



**Sezione Provinciale di Ferrara**  
Servizio Sistemi Ambientali  
Via Bologna, 534  
44124 Ferrara  
tel 0532-234811

# **“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)**

**A cura di: D.ssa Manuela Mengoni  
D.ssa Claudia Milan  
D.ssa Simona Coppi  
D.ssa Enrica Canossa**

**Ferrara, luglio 2011**

# INDICE

## Relazione

- 1. Ambito dell'indagine**
  - 1.1 Piano di campionamento**
  - 1.2 Obiettivi dello studio e metodologia di elaborazione**
- 2. Risultati dell'indagine: alcune caratteristiche del suolo**
- 3. Metalli**
  - 3.1 Analisi temporale**
  - 3.2 Analisi di correlazione**
  - 3.3 Analisi spaziale**
  - 3.4 Analisi spaziale: confronto tra indagini del 2007 e del 2010**
  - 3.5 Analisi multivariata**
- 4. PCDD (diossine) e PCDF (furani)**
- 5. PCB (policlorobifenili)**
- 6. IPA (idrocarburi policiclici aromatici)**
- 7. Conclusioni**

## Bibliografia

## Appendice

- 1. Metalli: risultati delle analisi ed elaborazioni**
- 2. Diossine e Furani: risultati delle analisi**
- 3. PCB: risultati delle analisi**
- 4. IPA: risultati delle analisi**

# 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 a metà del 2010.

Tale studio è previsto dal Protocollo del 16/01/2009 che è parte integrante dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (atto P.G. 21823 del 11/03/2008).

L'indagine è stata curata dal servizio sistemi ambientali della sezione ARPA di Ferrara e ci si è avvalsi del laboratorio della sezione ARPA di Ravenna per l'analisi dei campioni di suolo.

Il termovalorizzatore (Via Diana-Canal Bianco) è inserito nella *Piccola Media Industria* di Cassana ed a ridosso del *Polo chimico*; a poca distanza sono presenti i nuclei abitativi di Cassana, Mizzana e Porotto.

Nel 2007 l'ARPA di Ferrara condusse un'indagine del suolo intorno all'impianto, gettando le basi per una metodologia finalizzata alla definizione degli elementi utili alla stesura del Protocollo del 16/01/2009. Nell'indagine si tenne conto dell'esperienza maturata nel 2006 riguardante lo studio dei suoli circostanti l'inceneritore situato in Via Conchetta (Allegato Conchetta, [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=1986&idlivello=30](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1986&idlivello=30))

A tutt'oggi, a prescindere dalla cogenza derivante dall'AIA, si è ritenuto interessante approfondire il quadro conoscitivo ottenuto nel 2007 (Allegato Diana, [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=1986&idlivello=30](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1986&idlivello=30)) osservando le variazioni temporali e spaziali degli analiti indagati (metalli, diossine e furani, PCB, IPA), e stabilire eventuali relazioni con la sorgente emissiva tenendo conto dei fattori confondenti presenti nella zona.

Il piano di campionamento adottato nel 2010 segue una distribuzione a raggiera dei punti di campionamento, già impostata nell'indagine del 2007, che interessa un'area con un raggio di influenza dal camino dell'impianto di 1,5 Km, **figure 1.1 a e 1.1 b** (l'identificativo dei vari siti di campionamento include il codice 'D' seguito da una cifra).

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	702291	970735
D7	500 m S	701842	970243
D8	500 m W	701373	970622
D9	1 Km N	701783	971779
D10	1 Km E	702837	970602
D11	Porotto 1 Km S	701775	969686
D12	1 Km W	700821	970778
D13	Disc. 1,5 Km N	701893	972215
D14	1,5 Km E	703350	970656
D15	Porotto 1,5 Km S	701658	969333
D16	1,5Km W	700349	970904
D17	Staz. Cassana 1,3 Km	702497	969556
D18	500 m max ricad.	702387	970516
D19	Villa Fulvia 9 Km	709448	966955
D20	Fondo Reno 4 Km	701227	966712

Figura 1.1 a Identificazione e localizzazione dei siti di campionamento di suolo superficiale (indagine 2010).

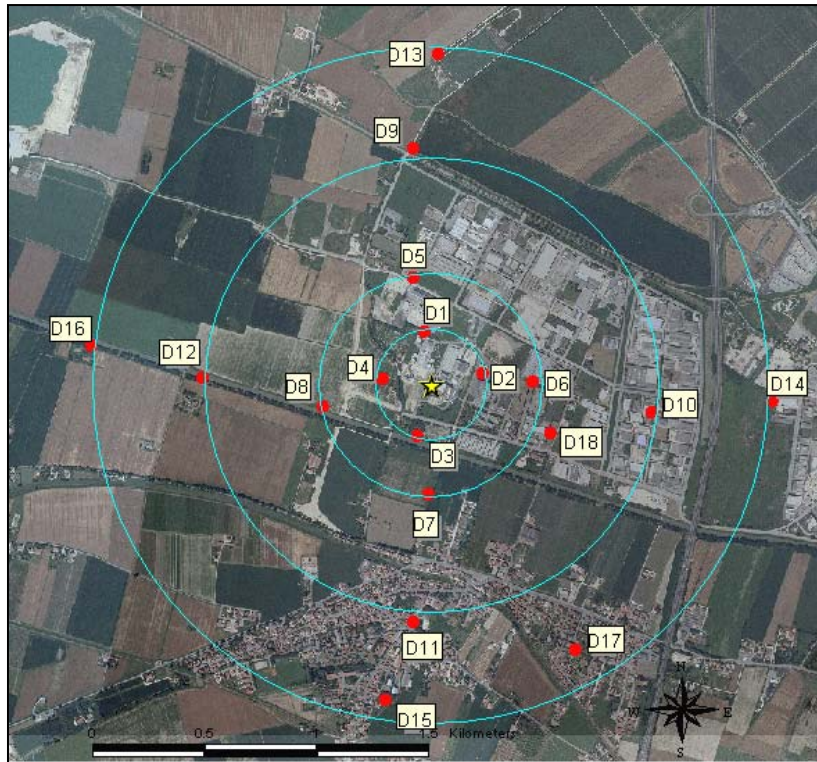


Fig. 1.1 b ● Siti di campionamento suolo intorno all'inceneritore di Via Diana-Canal Bianco  
 ★ Camino inceneritore

A titolo di confronto, si è posta in relazione la distribuzione dei punti di campionamento del suolo con la mappa ottenuta applicando il modello di diffusione atmosferica, ricavato con la metodologia del 'Progetto Monitor' per pianificare le attività di monitoraggio della qualità dell'aria in aree circostanti gli impianti di incenerimento. Nella mappa, **figura 1.2**, sono evidenziate le isolinee di concentrazione del particolato PM10 in aria, ottenute applicando il modello con i dati emissivi autorizzati con AIA (atto P.G. 21823 del 11/03/2008).

La scelta della mappa del PM10 è motivata dal fatto che le polveri, oltre ad essere un importante indicatore di qualità dell'aria, rappresentano un substrato sul quale aderiscono inquinanti quali i metalli, le diossine e i furani (PCDD/PCDF), i policlorobifenili (PCB) e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

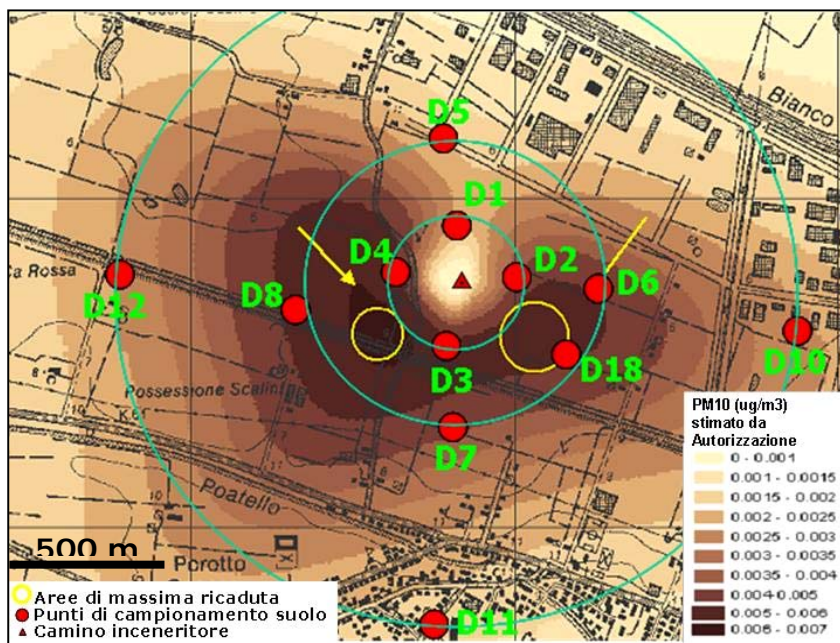


Figura 1.2 Mappa dell'area di massima ricaduta secondo il modello di diffusione atmosferica del particolato PM10 e distribuzione dei punti di campionamento del suolo nell'intorno dell'inceneritore.



