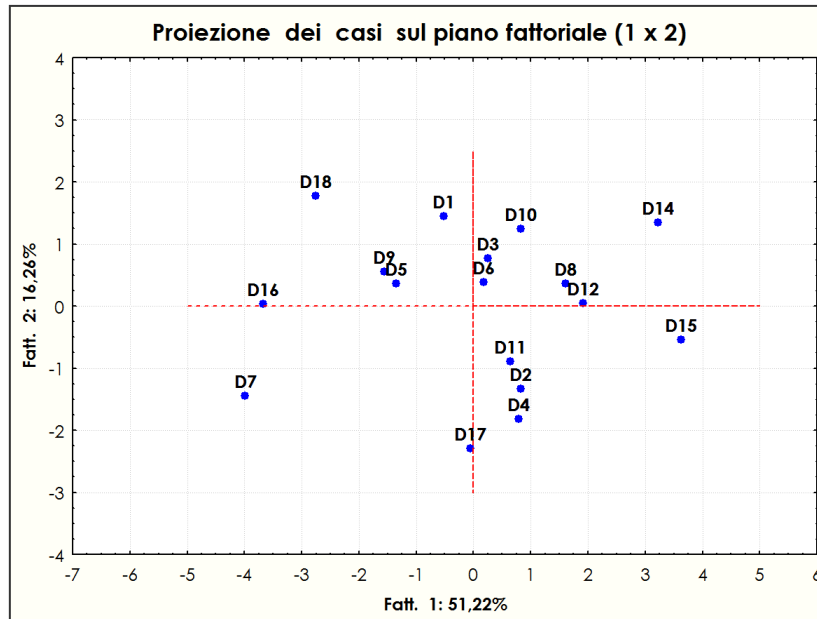


Fig. 10: score plot delle osservazioni.

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, tallio e vanadio* fundamentalmente riconducibile alla tessitura e al contenuto naturale dei suoli indagati. Quanto agli altri elementi (*antimonio, arsenico, cadmio, 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.

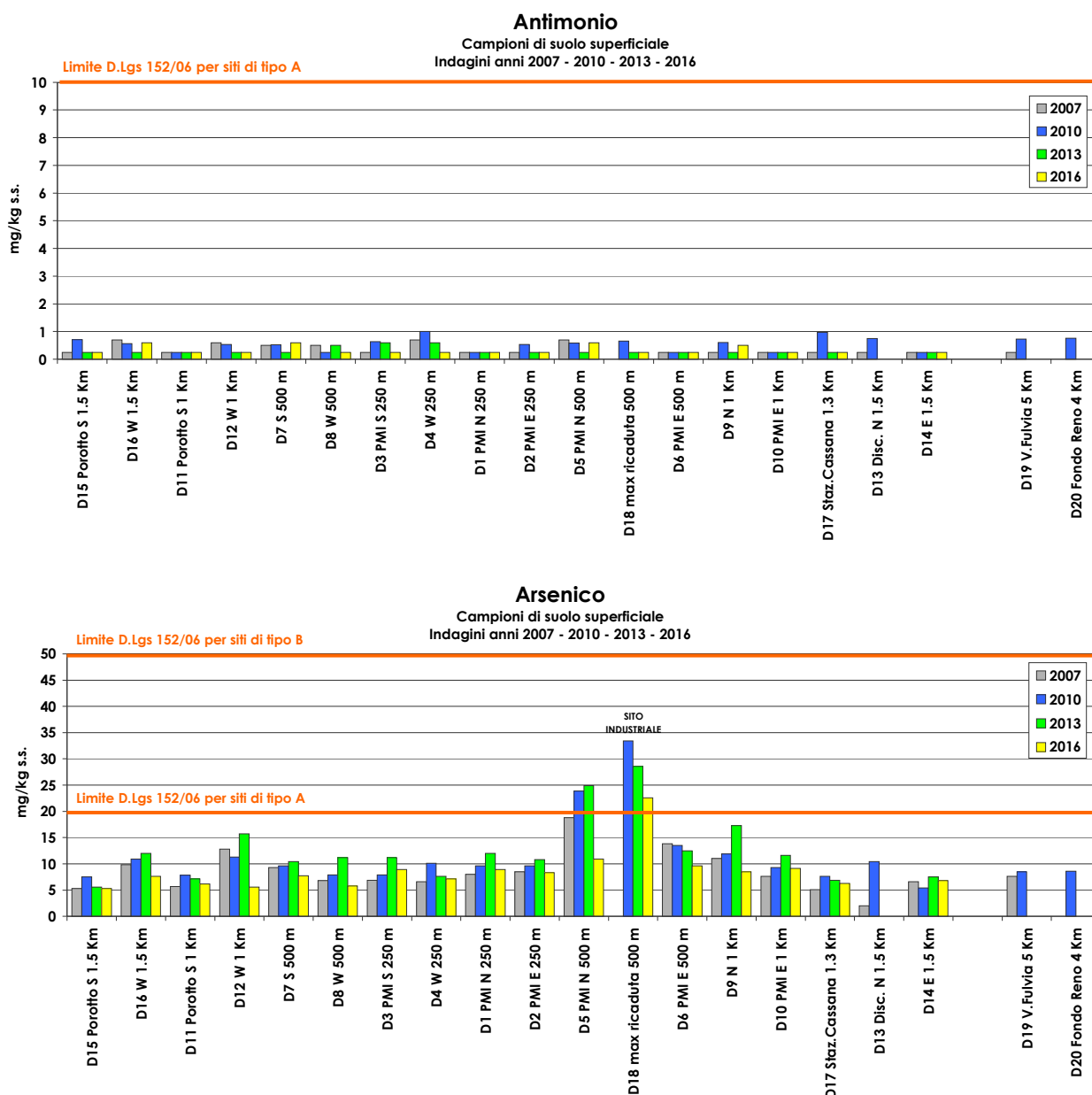
2.2.3 Analisi temporale

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), quelli del 2013 (barre verdi) e quelli del 2016 (barre gialle), immagini contenute in **figura 11**.

E' importante ricordare che nel corso delle indagini, a partire dal 2007 fino al 2016, il limite di quantificazione analitico è cambiato (così come indicato al capitolo 2.2) e conseguentemente è variata la valorizzazione delle concentrazioni inferiori a tale limite, posta pari alla metà dello stesso. Tale aspetto influisce anche nelle elaborazioni degli istogrammi.

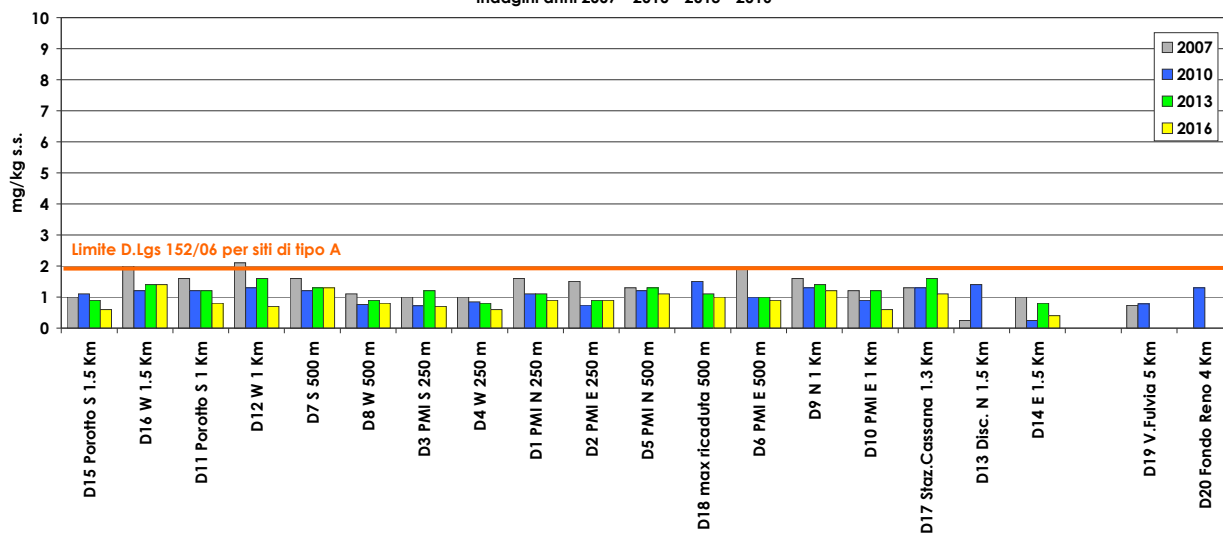
Nei grafici a seguire, a titolo puramente indicativo, sono stati inseriti i limiti normativi previsti dal D.Lgs 152/2006⁵ nel suolo riferiti a siti di tipo 'A' (ad uso verde pubblico, privato e residenziale) ed a siti di tipo 'B' (ad uso commerciale e industriale); tuttavia è importante ricordare che 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. 11

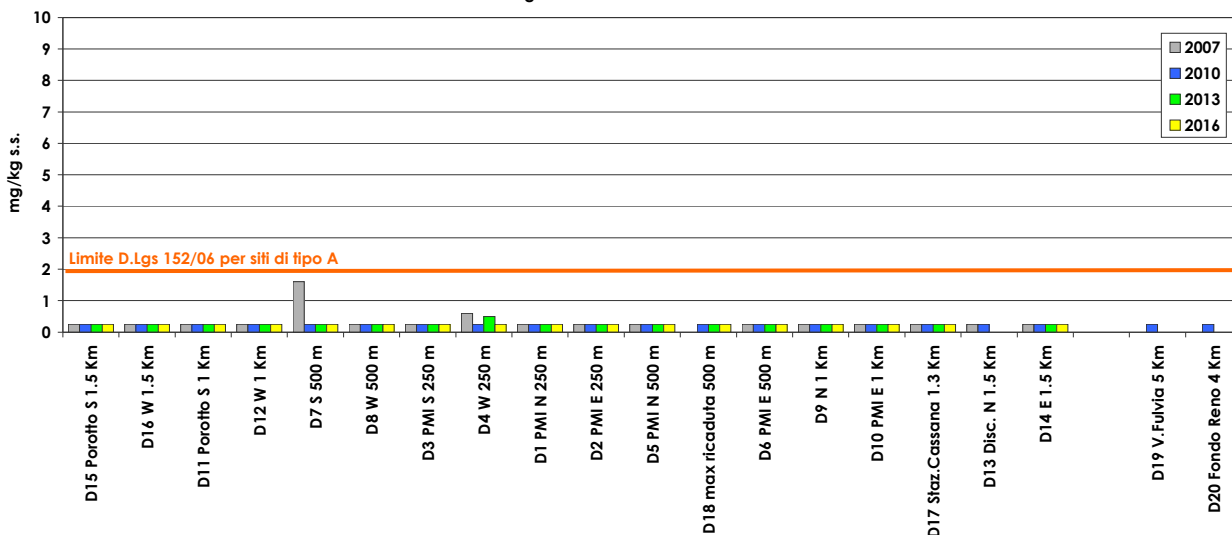


⁵ D.Lgs 152/2006: Tab. 1 dell'All. 5 al Titolo V della Parte IV.

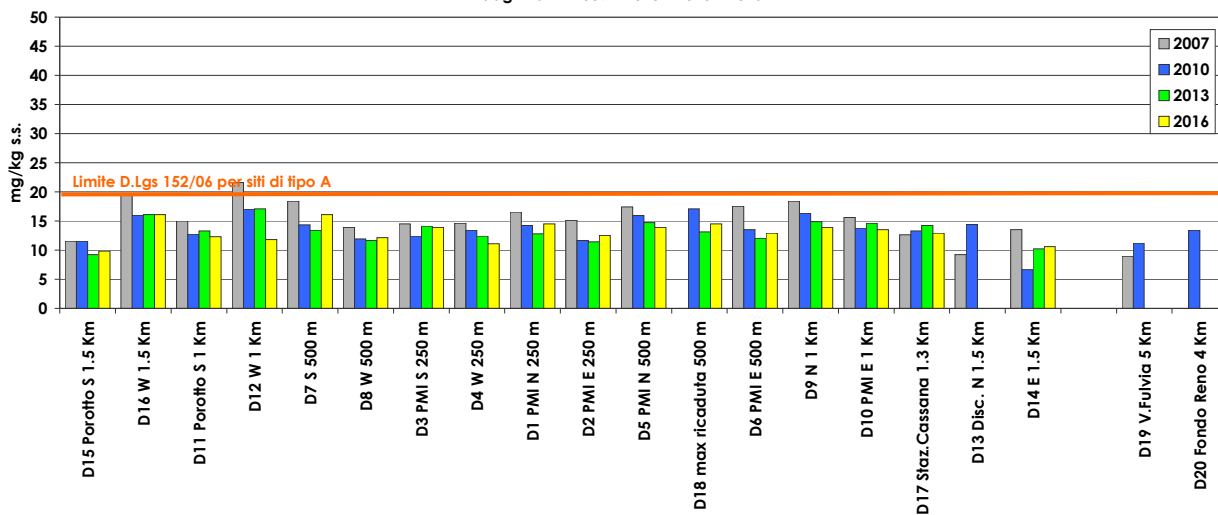
Berillio
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



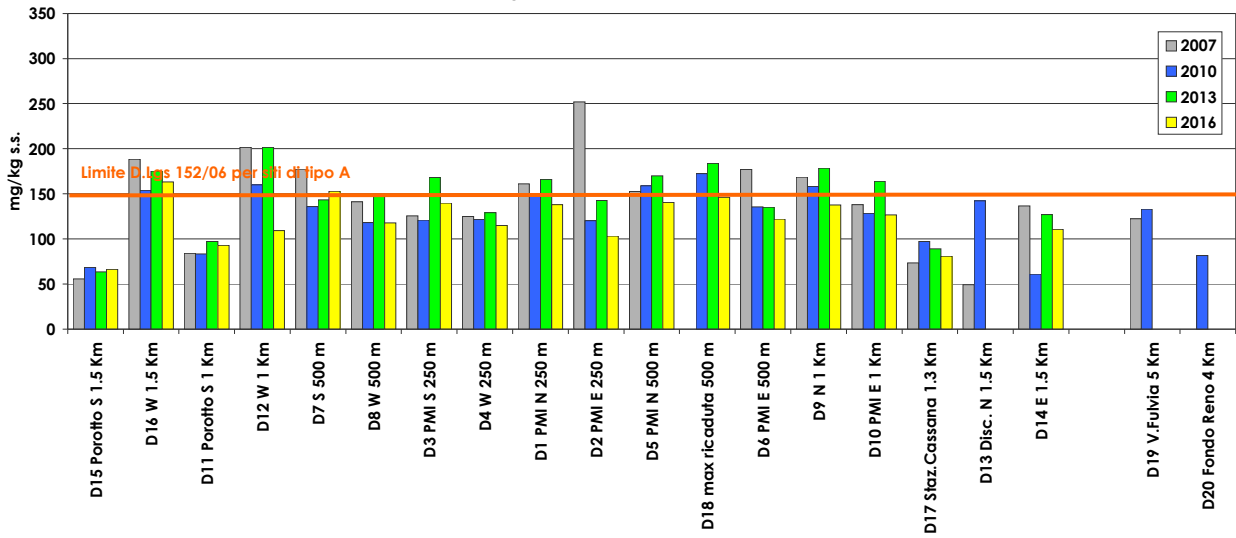
Cadmio
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



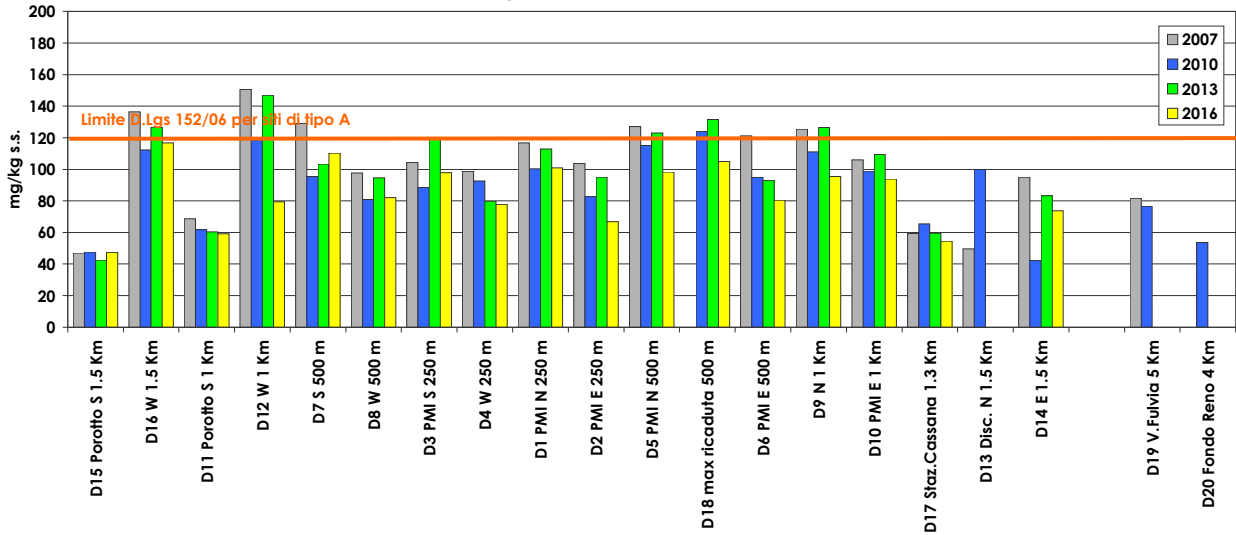
Cobalto
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