Sulla base di tale confronto, si è deciso di aggiungere ai punti di campionamento del 2007, un nuovo punto (D18) situato nell'area di massima ricaduta (marrone più scuro) individuata in base alla mappa del PM10; in questa zona è installata una centralina di monitoraggio della qualità dell'aria di proprietà di HERA, come previsto dal Protocollo del 16/01/2009, per il monitoraggio delle immissioni.

Allo scopo di confrontare l'area influenzata maggiormente dal termovalorizzatore con aree dove il suo impatto è trascurabile sono stati inseriti nell'indagine dei suoli altri due siti, individuati sulla base della mappa immissiva sopra citata.

Il primo sito di confronto D20, a 4 Km di distanza dall'impianto di Via Diana (località Fondo Reno) **figura 1.3 b**, è stato scelto perché ubicato in un'area in cui l'effetto dei 'confondenti' (altre fonti emissive, esempio autostrada A13) è analogo a quello registrato nei punti prossimi al camino, come se fosse spento l'inceneritore; tale sito è stato identificato come 'punto di controllo' nella mappa della concentrazione media annua del PM10 emesso da fattori confondenti, ottenuta da simulazione modellistica, **figura 1.4**.

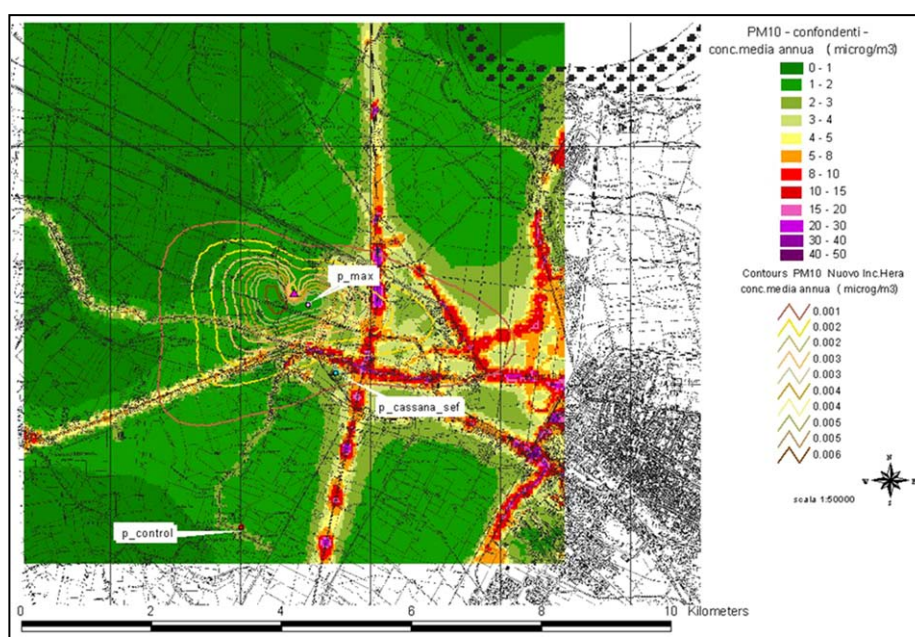


Figura 1.4 Mappa di isoconcentrazione (intesa come concentrazione media annua) di PM10 emesso da fattori confondenti, con determinazione dei punti di massimo impatto e 'punti di controllo' [1].

Un secondo sito è il D19, nell'area urbana a circa 9 Km di distanza dal camino (località Villa Fulvia), presso la stazione (ARPA) di monitoraggio della qualità dell'aria (zona di *Fondo urbano* in area parco), già indagato nel periodo 2006-2007 nello studio di Via Conchetta, **figura 1.3 a**.



Figura 1.3 a Sito di campionamento suolo presso Villa Fulvia.



Figura 1.3 b Sito di campionamento suolo presso Fondo Reno.

Gli analiti determinati nel 2007, come metalli, policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF), policlorobifenili (PCB) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA), sono stati misurati anche nel 2010. Sulla base dell'ulteriore esperienza maturata nel 2008 con l'indagine sui suoli attorno alla Centrale Biomasse di Bando di Argenta (Allegato Bando, [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=1986&idlivello=30](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1986&idlivello=30)) il profilo dei parametri è stato allargato alla:

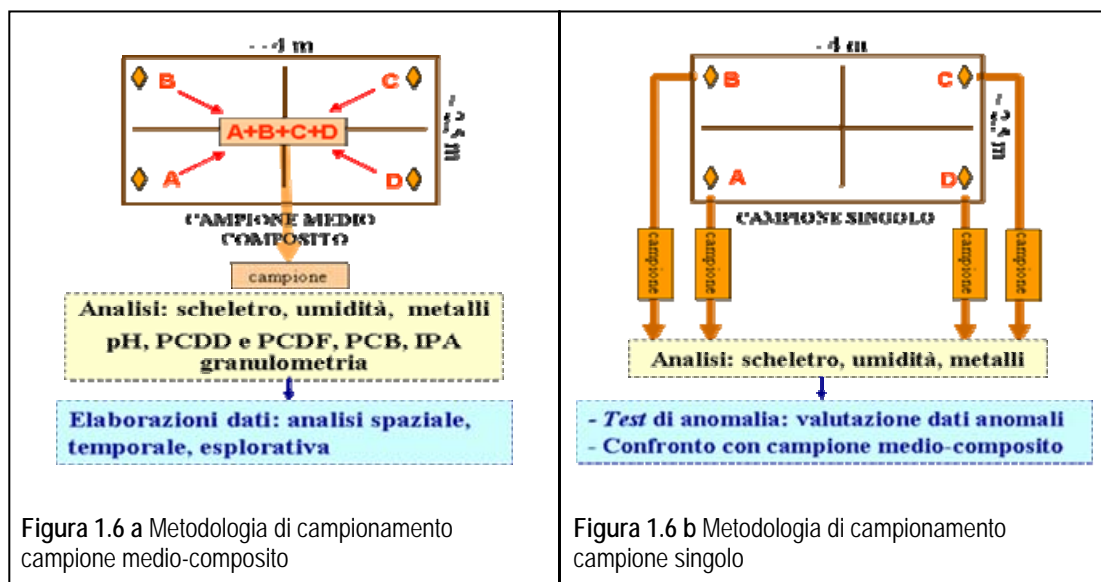
- determinazione della *granulometria* del terreno, la cui combinazione in percentuale (sabbia, limo, argilla) definisce la tessitura, proprietà determinante per una migliore valutazione delle variazioni di concentrazione dei metalli;
- determinazione del *pH* che descrive la reazione del suolo (misura dell'acidità, neutralità, alcalinità) ed influenza gli equilibri di solubilità e precipitazione degli elementi;
- ricerca di altri 10 congeneri PCB *dioxin-like*: si tratta di composti organici che presentano una tossicità simile a quelle delle diossine.

I campionamenti sono stati eseguiti raccogliendo una colonna indisturbata di suolo fino alla profondità di 10 cm (*figura 1.5*) e le aliquote prelevate sono di tipo:

- campione *medio-composito* che si ottiene mescolando quattro campioni puntuali prelevati all'interno di un'area (sito di campionamento) di circa 10 m<sup>2</sup>, *figura 1.6 a*;
- campione *singolo* che si ottiene prelevando in un punto, all'interno del sito di campionamento di circa 10 m<sup>2</sup>; in questo caso la rappresentatività del sito si ottiene prelevando 4 campioni puntuali ai vertici del rettangolo, *figura 1.6 b*.



Figura 1.5 Strumenti utilizzati per il campionamento del suolo superficiale.



Su tutti i siti sono stati eseguiti campioni medio-compositi, come stabilito dalla convenzione stipulata da ARPA con HERA.

Nel 2007 l'indagine condotta su Via Diana non prevedeva i campionamenti singoli, 4 da 4 (*figura 1.6 b*), diversamente dalle altre indagini eseguite per lo studio di suoli superficiali; ARPA, pertanto, ha ritenuto utile aggiungere questo tipo di campionamento per disporre di ulteriori informazioni finalizzate esclusivamente ad una migliore elaborazione statistica dei dati.

## 1.1 Piano di campionamento

L'attività di campionamento è stata eseguita nel mese di luglio (periodo estivo) similmente a quanto fatto nel 2007 (maggio-giugno).

I parametri ricercati sono:

- Scheletro (% s.s.),
- Umidità (%);
- pH (unità di pH);
- Granulometria (% di sabbia - limo - argilla);
- 16 metalli (mg/Kg s.s.): *Antimonio (Sb), Arsenico (As), Berillio (Be), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo totale (Cr), Cromo esavalente (Cr VI), Mercurio (Hg), Nichel (Ni), Piombo(Pb), Rame (Cu), Selenio (Se), 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*;
- 16 Policlorobifenili (PCB) (ng/g s.s.): *H7CB-(180+193); H7CB-170; T3CB-28; T4CB-52; P5CB-95; P5CB-101; P5CB-99; P5CB-110; H6CB-151; H6CB-149; H6CB-146; H6CB-(153+168); H6CB-138; H7CB-187; H7CB-183; H7CB-17*;
- 12 Policlorobifenili (PCB) dioxin-like (ng/g s.s.): *3,3,4,4-TCB (77); 3,4,4,5-TCB (81); 3,3,4,4,5-PeCB (126); 3,3,4,4,5,5-HxCB (169); 2,3,3,4,4-PeCB (105); 2,3,4,4,5-PeCB (114); 2,3,4,4,5-PeCB (118); 2,3,4,4,5-PeCB (123); 2,3,3,4,4,5-HxCB (156); 2,3,3,4,4,5-HxCB (157); 2,3,4,4,5,5-HxCB (167); 2,3,3,4,4,5,5-HpCB (189)*;
- 21 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*.

## 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, da emissioni atmosferiche originate da insediamenti urbani e industriali (media scala); fonti di pressioni prossime ai siti indagati (ad esempio pratiche agricole, traffico veicolare, ecc. ...); micro-contaminazioni dei suoli; sostanze che sono 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 dei campionamenti dal camino dell'inceneritore);
- le variazioni temporali tra la campagna di monitoraggio del 2007 e quella del 2010.

E' stato inoltre effettuato un confronto tra l'area circostante l'impianto di incenerimento con siti non influenzati dalle sue ricadute, ma caratterizzati da contesti emissivi analoghi o minori.

Lo schema di elaborazione seguito nasce dalle precedenti esperienze e soprattutto dall'ultima indagine del 2008, condotta nei suoli intorno alla Centrale di combustione biomasse di Bando:

- a. applicazione di *test* di *Dixon* e di *Grubbs* per individuare ‘potenziali anomalie’ nei campionamenti singoli, 4 da 4, e per valutare la variabilità tra questi e i medio-compositi prelevati negli stessi siti;
- b. studio della distribuzione dei dati e misure di dispersione e variabilità (deviazione standard, percentile, varianza, coefficiente di variazione, curtosi, ecc. ...);
- c. analisi delle relazioni tra le variabili (retta di regressione e matrice di correlazione);
- d. rappresentazione grafica *Box-and-Wisker plot* per escludere siti con valori ‘estremi’, a sostegno dell’elaborazione spaziale delle concentrazioni delle variabili;
- e. elaborazione spaziale (attraverso *software Surfer*) che consente di apprezzare le variazioni delle variabili nell’area intorno all’inceneritore;
- f. elaborazione esplorativa per stabilire la similarità tra  $n$  variabili (*Cluster Analysis*);
- g. 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*, PCA).

Altre rappresentazioni grafiche sono state utilizzate per illustrare confronti temporali dei valori determinati durante le due campagne di indagine 2007 e 2010.

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 considerare i valori inferiori a detti limiti pari alla loro metà.



## 2. Risultati dell'indagine: alcune caratteristiche del suolo

I parametri ricercati finalizzati alla definizione delle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli sono stati il pH e la composizione granulometrica, utili per l'elaborazione degli altri parametri.

La percentuale di sabbia, limo, argilla della frazione con granuli di diametro inferiore a 2 mm 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).

I risultati mostrano che i suoli indagati sono classificabili in base alla tessitura, in sei classi:

- franco sabbioso (siti D8, D14, D19)
- franco (siti D1, D2, D3, D10, D17)
- franco limoso (siti D4, D5, D11, D15, D20)
- franco argilloso (siti D6, D9, D13, D16)
- franco limoso argilloso (siti D7, D18)
- argilloso limoso (sito D12).

La **figura 2.1** mostra la distribuzione dei campioni prelevati nel corso dell'indagine, in relazione alla classificazione tessiturale USDA-NRCS [2], mentre la **figura 2.2** rappresenta un'elaborazione con *software Surfer* in cui si evidenzia la distribuzione spaziale della componente argillosa contenuta nei campioni prelevati nei siti intorno all'inceneritore.

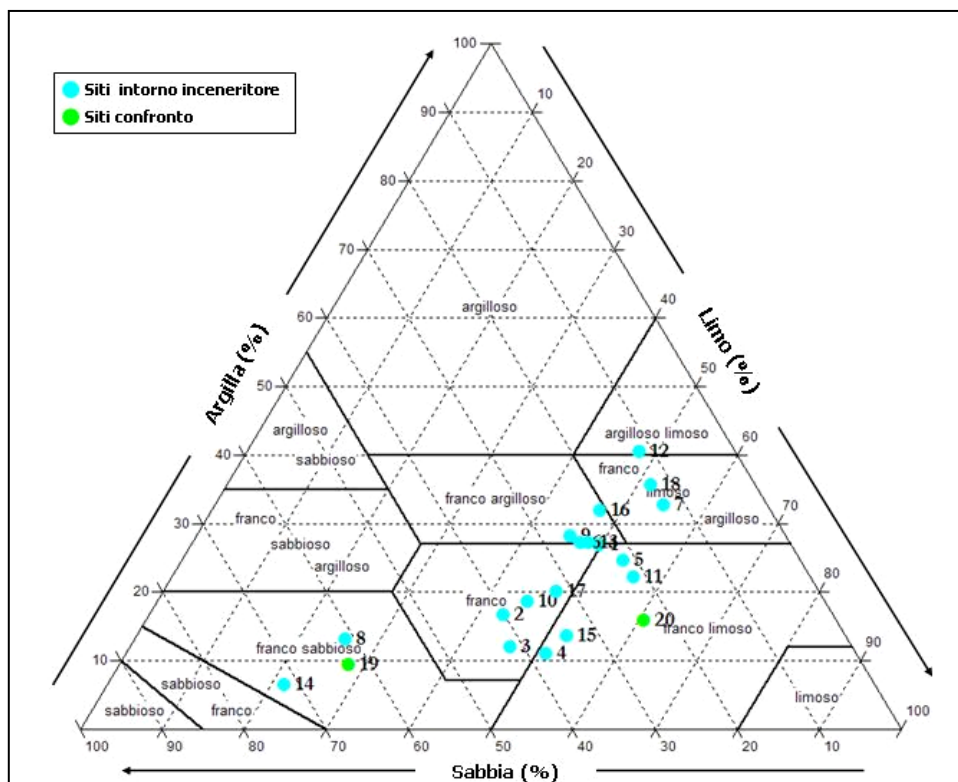


Figura 2.1 Triangolo USDA-NRCS: individuazione delle classi tessiturali dei siti di campionamento di suolo superficiale.

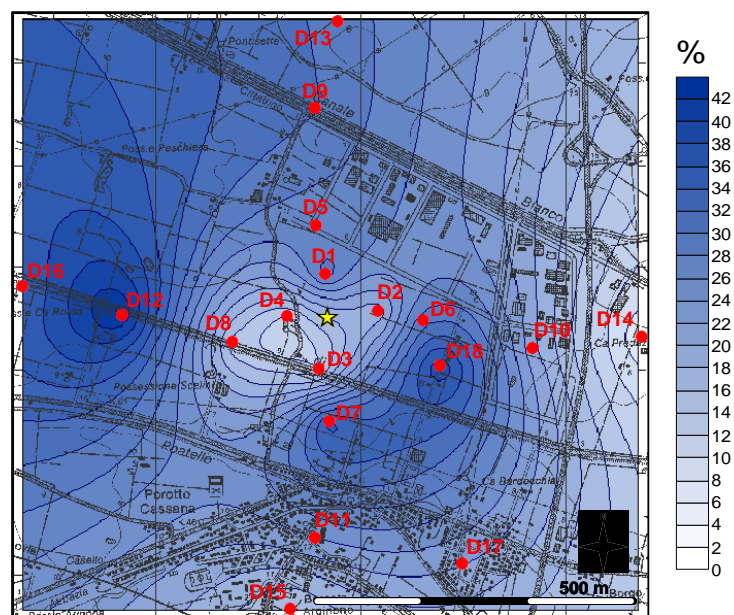


Figura 2.2 Distribuzione spaziale del contenuto in argilla (%)

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

I suoli campionati si presentano con un pH medio di 7,6. Secondo la suddivisione in classi riportata in letteratura [3] si individuano terreni per la maggior parte con reazione leggermente basica e solo due siti a pH neutro, **figura 2.3**. I valori di pH registrati sono confrontabili con gli orizzonti superficiali dei suoli regionali dell'Emilia-Romagna i quali mostrano un pH compreso tra 7,3 e 8,4 e sono quindi tendenzialmente alcalini [4].