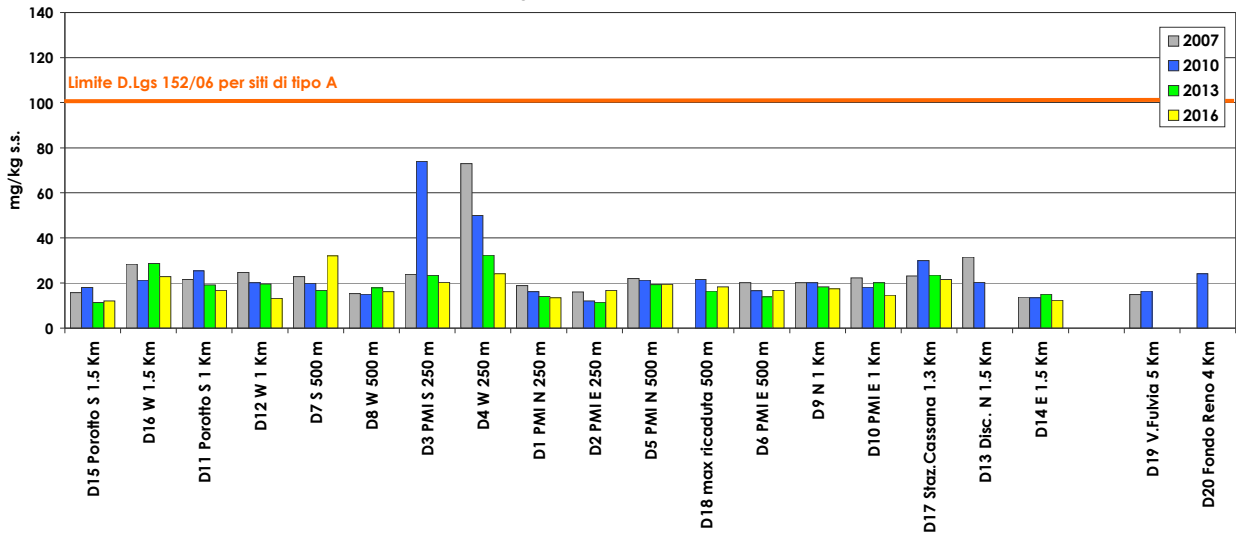
Cromo totale
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



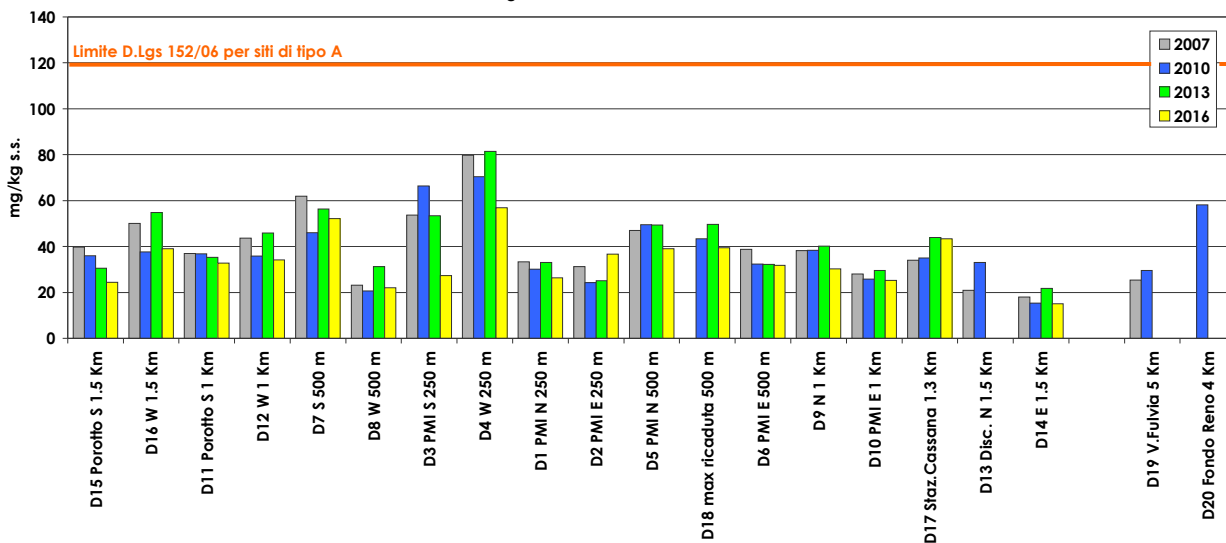
Nichel
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



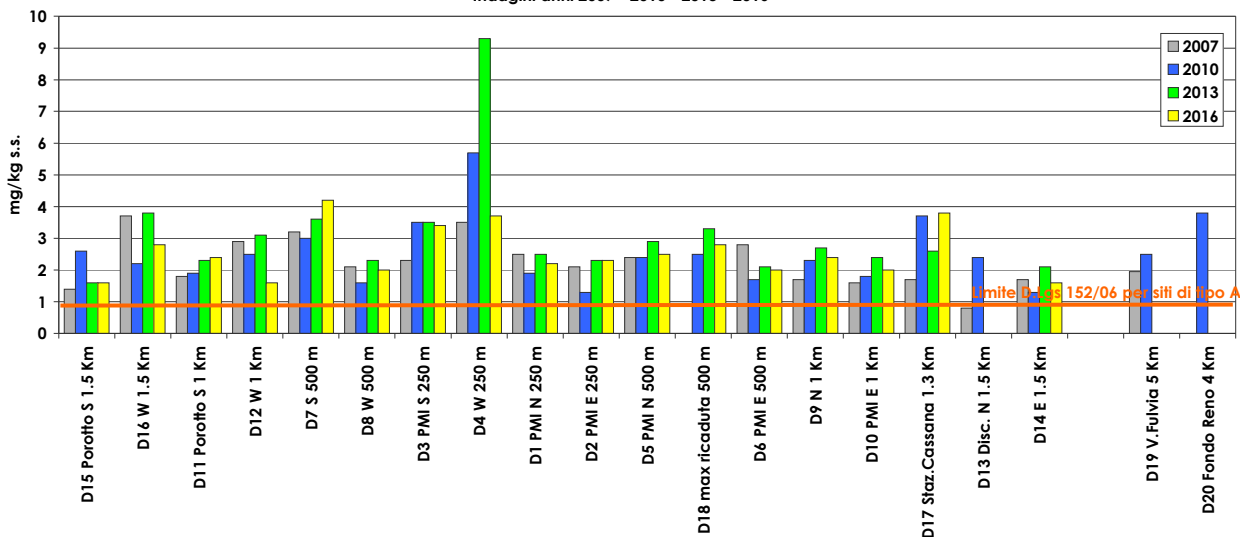
Piombo
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



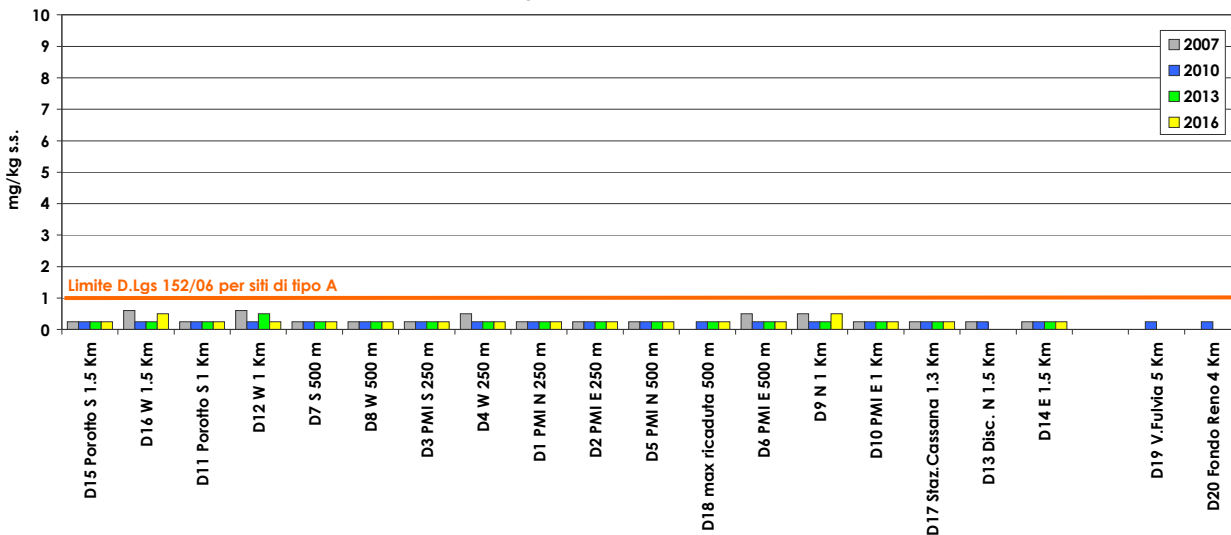
Rame
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



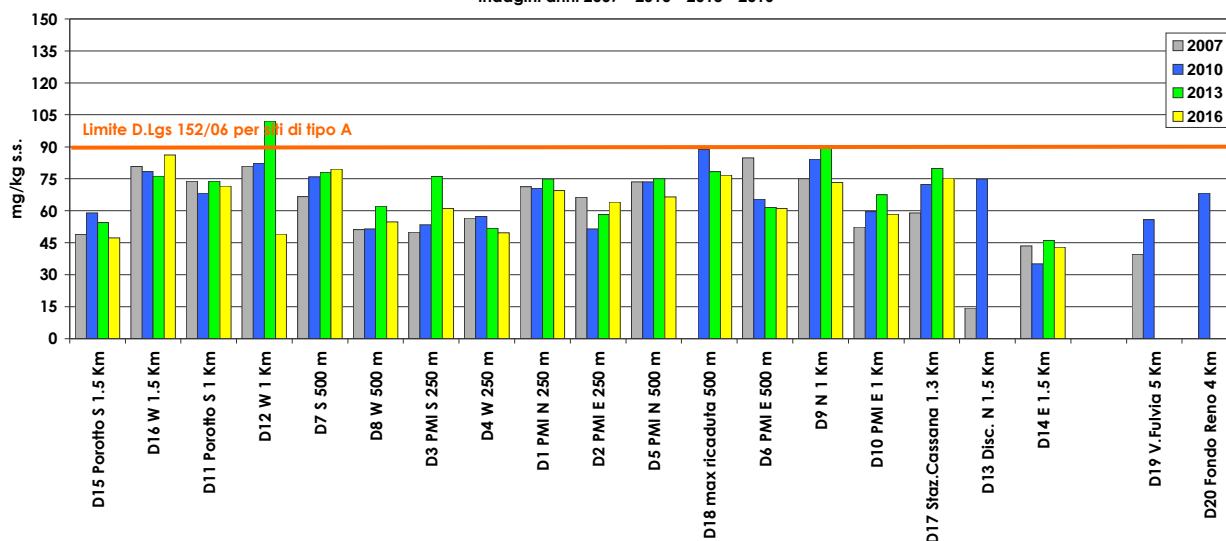
Stagno
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



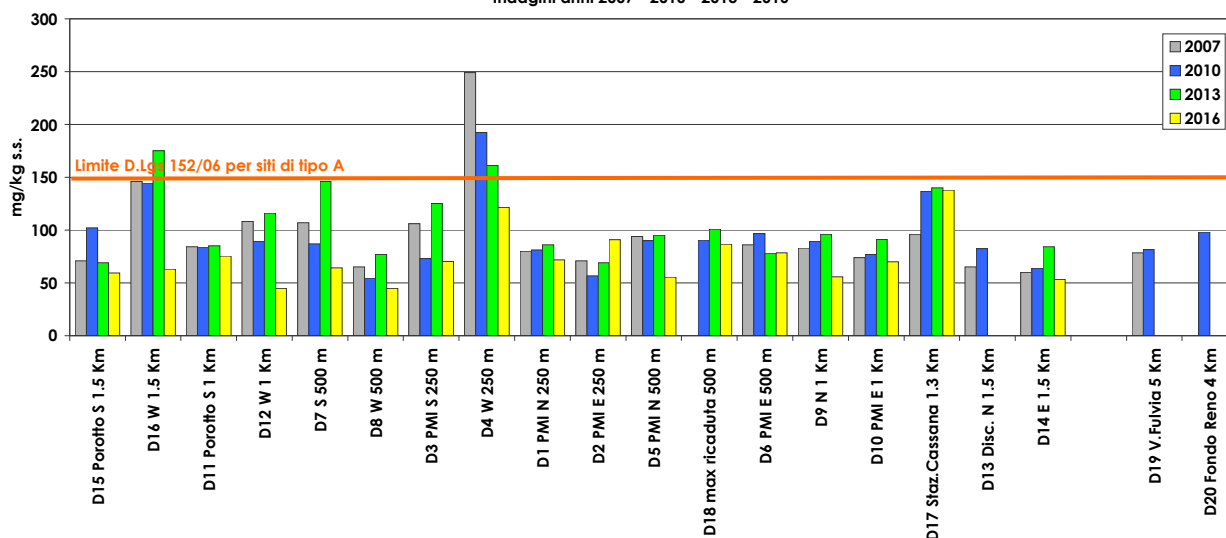
Tallio
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



Vanadio
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



Zinco
Campioni di suolo superficiale
Indagini anni 2007 - 2010 - 2013 - 2016



Osservando singolarmente i grafici emerge che:

- **antimonio:** per tutti i siti le concentrazioni rilevate sono basse e mediamente confrontabili con quelle del 2013. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **arsenico:** complessivamente la concentrazione rilevata è inferiore a quella del 2013 per tutti i siti. Anche nel sito D18 (all'interno dell'area di massima ricaduta) si registra una riduzione rispetto al passato. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti (il sito D18 è un'area di tipo industriale);
- **berillio:** i valori del 2016 sono inferiori a quelli del 2013 per tutti i siti. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **cadmio:** per tutti i siti le concentrazioni rilevate sono basse e mediamente confrontabili con quelle del 2013. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;

- **cobalto: i valori medi del 2016 sono sovrapponibili a quelli del 2013.** Per alcuni siti si registra un lieve incremento, per altri una lieve riduzione. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **cromo totale e nichel: i valori del 2016 sono inferiori a quelli del 2013 nella quasi totalità dei siti.** 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;
- **piombo: i valori del 2016 sono confrontabili con quelli del 2013.** Per alcuni siti si registra un lieve incremento, per altri una lieve riduzione. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **rame: i valori del 2016 sono inferiori a quelli del 2013 nella quasi totalità dei siti.** Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **stagno: i valori del 2016 sono confrontabili con quelli del 2013.** Anche il sito D4, che in precedenza aveva rilevato una micro-contaminazione puntuale, si è riportato a concentrazioni omogenee a quelle degli altri siti. 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 e confermato da studi analoghi svolti da questa Agenzia nel territorio provinciale;
- **tallio: per tutti i siti le concentrazioni rilevate sono basse e mediamente confrontabili con quelle del 2013.** Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **vanadio: complessivamente nel 2016 si è avuta una lieve diminuzione rispetto al 2013.** Per alcuni siti si registra un lieve incremento, per altri una lieve riduzione. Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti;
- **zinco: nel 2016 si è avuta una lieve riduzione rispetto al 2013 nella quasi totalità dei siti.** Il confronto con il D.Lgs 152/2006 indica conformità per tutti i siti.

Complessivamente nel 2016 si è rilevata una lieve riduzione nei livelli medi di concentrazione per quasi tutti i metalli rispetto al 2013.

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.

2.3 PCDD (diossine) e PCDF (furani)

Nella **tabella 9** sono riportati i valori delle *policlorodibenzodiossine* (PCDD) e dei *policlorodibenzofurani* (PCDF) - comunemente indicate con il nome generico di 'diossine' e '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 per i Fattori di Tossicità Equivalente (*Toxic Equivalency Factor*, TEF) proposti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-TEF) e dalla NATO (*International-TEF*), **tabella 8**.

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. 8: Fattori di Tossicità Equivalente per i congeneri PCDD/PCDF, secondo WHO e NATO [6, 7].

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	< 1,2	< 1,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	54,6	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	63,6	1,9	1,8
D2	< 1,2	< 1,2	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	126,0	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	12,8	146,2	1,8	1,8
D3	< 1,2	< 1,2	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	45,6	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 1,0	53,5	1,8	1,6
D4	< 1,2	< 1,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	15,2	82,6	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	27,2	132,4	2,0	1,9
D5	< 1,0	< 1,0	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	74,3	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	81,6	1,5	1,4
D6	< 1,3	< 1,3	< 0,9	< 0,9	< 0,9	12,1	146,4	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	12,5	178,9	2,1	2,0
D7	< 0,9	< 0,9	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	47,9	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	15,8	70,1	1,4	1,4
D8	< 1,0	< 1,0	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	52,4	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	10,7	< 0,8	< 0,8	69,7	1,6	1,5
D9	< 1,0	< 1,0	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	49,9	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	10,5	< 0,8	14,2	80,3	1,6	1,4
D10	< 1,3	< 1,3	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	58,4	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	14,5	< 1,0	< 1,0	81,2	2,1	1,9
D11*	< 0,2	0,3	< 0,2	< 0,2	< 0,2	4,0	23,1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	0,6	< 0,2	< 0,2	2,9	< 0,2	13,0	45,4	0,7	0,6
D12	< 1,0	< 1,0	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7	36,1	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	10,7	< 0,8	< 0,8	53,0	1,6	1,4
D14	< 1,3	< 1,3	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	46,6	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	55,2	1,9	1,8
D15	< 1,4	< 1,4	< 1,1	< 1,1	< 1,1	< 1,1	42,8	< 1,3	< 1,3	< 1,3	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	9,5	< 1,0	< 1,1	60,9	2,2	2,0
D16	< 0,9	< 0,9	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	47,2	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7	< 0,7	16,0	17,2	85,9	1,5	1,4
D17*	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	3,2	17,3	< 0,2	0,3	< 0,2	0,7	< 0,2	< 0,2	< 0,2	2,4	< 0,2	5,4	30,4	0,4	0,4
D18*	< 0,2	1,0	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	25,8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,3	< 0,2	3,9	< 0,2	8,0	40,2	1,3	0,8

Tab. 9: 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.