SITO	unità di pH	CLASSIFICAZIONE
D1	8,0	moderatamente alcalino
D2	7,8	debolmente alcalino
D3	7,7	debolmente alcalino
D4	7,3	neutro
D5	7,9	moderatamente alcalino
D6	7,9	moderatamente alcalino
D7	7,8	debolmente alcalino
D8	7,9	moderatamente alcalino
D9	7,7	debolmente alcalino
D10	7,8	debolmente alcalino
D11	7,4	debolmente alcalino
D12	7,6	debolmente alcalino
D13	7,5	debolmente alcalino
D14	7,5	debolmente alcalino
D15	7,5	debolmente alcalino
D16	7,7	debolmente alcalino
D17	7,6	debolmente alcalino
D18	7,6	debolmente alcalino
D19	7,7	debolmente alcalino
D20	7,3	neutro

Figura 2.3 Classificazione dei suoli in funzione del pH.

### 3. Metalli

Nella tabella di **figura 3.1** sono riportati i valori dei metalli ricercati nei campioni medio-compositi dei 20 siti indagati, così come forniti con i rapporti di prova dal laboratorio.

Al fine di un raffronto dei dati con quelli ottenuti dall'indagine del 2007 e con gli altri studi sui suoli del territorio provinciale, laddove nei campioni prelevati era presente uno *scheletro* (particelle > 2 mm), si è provveduto a richiedere al laboratorio di escluderlo dai calcoli delle concentrazioni rinvenute. Tale scelta è determinata dal fatto che l'obiettivo dell'indagine non tende ad accertare una potenziale contaminazione dei suoli, ma ha lo scopo di stabilire una conoscenza dei suoli che possono essere influenzati dall'impatto del termovalorizzatore. Si sottolinea infatti che il D.Lgs 152/2006 definisce le Concentrazioni Soglia di Contaminazione nel suolo (CSC) in relazione alla specifica destinazione d'uso dei siti potenzialmente contaminati, tabella 1 dell'Allegato 5 della Parte Quarta, classificati in:

- tipo "A", siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale;
- tipo "B", siti ad uso commerciale e industriale.

Il Decreto prevede inoltre che la concentrazione per i vari parametri venga determinata facendo riferimento alla sostanza secca (mg/Kg s.s.) comprensiva di scheletro.

METALLO	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo VI	Cromo tot	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Selenio	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.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.
D1	0,47	9,60	1,10	0,14	14,20	0,55	147,70	1,07	100,40	16,20	30,10	0,40	1,90	0,38	70,50	81,20
D2	0,53	9,60	0,74	0,10	11,60	0,32	120,10	0,08	82,70	12,10	24,30	0,43	1,30	0,24	51,40	56,70
D3	0,64	7,90	0,72	0,34	12,40	0,41	121,00	0,11	88,60	74,00	196,70	0,71	3,50	0,36	53,40	159,00
D4	1,00	10,10	0,84	0,38	13,40	0,41	121,50	0,12	92,50	50,00	70,40	0,75	5,70	0,39	57,30	192,30
D5	0,59	23,90	1,20	0,19	15,90	0,94	158,90	0,14	115,20	21,30	49,50	0,67	2,40	0,39	73,50	89,80
D6	0,47	13,50	1,00	0,15	13,50	0,43	135,40	0,07	94,70	16,60	32,40	0,50	1,70	0,33	65,50	96,80
D7	0,52	9,60	1,20	0,22	14,30	0,63	135,80	0,11	95,30	19,90	46,00	0,56	3,00	0,41	75,90	86,70
D8	0,48	7,90	0,76	0,17	11,90	0,21	117,90	0,09	80,90	15,00	20,60	0,50	1,60	0,28	51,40	54,50
D9	0,61	11,90	1,30	0,19	16,30	1,01	158,30	0,11	111,00	20,20	38,40	0,83	2,30	0,45	84,30	89,40
D10	0,43	9,30	0,90	0,24	13,80	0,42	128,40	0,07	99,00	18,20	25,80	0,43	1,80	0,35	59,60	76,80
D11	0,42	7,80	1,20	0,20	12,70	0,69	83,10	0,09	61,70	25,40	36,80	0,63	1,90	0,43	68,30	83,90
D12	0,53	11,30	1,30	0,22	17,00	0,73	159,80	0,09	118,60	20,20	35,80	0,58	2,50	0,46	82,20	89,40
D13	0,75	10,40	1,40	0,24	14,40	0,24	142,10	0,13	99,90	20,30	33,00	0,67	2,40	0,40	74,90	82,40
D14	0,38	5,40	0,49	0,17	6,60	0,36	61,00	0,07	42,30	13,50	15,30	0,37	1,30	0,22	35,10	64,00
D15	0,71	7,50	1,10	0,20	11,50	0,26	68,20	0,49	47,50	18,00	36,00	0,85	2,60	0,40	59,00	102,20
D16	0,57	10,90	1,20	0,26	16,00	1,00	154,00	0,10	112,40	21,20	37,60	0,70	2,20	0,46	78,40	144,40
D17	0,97	7,60	1,30	0,30	13,30	0,47	97,20	0,66	65,50	29,90	35,00	0,78	3,70	0,45	72,40	136,50
D18	0,66	33,40	1,50	0,23	17,10	1,23	172,30	0,13	124,00	21,50	43,30	0,70	2,50	0,47	88,70	90,40
D19	0,73	8,50	0,78	0,24	11,20	0,50	132,90	0,54	76,50	16,50	29,50	0,78	2,50	0,28	55,80	81,50
D20	0,76	8,60	1,30	0,30	13,40	0,20	81,60	0,25	53,60	24,20	58,10	0,98	3,80	0,42	68,30	98,10

Figura 3.1 Metalli: risultati dei campioni medio-compositi.

In **Appendice** è riportata l'analisi preliminare del *set* di dati finalizzata a stabilire l'applicabilità di criteri statistici sui valori di concentrazione determinati (**tabella 2**). Dall'analisi di *statistica descrittiva* per tutti i metalli si osserva una distribuzione normale, ad eccezione del *mercurio* che presenta un elevato coefficiente di variazione (forte variabilità tra i dati).

Come illustrato in precedenza, sono stati analizzati anche i campioni di suolo singoli nei siti D1, D2, D3, D4 e D18 per mostrare eventuali variabilità dei dati di natura analitica e di campionamento che possono ridurre il grado di 'rappresentatività' delle misure. Negli studi di suolo superficiale è stato dimostrato in precedenza che un 'micro-inquinamento' puntuale particolarmente elevato, ma poco 'significativo' in termini di lettura di una complessiva situazione ambientale potrebbe 'distorcere' in modo sostanziale il risultato della rilevazione. Pertanto si è proceduto ad una prima fase di studio preliminare in cui sono state analizzate separatamente le aliquote provenienti dai siti di campionamento (campioni singoli 4 da 4), applicando due *test* statistici per la ricerca di valori 'anomali' (*test* di *Dixon* e *test* di *Grubbs*).