*I dati riportati per i siti D11, D17 e D18 si riferiscono a quelli rilevati durante il ricampionamento eseguito il 27/01/2017 resi necessari per verificare i livelli di concentrazione (anormalmente bassi) ritrovati durante i campionamenti di ottobre 2016. In via cautelativa qui vengono riportati i valori maggiori fra i due.

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), quelli del 2013 (barre verdi) e quelli del 2016 (barre gialle), **figure 12 e 13**.

Fig. 12

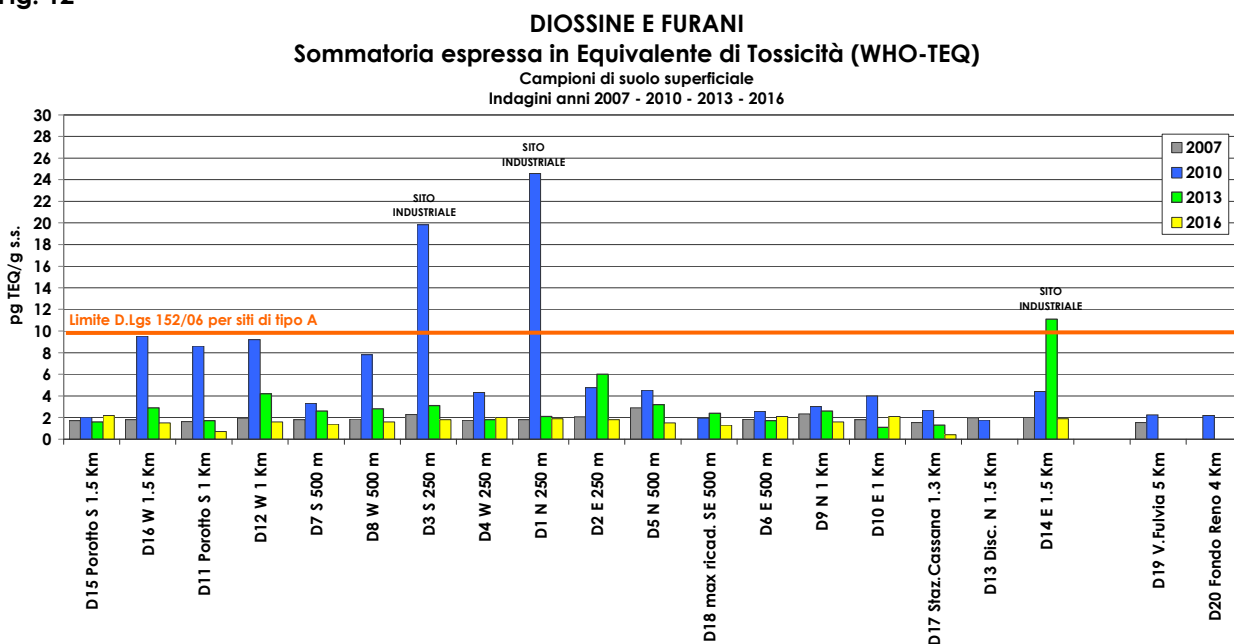
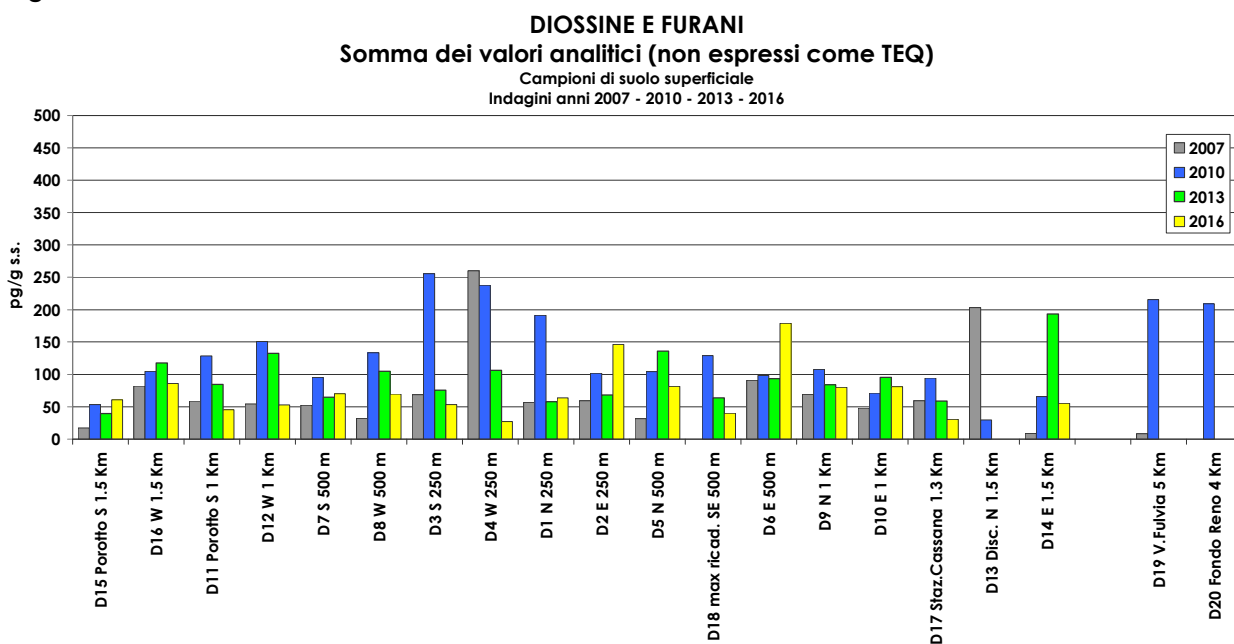


Fig. 13



A titolo di confronto sommario in **figura 12** 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 9** 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 2016 e del 2013, sia espresse in TEQ che tal quali, indica che nel 2016 vi è stata una diminuzione generale del contenuto totale di diossine e furani.** Tale diminuzione non si verifica però per tutti i siti, osservandosi per i siti D2 (250 m E dall'impianto), D6 (500 m E) e D15 (1.5 Km S) una concentrazione della sommatoria superiore a quella degli anni precedenti. **Complessivamente durante i nove anni d'indagine è stata registrata una tendenziale crescita dal 2007 al 2010, mentre appare una diminuzione delle concentrazioni medie dal 2010 al 2016.**
- **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.

Secondo quanto già rilevato in passato, 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 *octaclorodibenzodiossina* (O8CDD), il cui fattore di tossicità è basso ed è un congenere persistente nell'ambiente; tra i *furani* sono invece significativi l'*octaclorodibenzofurano* (O8CDF) e l'*eptaclorodibenzofurano* (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* [8].

Per gli stessi composti, come già mostrato nello studio del 2013, si riportano in **figura 14** i profili rilevati al suolo nei siti posti nell'area a 250 m dal camino dell'inceneritore, nei due siti ubicati nei centri abitati di Porotto e Cassana e nei siti D6 e D15 in cui si è rilevato un lieve aumento rispetto all'indagine precedente.