METALLO	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo VI	Cromo tot	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Selenio	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.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.
D1A	0,61	9,60	0,93	0,13	14,70	0,59	147,40	2,86	101,60	17,60	30,90	0,60	1,90	0,35	64,80	113,50
D1B	0,64	12,10	1,30	0,21	16,90	0,51	185,80	1,60	120,00	19,10	39,90	0,69	2,60	0,46	83,80	85,80
D1C	0,45	6,90	0,76	0,18	9,90	0,55	109,50	2,40	73,80	9,20	26,40	0,36	2,40	0,14	47,90	57,60
D1D	0,57	8,10	0,79	0,12	11,20	0,40	138,20	2,47	82,80	14,00	39,40	0,53	1,40	0,28	53,90	63,80
min	0,45	6,90	0,76	0,12	9,90	0,40	109,50	1,60	73,80	9,20	26,40	0,36	1,40	0,14	47,90	57,60
max	0,64	12,10	1,30	0,21	16,90	0,59	185,80	2,86	120,00	19,10	39,90	0,69	2,60	0,46	83,80	113,50
dev.st	0,08	2,24	0,25	0,04	3,21	0,08	31,50	0,53	20,54	4,40	6,61	0,14	0,54	0,13	15,77	25,30
cv%	14,7%	24,4%	26,2%	26,5%	24,3%	16,0%	21,7%	22,7%	21,7%	29,4%	19,4%	25,6%	25,9%	43,6%	25,2%	31,6%
media	0,57	9,18	0,95	0,16	13,18	0,51	145,23	2,33	94,55	14,98	34,15	0,55	2,08	0,31	62,60	80,18
D1 (medio-composito)	0,47	9,60	1,10	0,14	14,20	0,55	147,70	1,07	100,40	16,20	30,10	0,40	1,90	0,38	70,50	81,20
D2A	0,35	6,70	0,53	0,07	9,20	0,14	97,50	0,16	68,70	11,40	17,10	0,38	0,85	0,19	42,50	44,60
D2B	0,41	7,20	0,59	0,06	10,10	0,33	107,40	0,54	68,70	11,40	26,10	0,46	0,98	0,24	47,40	50,40
D2C	0,49	10,10	0,78	0,09	12,40	0,45	126,00	0,29	86,00	15,00	25,90	0,59	1,20	0,26	57,10	63,20
D2D	0,50	9,10	0,61	0,08	11,30	0,52	111,50	0,29	79,30	14,30	22,80	0,44	0,84	0,19	48,10	55,20
min	0,35	6,70	0,53	0,06	9,20	0,14	97,50	0,16	68,70	11,40	17,10	0,38	0,84	0,19	42,50	44,60
max	0,50	10,10	0,78	0,09	12,40	0,52	126,00	0,54	86,00	15,00	26,10	0,59	1,20	0,26	57,10	63,20
dev.st	0,07	1,60	0,11	0,01	1,40	0,17	11,83	0,16	8,51	1,90	4,20	0,09	0,17	0,04	6,08	7,87
cv%	16,2%	19,3%	17,1%	17,2%	13,0%	46,2%	10,7%	49,7%	11,2%	14,6%	18,3%	18,9%	17,3%	16,2%	12,5%	14,7%
media	0,44	8,28	0,63	0,08	10,75	0,36	110,60	0,32	75,68	13,03	22,98	0,47	0,97	0,22	48,78	53,35
D2 (medio-composito)	0,53	9,60	0,74	0,10	11,60	0,32	120,10	0,08	82,70	12,10	24,30	0,43	1,30	0,24	51,40	56,70
D3A	0,97	6,50	0,73	0,55	10,10	0,93	109,70	0,18	73,10	104,10	477,20	0,50	3,40	0,15	49,90	460,00
D3B	0,61	5,90	0,49	0,17	10,50	0,99	99,70	0,31	72,40	54,10	53,40	0,43	0,86	0,16	41,20	67,40
D3C	0,41	5,70	0,41	0,05	8,30	0,74	83,50	0,52	59,50	41,60	31,80	0,54	1,00	0,12	33,80	58,80
D3D	0,71	5,80	0,61	0,29	9,60	0,49	99,40	0,22	69,30	26,40	113,80	0,63	2,20	0,13	43,80	93,00
min	0,4	5,7	0,4	0,1	8,3	0,5	83,5	0,2	59,5	26,4	31,8	0,4	0,9	0,1	33,8	58,8
max	1,0	6,5	0,7	0,6	10,5	1,0	109,7	0,5	73,1	104,1	477,2	0,6	3,4	0,2	49,9	460,0
dev.st	0,23	0,36	0,14	0,21	0,96	0,23	10,83	0,15	6,27	33,66	208,34	0,08	1,19	0,02	6,67	194,01
cv%	34,5%	6,0%	25,0%	80,7%	9,9%	28,6%	11,0%	49,3%	9,1%	59,5%	123,2%	15,9%	63,6%	13,0%	15,8%	114,3%
media	0,68	5,98	0,56	0,27	9,63	0,79	98,08	0,31	68,58	56,55	169,05	0,53	1,87	0,14	42,18	169,80
media parziale											66,33					73,07
D3 (medio-composito)	0,64	7,90	0,72	0,34	12,40	0,41	121,00	0,11	88,60	74,00	196,70	0,71	3,50	0,36	53,40	159,00
D4A	1,00	8,50	0,95	0,42	13,20	0,38	125,60	0,16	87,00	53,20	54,40	0,72	7,40	0,35	62,40	191,80
D4B	0,80	7,60	0,80	0,40	12,60	0,67	125,10	0,16	84,00	51,00	60,40	0,66	3,80	0,32	57,90	179,60
D4C	0,86	8,60	0,80	0,38	13,80	0,65	131,90	0,16	93,70	48,10	81,00	0,88	4,30	0,30	56,70	176,20
D4D	1,60	9,50	0,99	0,46	14,50	0,92	140,10	0,17	98,60	66,80	67,50	0,69	5,80	0,35	64,20	193,60
min	0,80	7,60	0,80	0,38	12,60	0,38	125,10	0,16	84,00	48,10	54,40	0,66	3,80	0,30	56,70	176,20
max	1,60	9,50	0,99	0,46	14,50	0,92	140,10	0,17	98,60	66,80	81,00	0,88	7,40	0,35	64,20	193,60
dev.st	0,37	0,78	0,10	0,03	0,81	0,22	7,00	0,01	6,58	8,28	11,45	0,10	1,62	0,02	3,57	8,69
cv%	34,4%	9,1%	11,2%	8,2%	6,0%	33,7%	5,4%	3,1%	7,2%	15,1%	17,4%	13,3%	30,5%	7,4%	5,9%	4,7%
media	1,07	8,55	0,89	0,42	13,53	0,66	130,68	0,16	90,83	54,78	65,83	0,74	5,33	0,33	60,30	185,30
D4 (medio-composito)	1,00	10,10	0,84	0,38	13,40	0,41	121,50	0,12	92,50	50,00	70,40	0,75	5,70	0,39	57,30	192,30
D18A	0,60	27,50	1,10	0,16	14,20	1,58	140,50	0,22	102,70	20,50	39,30	0,62	2,10	0,38	71,50	81,00
D18B	0,64	28,20	1,10	0,15	15,60	1,21	152,70	0,20	113,60	21,90	41,40	0,80	2,10	0,40	74,70	84,90
D18C	0,67	31,00	1,24	0,17	17,20	0,91	166,90	0,28	123,30	22,50	44,10	0,69	2,20	0,44	83,40	87,70
D18D	0,59	29,00	1,20	0,18	15,20	0,64	151,00	0,57	108,80	21,20	37,30	0,63	2,30	0,45	78,10	79,70
min	0,59	27,50	1,10	0,15	14,20	0,64	140,50	0,20	102,70	20,50	37,30	0,62	2,10	0,38	71,50	79,70
max	0,67	31,00	1,24	0,18	17,20	1,58	166,90	0,57	123,30	22,50	44,10	0,80	2,30	0,45	83,40	87,70
dev.st	0,04	1,51	0,07	0,01	1,25	0,40	10,85	0,17	8,70	0,87	2,91	0,08	0,10	0,03	5,09	3,66
cv%	5,9%	5,2%	6,1%	7,8%	8,0%	37,2%	7,1%	54,1%	7,8%	4,0%	7,2%	12,1%	4,4%	7,9%	6,6%	4,4%
media	0,63	28,93	1,16	0,17	15,55	1,09	152,78	0,32	112,10	21,53	40,53	0,69	2,18	0,42	76,93	83,33
D18 (medio-composito)	0,66	33,40	1,50	0,23	17,10	1,23	172,30	0,13	124,00	21,50	43,30	0,70	2,50	0,47	88,70	90,40

Figura 3.2 Metalli: risultati ed elaborazioni dei campioni singoli (siti D1, D2, D3, D4 e D18) e confronto con i campioni medio-compositi.

Nella tabella di **figura 3.2** in nero si riportano i valori dei campioni singoli (4 da 4) dei cinque siti d'indagine ed i relativi minimi, massimi, deviazioni standard, coefficienti di variabilità e medie, in blu; mentre in verde sono rappresentati i corrispondenti medio-compositi. Va notato come i valori risultati 'anomali' siano stati molto pochi: solo per il sito D3, sia il *test* di *Grubbs* (significatività di rilievo  $p < 0,01$ ) che di *Dixon* hanno individuato come valore sospetto quello dello *zinco* rilevato nell'aliquota D3A (cella in arancio). Un'anomalia significativa (per  $p < 0,05$ ) riguarda il valore del *rame* determinato nella stessa aliquota D3A (cella in giallo).

Tali rilevazioni, che si traducono, in questo caso, in una sovrastima del dato medio-composito, non si ritengono rappresentative del sito indagato e sono probabilmente frutto di 'micro-inquinamenti' puntuali particolarmente elevati, di natura casuale. Ai fini delle elaborazioni successive del presente studio, per il sito D3 si è provveduto a scartare i due valori di *rame* e *zinco* determinati nel medio-composito (196,70 mg/Kg s.s. e 159,00 mg/Kg s.s.), i quali sono stati sostituiti con i valori medi stimati (celle in verde) di 66,33 mg/Kg s.s. per il *rame* e di 73,07 mg/Kg s.s. per lo *zinco*, ottenuti dai campioni singoli senza il dato anomalo.