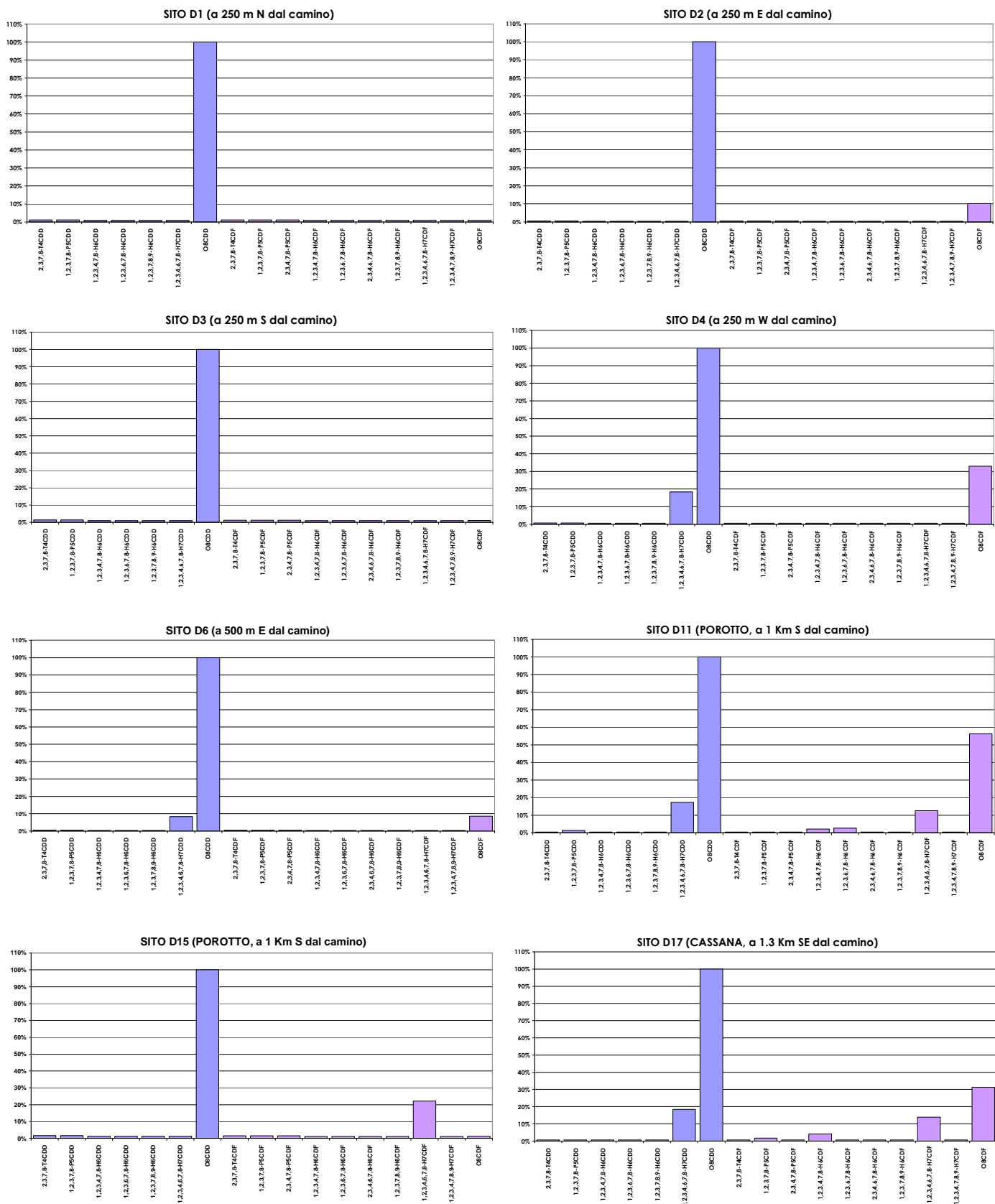


Fig. 14: profili dei congeneri di PCDD/PCDF, normalizzati rispetto al congenero predominante (100 %), rilevati in alcuni campioni di suolo (indagine 2016).

Tutti i campioni di terreno sopra indicati presentano chiaramente un profilo caratterizzato dalla presenza della O8CDD in quantità nettamente maggiore fra tutti i congeneri e complessivamente compatibile con quello delle sorgenti da traffico.

Analogamente al 2013 e diversamente dall'indagine compiuta nel 2010, nel 2016 non si rilevano differenze di profili fra i siti più prossimi all'impianto e quelli più lontani, mostrando una generale sovrapposibilità fra i rapporti 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 10**.

	Distanza	Argilla	Limo	Sabbia	1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	O8CDD	1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	O8CDF	Somma PCDD/PCDF
Distanza	1,00	-0,01	-0,18	0,12	-0,17	-0,45	0,30	-0,09	-0,36
Argilla	-0,01	1,00	0,48	-0,84	-0,24	-0,17	-0,21	0,34	-0,11
Limo	-0,18	0,48	1,00	-0,88	0,13	0,05	-0,25	0,32	0,08
Sabbia	0,12	-0,84	-0,88	1,00	0,05	0,07	0,27	-0,38	0,01
1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	-0,17	-0,24	0,13	0,05	1,00	0,49	-0,29	0,61	0,62
O8CDD	-0,45	-0,17	0,05	0,07	0,49	1,00	-0,27	0,29	0,96
1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	0,30	-0,21	-0,25	0,27	-0,29	-0,27	1,00	-0,37	-0,23
O8CDF	-0,09	0,34	0,32	-0,38	0,61	0,29	-0,37	1,00	0,50
Somma PCDD/PCDF	-0,36	-0,11	0,08	0,01	0,62	0,96	-0,23	0,50	1,00

Tab. 10: coefficienti di correlazione 'r' tra la sommatoria dei congeneri PCDD/PCDF (non espressa in TEQ), alcuni congeneri, la granulometria e la distanza dal camino ($p < 0,01$).

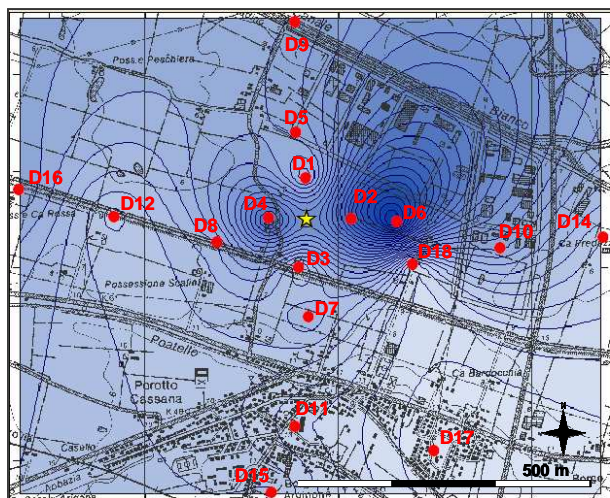
Non si riscontra nessuna correlazione statisticamente significativa fra la sommatoria di diossine e furani e la distanza dal camino dell'inceneritore, nè fra i congeneri principali e la distanza. Tale risultato si differenzia da quanto emerso nell'indagine del 2010, dove si evidenziava una correlazione 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.

Riguardo all'analisi spaziale effettuata mediante interpolazione statistica (metodo *Kriging*) delle sommatorie di diossine e furani (esprese come tal quale), la **figura 15** riporta il confronto fra la mappa del 2016 e quella del 2013.

Diversamente dalla precedente indagine, nel 2016 si osserva un addensamento delle isolinee di concentrazione in prossimità dell'impianto, in particolare nei siti D2, D4 e D6, pur presentando valori molto contenuti. Poiché tale situazione non è statisticamente correlabile con la distanza dall'inceneritore e i profili dei vari congeneri in questi siti non sono tipici degli impianti di incenerimento, non vi è evidenza di una dipendenza di tali concentrazioni dall'impianto. Tuttavia tali elementi delineano un quadro in evoluzione che merita di essere seguito nel tempo.

Somma PCDD+PCDF (2016)



Somma PCDD+PCDF (2013)

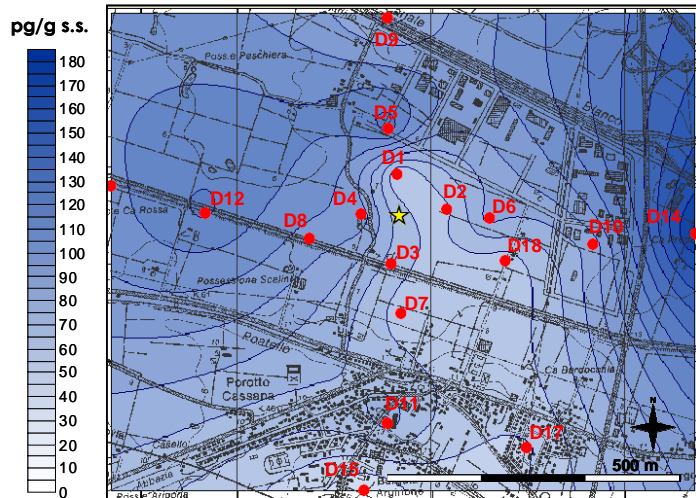


Fig. 15: mappe di isoconcentrazione della sommatoria dei congeneri PCDD/PCDF.

- Siti di campionamento di suolo intorno all'inceneritore di HERAmbiente
- ★ Camino inceneritore

2.4 IPA (idrocarburi policiclici aromatici)

Nella **tabella 11** 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.

Come nel 2013 si è provveduto ad incrementare il profilo degli IPA includendo nella presente indagine anche i seguenti 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, mentre i limiti di quantificazione analitica (evidenziati in celle a fondo giallo i composti inferiori a tali limiti) sono variati da 0,1 ng/ s.s. a 2 ng/g s.s. derivandone la impossibilità di apprezzare i composti più leggeri.

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 [9].