### 3.1 Analisi temporale

Con lo scopo di ottenere una valutazione temporale delle variazioni di concentrazione dei metalli, nel periodo che comprende l'indagine precedente con quella attuale, sono stati elaborati degli istogrammi che, oltre a dettagliare la concentrazione dei metalli per ogni sito di campionamento, opportunamente collocato in funzione della distanza dal camino, mettono in rilievo il confronto tra i valori determinati nel 2007 (barre grigie) con quelli del 2010 (barre blu), **Appendice, figure** da **1.1** a **1.15**. Per tutti i metalli il valore del limite di quantificazione del 2010 è pari a 0,1 mg/Kg s.s., mentre nel 2007 è 0,5 mg/Kg s.s.; per l'elaborazione grafica del confronto tra i due periodi, si è adottato il valore di 0,25 mg/Kg s.s., corrispondente alla metà del limite di quantificazione del 2007, come valore soglia per i dati del 2010.

Nei grafici è inserita, a titolo puramente di riflessione, una riga arancione orizzontale, corrispondente al limite che il D.Lgs 152/2006 indica per i siti di tipo 'A' (ad uso verde pubblico, privato e residenziale).

Come già evidenziato in passato, va opportunamente ricordato che l'incertezza di misura associata ad ogni valore fa sì che quasi tutti i 'superamenti' abbiano probabilità di esistenza anche al di sotto del limite per i suoli di tipo 'A'.

È necessario sottolineare e ricordare, come del resto è già emerso dagli studi precedenti, che i valori di alcuni siti potrebbero essere influenzati anche da fattori ben diversi dalle pressioni che si è inteso indagare.

Altri siti, durante gli ultimi tre anni trascorsi, sono andati soggetti a minute e/o occasionali attività antropiche, ad esempio: i siti D4 e D8 sono limitrofi, rispettivamente ad est e ad ovest della nuova strada delineata per collegare il traffico da Via Diamantina a Via Bondeno; i siti all'interno dell'area aziendale di HERA per aumento di traffico di mezzi pesanti che trasportano i rifiuti; punti collocati in suoli a verde pubblico, come quelli di Cassana e Porotto hanno subito influenze da altre fonti emissive come quelle da traffico; siti in aree agricole sono stati indubbiamente influenzati da ricadute dovute alle pratiche agricole nei terreni adiacenti. Tutti questi fattori influiscono nel determinare elementi di 'confondimento', pertanto una variazione significativa delle concentrazioni non può essere determinata soltanto da una singola fonte emissiva ma da diverse tipologie di sorgenti che sono tipiche di un territorio fortemente antropizzato come quello oggetto di studio.

Altro fattore non trascurabile sono i caratteri geochimici dei suoli: ad esempio la presenza dei metalli può dipendere dalla composizione mineralogica del sedimento, funzione delle caratteristiche del materiale di provenienza; dalla granulometria (o tessitura), funzione dei differenti meccanismi di trasporto e sedimentazione [5]; dai processi di alterazione e pedogenesi che possono determinare delle alterazioni delle caratteristiche deposizionali, anche in tempi relativamente brevi.

Osservando singolarmente grafici riportati in **Appendice** emerge che:

**Antimonio:** nel 2007 molti valori risultano inferiori a 0,5 mg/Kg s.s. e questo viene confermato anche nel 2010, si notano due leggeri aumenti puntuali per i siti D4 e D17.

**Arsenico:** situazione pressoché invariata per tutti i siti, eccetto per il D5 e per il D13 dove si osserva un lieve aumento dei valori nel 2010; si riscontra inoltre una maggiore concentrazione per il sito D18, situato nell'area prossima all'impianto di HERA.

**Berillio:** i valori del 2010 sono diminuiti per tutti i siti, eccetto il D13 in cui si osserva un forte aumento.

**Cadmio:** i due 'picchi' rilevati nel 2007 sono rientrati sotto lo 0,5 mg/Kg s.s..

**Cobalto:** i valori del 2010 sono diminuiti per quasi tutti i siti o pressoché confermati in altri, ad eccezione del D13 in cui si osserva un aumento.

**Cromo esavalente:** un approfondimento va fatto per questo metallo; infatti, nel 2010 il suo limite di quantificazione è inferiore rispetto a quello certificato nel 2007. Il *cromo esavalente* è in genere presente in concentrazioni minime e, come risulta dai campioni di suolo rilevati, è una piccola percentuale (in media 0,4% circa) del *cromo totale*; la sua presenza è indicatrice di impatti antropici. Nel 2010 si osservano incrementi sporadici da 500 m a 1500 m dall'inceneritore, con valori di concentrazione confrontabili al valore rilevato nel punto D18.

*Cromo totale*: i valori del 2007 (anche quelli che risultavano superiori al limite normato per siti di tipologia 'A') sono diminuiti per quasi tutti i siti o pressoché confermati in altri, ad eccezione del D13 in cui si osserva un aumento.

*Mercurio*: nel 2007 tutti i valori erano inferiori a 0,5 mg/Kg s.s., nel 2010 si rileva un aumento di concentrazione nel sito D1, meno significativo per i siti D17 e D19; il *mercurio* è un inquinante altamente volatile e in bibliografia viene documentata la forte correlazione tra Hg e la sostanza organica nei suoli [6].

*Nichel*: si confermano le stesse osservazioni fatte per il *cromo totale*.

*Piombo*: nel 2010 si rileva, rispetto al 2007, un aumento dei valori nel sito D3 e un leggero aumento in D17; nel sito D4 si riscontra una diminuzione, tuttavia il valore resta elevato rispetto agli altri siti. Le concentrazioni di questo metallo al suolo, le cui caratteristiche sono l'elevato periodo di emivita e la scarsa mobilità del metallo nel suolo, derivano principalmente dalle deposizioni atmosferiche secche ed umide; le maggiori fonti emissive, oltre l'incenerimento di rifiuti ed il traffico veicolare, sono l'uso di pesticidi.

*Stagno*: nel 2010 si rileva un forte aumento di concentrazione, rispetto al 2007, nei siti D4, D13 e D17; si osserva una diminuzione nel sito D16.

*Tallio*: i valori massimi rilevati nel 2007 sono rientrati sotto lo 0,5 mg/Kg s.s. nel 2010.

*Vanadio*: i valori del 2010 sono diminuiti per quasi tutti i siti o pressoché confermati in altri, ad eccezione del D13 in cui si osserva un aumento.

*Rame e Zinco*: situazione pressoché invariata per tutti i siti; si rimanda, inoltre, a quanto descritto nel precedente paragrafo relativamente al confronto sui campioni singoli '4 da 4'.

Complessivamente non si apprezzano variazioni significative tra le diverse tipologie dei siti investigati, cioè area intorno all'inceneritore (da D1 a D18), area di fondo urbano (D19) e area di 'controllo' (D20).

Le concentrazioni dei metalli osservate nel 2010 sono in generale al quanto contenute e sono inferiori ai limiti fissati dal D.Lgs 152/2006 per i suoli destinati ad 'uso verde pubblico, privato e residenziale' (siti di tipo 'A') ad eccezione di alcuni valori relativi al *cromo totale* ed allo *stagno*. In ogni caso, per detti metalli, si ipotizza una base comune non irrilevante fra tutti i suoli esaminati dovuta ad una distribuzione naturale di alcuni metalli nei sedimenti alluvionali del Po, come ampiamente riportato in letteratura e già evidenziato nei precedenti studi. Alcuni singoli valori di *arsenico*, *nichel* e *zinco* superano il limite associato all'uso del suolo di tipo 'A', ma sono stati determinati in siti di tipo 'B' (associati all'uso commerciale ed industriale).

In tutte le successive elaborazioni si considerano come siti di campionamento influenzati potenzialmente dalla sorgente emissiva del termovalorizzatore i siti dal D1 al D18, ad esclusione del sito D13: i risultati ivi osservati, di difficile interpretazione, sembrano essere influenzati da fattori casuali ed antropici, piuttosto che da ricadute proprie dell'impianto oggetto dello studio.

### 3.2 Analisi di correlazione

Al fine di valutare le interdipendenze esistenti tra i vari metalli, tabella in *figura 3.21*, e tra questi con alcune caratteristiche dei suoli come la tessitura e il pH, con la sommatoria dei microinquinanti organici ricercati e con la distanza dei siti rispetto al camino (*figura 3.22*) sono state elaborate le matrici dei coefficienti di correlazione. Altri grafici che mostrano le rette di regressione sono illustrati in *Appendice, figure 1.16 a, b e c*.

Variabile	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr VI	Cr tot	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	Tl	V	Zn
<b>Sb</b>	1.0000	0.0906	0.2306	<b>0.7031</b>	0.1853	0.0077	-0.0141	0.2334	-0.0025	0.4989	<b>0.6088</b>	<b>0.7155</b>	<b>0.8644</b>	0.4057	0.1669	<b>0.7727</b>
<b>As</b>	0.0906	1.0000	0.5494	-0.0403	0.6023	<b>0.7254</b>	<b>0.6419</b>	-0.1454	<b>0.6397</b>	-0.0991	0.2374	0.1983	0.0080	0.3652	0.5720	0.0239
<b>Be</b>	0.2306	0.5494	1.0000	0.0569	<b>0.8202</b>	<b>0.7546</b>	0.5302	0.2137	0.5138	-0.1812	0.1825	0.5170	0.1289	<b>0.8976</b>	<b>0.9573</b>	0.2648
<b>Cd</b>	<b>0.7031</b>	-0.0403	0.0569	1.0000	0.1632	0.0537	0.0008	-0.0857	0.0821	<b>0.8076</b>	<b>0.7568</b>	0.5625	<b>0.8701</b>	0.4323	0.0766	<b>0.6933</b>
<b>Co</b>	0.1853	0.6023	<b>0.8202</b>	0.1632	1.0000	<b>0.7594</b>	<b>0.8760</b>	0.0014	<b>0.8850</b>	0.0064	0.3672	0.3920	0.2009	<b>0.7927</b>	<b>0.9247</b>	0.2750
<b>Cr VI</b>	0.0077	<b>0.7254</b>	<b>0.7546</b>	0.0537	<b>0.7594</b>	1.0000	<b>0.6905</b>	-0.1402	<b>0.6950</b>	-0.0917	0.2354	0.3584	-0.0001	<b>0.6936</b>	<b>0.8278</b>	0.1593
<b>Cr tot</b>	-0.0141	<b>0.6419</b>	0.5302	0.0008	<b>0.8760</b>	<b>0.6905</b>	1.0000	-0.0875	<b>0.9895</b>	-0.0311	0.2687	0.0624	0.0404	0.4536	<b>0.7274</b>	0.0732
<b>Hg</b>	0.2334	-0.1454	0.2137	-0.0857	0.0014	-0.1402	-0.0875	1.0000	-0.1588	-0.0794	-0.1030	0.0210	0.0823	0.1779	0.1134	0.1153
<b>Ni</b>	-0.0025	<b>0.6397</b>	0.5138	0.0821	<b>0.8850</b>	<b>0.6950</b>	<b>0.9895</b>	-0.1588	1.0000	0.0235	0.3219	0.0804	0.0887	0.4764	<b>0.7131</b>	0.1188
<b>Pb</b>	0.4989	-0.0991	-0.1812	<b>0.8076</b>	0.0064	-0.0917	-0.0311	-0.0794	0.0235	1.0000	<b>0.8179</b>	0.4277	<b>0.7093</b>	0.1718	-0.1215	0.3446
<b>Cu</b>	<b>0.6088</b>	0.2374	0.1825	<b>0.7568</b>	0.3672	0.2354	0.2687	-0.1030	0.3219	<b>0.8179</b>	1.0000	0.6053	<b>0.8374</b>	0.4542	0.2473	0.5637
<b>Se</b>	<b>0.7155</b>	0.1983	0.5170	0.5625	0.3920	0.3584	0.0624	0.0210	0.0804	0.4277	0.6053	1.0000	0.6050	<b>0.6900</b>	0.4468	0.5630
<b>Sn</b>	<b>0.8644</b>	0.0080	0.1289	<b>0.8701</b>	0.2009	-0.0001	0.0404	0.0823	0.0887	<b>0.7093</b>	<b>0.8374</b>	0.6050	1.0000	0.4207	0.1316	<b>0.7865</b>
<b>Tl</b>	0.4057	0.3652	<b>0.8976</b>	0.4323	<b>0.7927</b>	<b>0.6936</b>	0.4536	0.1779	0.4764	0.1718	0.4542	<b>0.6900</b>	0.4207	1.0000	<b>0.8810</b>	0.5002
<b>V</b>	0.1669	0.5720	<b>0.9573</b>	0.0766	<b>0.9247</b>	<b>0.8278</b>	<b>0.7274</b>	0.1134	<b>0.7131</b>	-0.1215	0.2473	0.4468	0.1316	<b>0.8810</b>	1.0000	0.2535
<b>Zn</b>	<b>0.7727</b>	0.0239	0.2648	<b>0.6933</b>	0.2750	0.1593	0.0732	0.1153	0.1188	0.3446	0.5637	0.5630	<b>0.7865</b>	0.5002	0.2535	1.0000

Figura 3.21 Coefficienti di correlazione 'r' tra i metalli ricercati (in rosso sono evidenziate le correlazioni significative a livello  $p > 0,01000$ ) - indagine 2010.

Variabile	Distanza	pH	Sabbia	Limo	Argilla	Somma IPA	Somma PCDD-PCDF
<b>Sb</b>	-0.0357	-0.4608	-0.1039	0.3301	-0.1418	0.4401	0.3168
<b>As</b>	-0.2878	0.1088	-0.4892	0.3379	0.5073	-0.1831	-0.0043
<b>Be</b>	0.1434	0.0157	<b>-0.8691</b>	<b>0.6860</b>	<b>0.8185</b>	-0.3882	-0.1382
<b>Cd</b>	0.0192	-0.5489	-0.0612	0.2593	-0.1462	<b>0.7606</b>	0.5249
<b>Co</b>	-0.1875	0.2218	<b>-0.8497</b>	<b>0.6299</b>	<b>0.8396</b>	-0.0767	0.1697
<b>Cr VI</b>	0.0692	0.0077	<b>-0.6766</b>	0.4271	<b>0.7405</b>	-0.3241	-0.0252
<b>Cr tot</b>	-0.4303	0.4796	<b>-0.6355</b>	0.3407	<b>0.7539</b>	-0.0574	0.2580
<b>Hg</b>	0.0032	0.1978	-0.1167	0.1951	0.0104	-0.1597	0.1073
<b>Ni</b>	-0.4053	0.3969	<b>-0.6398</b>	0.3663	<b>0.7366</b>	0.0330	0.2815
<b>Pb</b>	-0.3118	-0.3570	0.0513	0.2166	-0.2966	<b>0.7415</b>	<b>0.7734</b>
<b>Cu</b>	-0.4066	-0.3314	-0.3522	0.5825	0.0376	<b>0.6104</b>	<b>0.6816</b>
<b>Se</b>	0.2358	-0.4545	-0.3346	0.4882	0.0988	0.1358	0.1223
<b>Sn</b>	-0.1999	-0.5091	-0.1641	0.4071	-0.1135	<b>0.6816</b>	0.5696
<b>Tl</b>	0.2010	-0.2202	<b>-0.8077</b>	<b>0.7198</b>	<b>0.6811</b>	-0.0568	0.1221
<b>V</b>	0.0121	0.1375	<b>-0.8986</b>	<b>0.6513</b>	<b>0.9022</b>	-0.3174	-0.0098
<b>Zn</b>	0.1337	-0.4956	-0.2572	0.4049	0.0471	0.4202	0.2556

Figura 3.22 Coefficienti di correlazione 'r' tra i metalli con la distanza dal camino, pH, la tessitura, le somme dei composti organici (in rosso sono evidenziate le correlazioni significative a livello  $p > 0,01000$ ) - indagine 2010.

Dall'esame dei coefficienti di regressione appare evidente l'esistenza di correlazione tra alcuni metalli. In particolare risultano forti le correlazioni tra *nichel*, *cromo totale* e *cobalto* e quelle tra *berillio*, *cobalto*, *tallio* e *vanadio*; ciò è indice della loro origine naturale [7, 8]. Seguono quelle tra *antimonio*, *cadmio*, *rame*, *piombo* e *stagno*.