IPA	Naftalene	Acenafililene	Acenafte	Fluorene	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Benzo(e)pirene	Pirene	Benzo(a)antracene	Crisene	Benzo(b,f)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Indeno(1,2,3,c,d)pirene	Dibenzo(ac,f)anthracene	Benzo(ghi)perilene	Dibenzo(a,l)pirene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,l)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	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	5,8	4,5	5,2	3,8	4,1	6,8	2,1	3,3	4,3	< 2,0	4,0	2,6	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,1	< 2,0	
D2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	41,6	5,4	141	126	103	103	78,5	148	51,1	95,2	93,1	32,1	82,4	57,5	20,2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	17,1	44,7	26,8
D3	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,7	< 2,0	26,3	19,1	23,1	21,5	17,7	30,1	12,0	22,3	27,6	5,2	21,9	15,2	5,2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	48,0	
D4	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	6,0	< 2,0	23,4	18,0	20,3	13,8	16,9	28,0	9,5	16,7	26,4	4,6	21,5	14,0	4,4	< 2,0	< 2,0	2,1	4,6	3,9	
D5	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	6,5	< 2,0	10,5	6,8	8,8	6,3	6,9	10,6	3,5	6,8	8,8	< 2,0	7,5	4,6	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,4	< 2,0	
D6	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,7	< 2,0	4,1	4,9	4,1	3,0	4,3	7,1	< 2,0	2,7	3,9	< 2,0	3,8	2,5	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,5	< 2,0	
D7	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,7	< 2,0	7,0	6,7	6,7	5,2	5,9	10,8	3,3	6,1	8,1	< 2,0	6,4	4,2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,4	< 2,0	
D8	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	13,9	2,1	45,3	22,8	35,3	27,7	25,9	32,8	12,9	28,1	29,0	5,2	23,1	16,1	5,6	< 2,0	< 2,0	< 2,0	9,8	< 2,0	
D9	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	4,7	< 2,0	9,2	7,1	7,2	5,4	7,1	10,1	3,2	4,5	6,6	< 2,0	5,8	4,1	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	11,6	< 2,0	
D10	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	6,0	< 2,0	17,3	12,1	15,5	12,2	10,8	21,2	7,2	14,4	17,6	3,1	14,0	8,4	2,8	< 2,0	< 2,0	< 2,0	4,6	2,3	
D11	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	14,1	< 2,0	9,8	11,7	9,5	6,1	12,3	15,5	3,1	5,1	8,6	2,4	10,3	5,6	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,0	5,6	< 2,0	
D12	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	18,8	11,0	15,5	14,5	12,1	19,2	7,4	12,5	15,5	2,6	11,6	7,3	2,3	< 2,0	< 2,0	< 2,0	4,1	< 2,0	
D14	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	4,1	< 2,0	11,4	8,6	10,2	7,6	7,2	13,3	4,5	8,3	11,8	2,1	9,4	6,3	2,2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,3	< 2,0	
D15	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	9,3	< 2,0	13,6	10,3	11,5	8,2	9,9	14,0	4,0	6,6	8,6	2,0	9,1	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	5,2	< 2,0	
D16	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	8,6	< 2,0	31,1	15,9	26,2	19,9	18,9	25,9	10,1	19,4	21,6	4,1	16,5	11,7	4,1	< 2,0	< 2,0	< 2,0	5,8	2,7	
D17	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	19,1	< 2,0	12,4	14,4	10,3	6,5	13,0	19,7	4,5	6,5	12,0	2,8	12,6	7,3	2,4	< 2,0	< 2,0	2,3	5,1	2,3	
D18	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,7	< 2,0	20,3	15,6	18,2	15,3	13,5	24,3	8,6	16,8	21,7	3,8	17,0	10,2	3,5	< 2,0	< 2,0	2,0	8,0	3,1	

Tab. 11: IPA rilevati nei campioni di suolo.

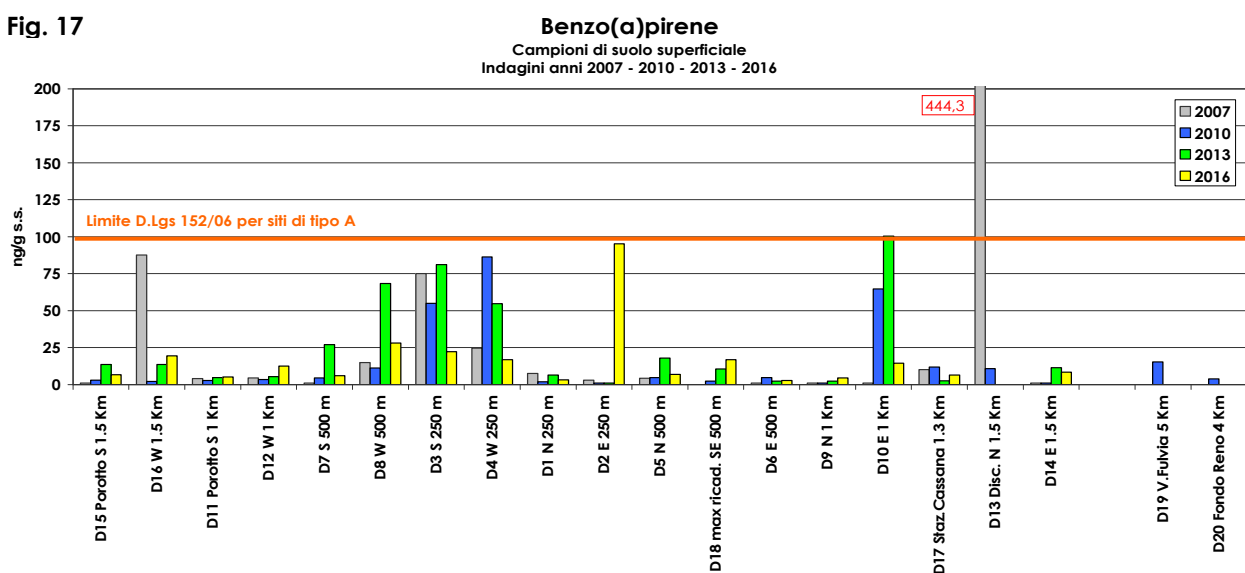
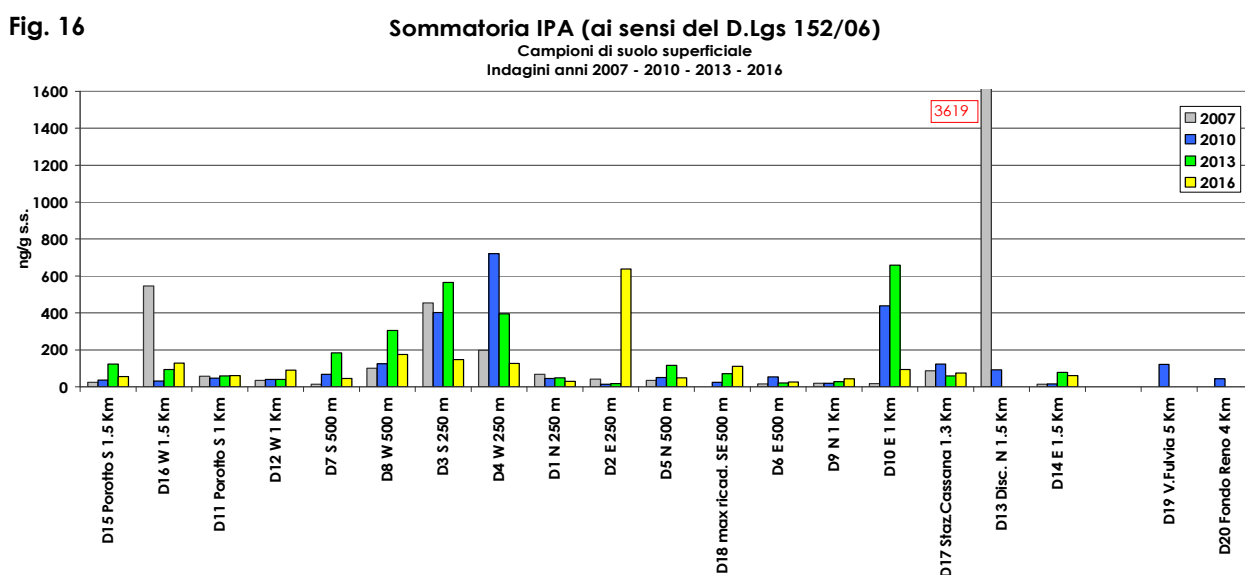
Analogamente a quanto operato con gli altri parametri organici ricercati, si sono confrontati i dati del 2016 con quelli del 2007, del 2010 e del 2013, sia relativamente alla sommatoria degli IPA indicati nel D.Lgs 152/2006 (*benzo(a)antracene*, *benzo(a)pirene*, *benzo(b)+(j)fluorantene*, *benzo(k)fluorantene*, *benzo(g,h,i)perilene*, *crisene*, *dibenzo(a,e)pirene*, *dibenzo(a,h)pirene*, *dibenzo(a,i)pirene*, *dibenzo(a,l)pirene*, **figura 16**, che relativamente al *benzo(a)pirene*, composto di rilevanza sia emissiva che immissiva, **figura 17**.

Per consentire tale confronto i dati degli anni precedenti al 2016 sono stati espressi in funzione del limite di quantificazione del 2016. Per tutte le serie storiche si è adottato il criterio di valorizzare le concentrazioni inferiori al limite pari alla metà dello stesso.

Nella **figura 16** 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 17** 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.



Nel 2016 rispetto all'indagine precedente, si rileva complessivamente una riduzione delle concentrazioni di IPA, sia come sommatoria che relativamente al benzo(a)pirene.

In analogia con quanto osservato per *diossine* e *furani*, tale diminuzione non si verifica però per tutti i siti, osservandosi per il sito D2 (250 m E dall'impianto) - e in misura minore per D9, D12, D16 e D18 – un incremento rispetto agli anni precedenti.

Considerato comunque che il sito D2 è posto in area di tipo industriale, le concentrazioni rilevate non sono numericamente rilevanti.

Relativamente al confronto con i limiti del D.Lgs. 152/2006, sia la sommatoria degli IPA che le concentrazioni del *benzo(a)pirene* sono per tutti i siti inferiori al valore soglia normato per siti di tipo 'A'.

Dalle elaborazioni statistiche riportate in **tabella 5** emerge l'assenza di correlazione fra la sommatoria degli IPA – e dei singoli composti qui non riportati – la sommatoria di *diossine* e *furani* e la distanza dal camino dell'inceneritore.

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 anche nel 2016 praticamente sovrapponibili, **figura 18**.

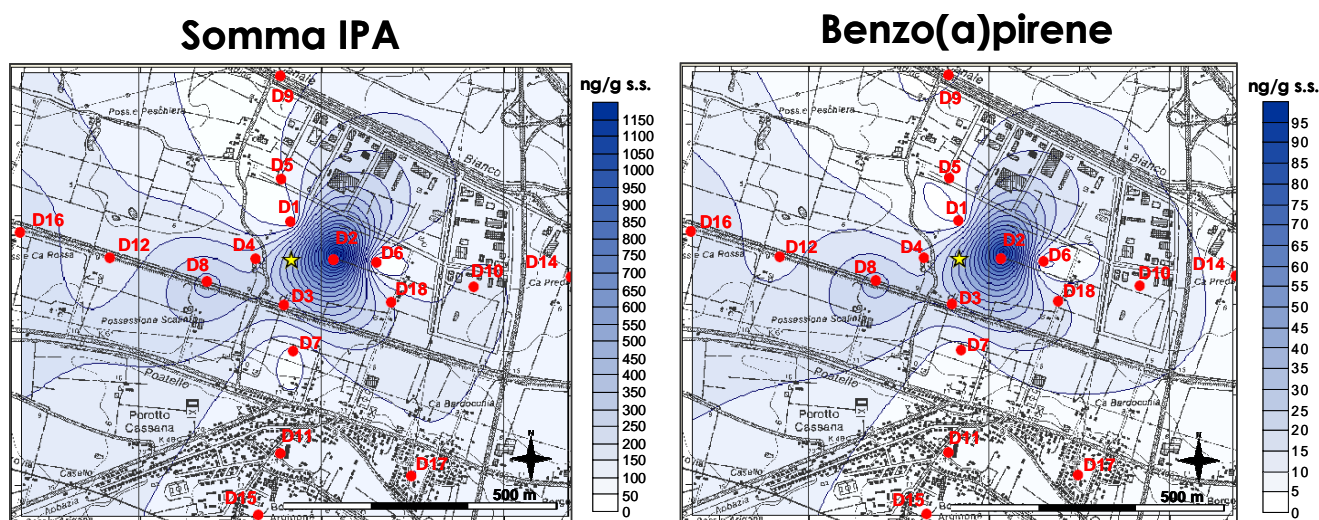


Fig. 18: mappe di isoconcentrazione della sommatoria di tutti gli IPA e del *benzo(a)pirene*.

- Siti di campionamento di suolo intorno all'inceneritore di HERAmbiente
- ★ Camino inceneritore

Diversamente dalla precedente indagine e analogamente a quanto osservato per *diossine* e *furani*, nel 2016 anche per gli IPA si osserva un addensamento delle isolinee di concentrazione in prossimità dell'impianto, in particolare nel sito D2. Tuttavia un approfondimento tramite l'analisi statistica multivariata relativa ai siti e ai singoli IPA (che qui non si riporta per brevità) non consente di individuare peculiari fattori di pressione specifici per questo sito.

Tale risultato, unitamente alla mancanza di correlazione fra la distanza dall'inceneritore e la concentrazione della sommatoria degli IPA, non mette in evidenza una dipendenza di tali concentrazioni dall'impianto.

3. Conclusioni

L'indagine svolta dalla scrivente Agenzia, nel mese di ottobre 2016, 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** misurati nell'area di studio sono in linea con quanto già osservato nelle precedenti indagini e ben rispecchiano la distribuzione spaziale del fondo 'naturale' e 'naturale-antropico' descritta in letteratura, con particolare riferimento agli studi della Regione Emilia-Romagna.

La concentrazione di *mercurio* è risultata inferiore al limite di quantificazione strumentale 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*, *nicel*, *tallio* e *vanadio* presentano una correlazione significativa con la percentuale di *argilla*, ben visibile anche nelle mappe di isoconcentrazione.

Quanto agli altri elementi (*antimonio*, *arsenico*, *cadmio*, *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 – per altro di modeste entità e distribuiti disomogeneamente nell'area indagata – 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.

Rispetto al 2013, per la maggior parte dei metalli, i livelli medi di concentrazione mostrano delle lievi diminuzioni, che tuttavia non modificano 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 2016 risultano tutte conformi al D.Lgs 152/2006.

- Per ciò che concerne le **diossine** e i **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 2013 e del 2016, sia espresse in TEQ che tal quali, conferma l'andamento generale della riduzione del contenuto totale di diossine e furani.

Complessivamente durante i nove anni d'indagine è stata registrata una tendenziale crescita dal 2007 al 2010, mentre appare una diminuzione delle concentrazioni medie dal 2010 al 2016. In quest'ultimo anno la diminuzione non si verifica però per tutti i siti: per i siti D2 (250 m E dall'impianto), D6 (500 m E) e D15 (1.5 Km S) si osserva una concentrazione della sommatoria superiore a quella degli anni precedenti.

Come già evidenziato nel 2013, 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 *octa-* 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.

- L'indagine 2016 mostra valori contenuti di **idrocarburi policiclici aromatici** (IPA) i cui livelli, sia espressi come somma che come singoli composti, far cui il **benzo(a)pirene**, sono ampiamente inferiori ai valori di riferimento fissati dalla normativa (D.Lgs 152/2006).

Rispetto allo studio precedente si rileva complessivamente una riduzione delle concentrazioni per quasi tutti i siti, eccetto per il sito D2 (250 m E) e in misura minore per D18 (massima ricaduta, 500 m ESE) e per siti a nord e a ovest dell'impianto (D9, D12, D16), in cui si è osservato un incremento.

Inoltre, diversamente dalla precedente indagine e analogamente a quanto osservato per diossine e furani, nel 2016 anche per gli IPA si osserva un addensamento delle isolinee di concentrazione in prossimità dell'impianto, in particolare nel sito D2. Uno specifico approfondimento statistico, unitamente alla mancanza di correlazione fra la distanza dall'inceneritore e la concentrazione della sommatoria degli IPA, non mette però in evidenza una dipendenza di tali concentrazioni dall'impianto.

Diversamente dagli anni precedenti, nel 2016 non sono stati rilevati alcuni composti a basso peso molecolare (*naftalene, acenaffilene, acenaftene, fluorene*) poiché l'aumento del limite di quantificazione analitica non ha reso possibile il loro apprezzamento.

Complessivamente l'indagine del 2016 conferma l'assenza di criticità ambientali nell'area indagata. Tuttavia le variazioni sia spaziali che temporali delle concentrazioni dei microinquinanti, soprattutto quelli organici, indicano che la zona indagata è soggetta all'evoluzione di molteplici sorgenti potenzialmente impattanti, tra cui l'inceneritore.

Tale aspetto, unitamente alla modifica nel tempo dei fattori climatici che influenzano la ricaduta degli inquinanti al suolo, suggerisce di mantenere un presidio costante dell'area.

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] 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.

[5] ARPAV, 2011. *Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Determinazione dei valori di fondo*. Dipartimento Provinciale di Treviso, Servizio Suoli, Regione Veneto.

[6] 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).

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.