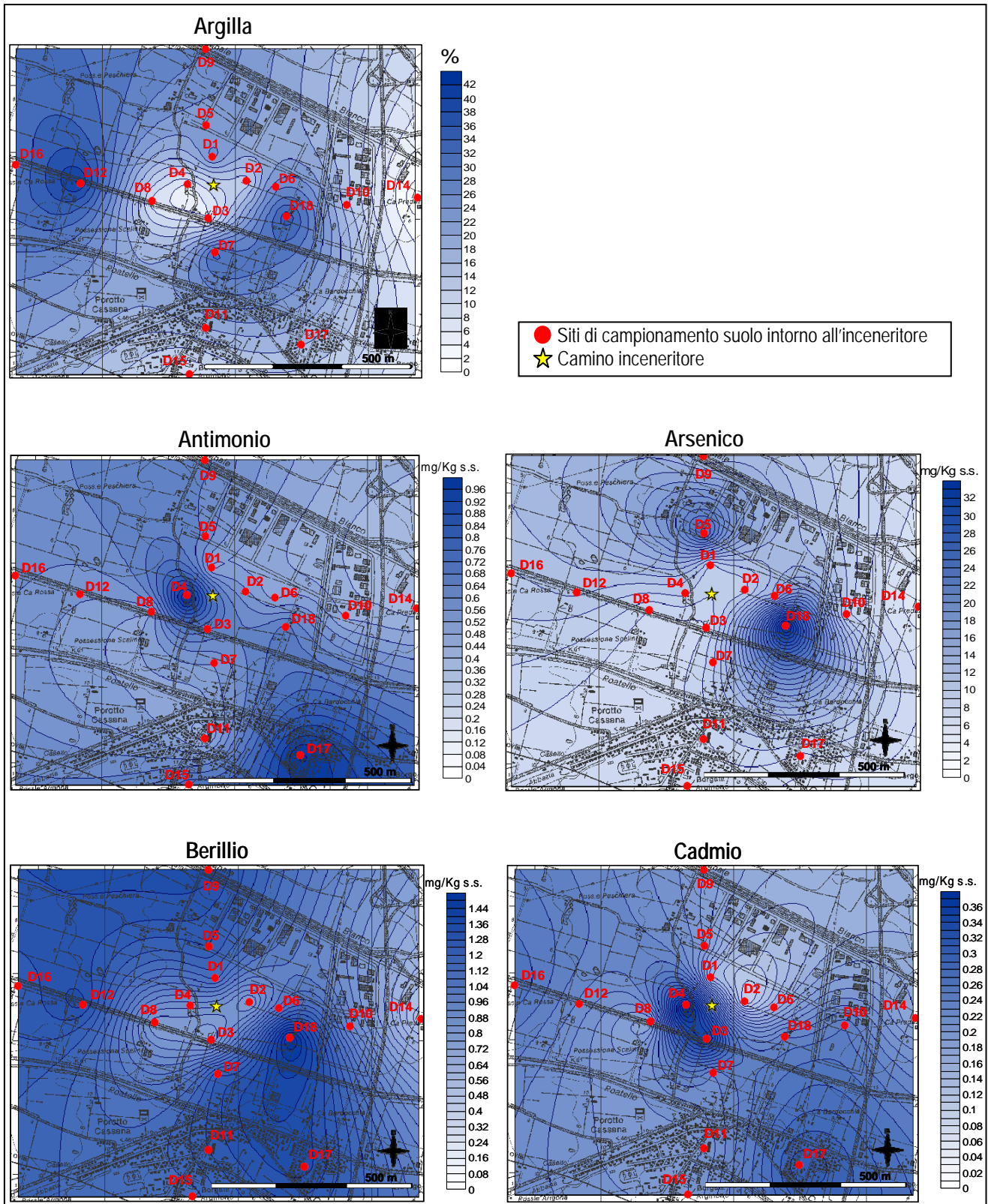
Correlazioni significative per *berillio*, *cobalto*, *cromo*, *nichel*, *tallio*, *vanadio* (ed anche con *l'arsenico* se si escludono i siti D5 e D18 secondo quanto mostrato dal grafico della retta di regressione) sono state registrate con la tessitura del suolo, in particolare con *l'argilla* e, in negativo, con la *sabbia*; deboli sono le correlazioni con il pH; infine, si rilevano correlazioni tra *cadmio*, *piombo*, *stagno* e gli IPA, mentre *piombo* e *rame* correlano con le *diossine* e *furani*.

Non è inoltre possibile stabilire una relazione significativa tra il camino dell'inceneritore e le concentrazioni rilevate per ogni metallo perché i valori delle concentrazioni non correlano con la distanza dalla sorgente emissiva.

### 3.3 Analisi spaziale

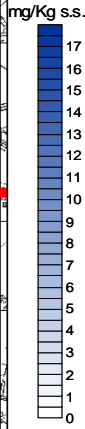
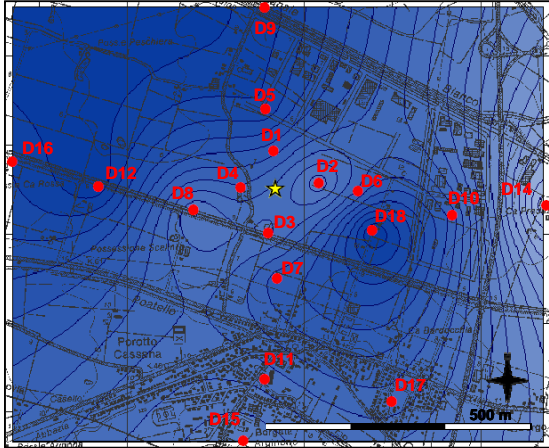
L'eventuale esistenza di relazioni spaziali fra le concentrazioni dei metalli, la distanza dal camino e la tessitura (per esempio percentuale di *argilla*) dei suoli indagati nell'area intorno all'inceneritore, emerge chiaramente dall'esame comparato delle immagini contenute in **figura 3.31**.

Figura 3.31 Mappe della distribuzione di argilla (%) e della concentrazione dei metalli (mg/Kg s.s.) – indagine 2010.

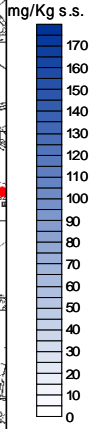
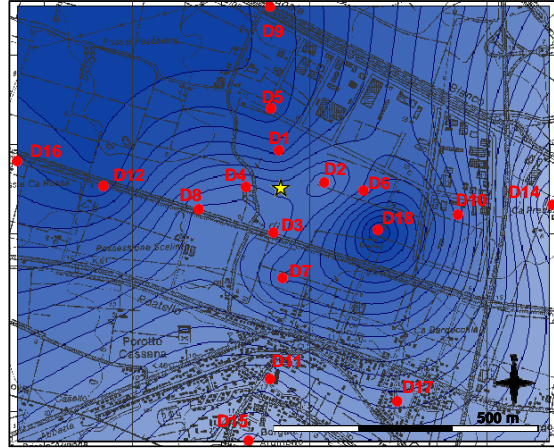




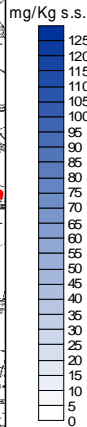
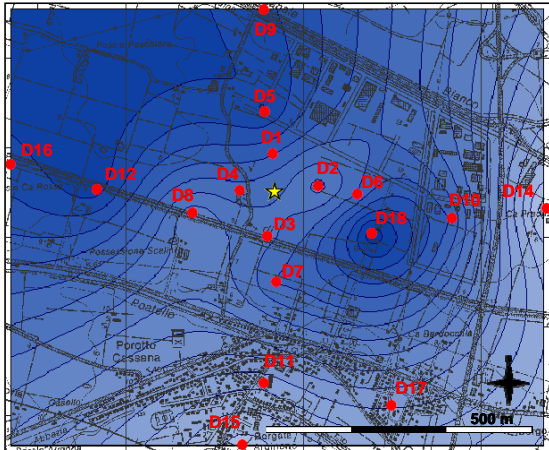
Cobalto



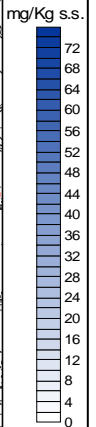
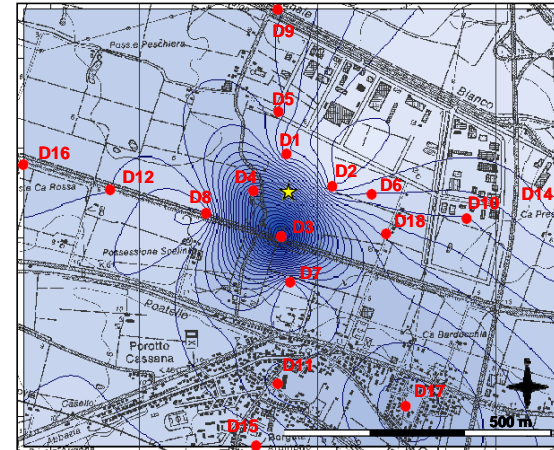
Cromo totale



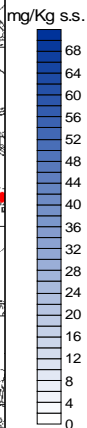
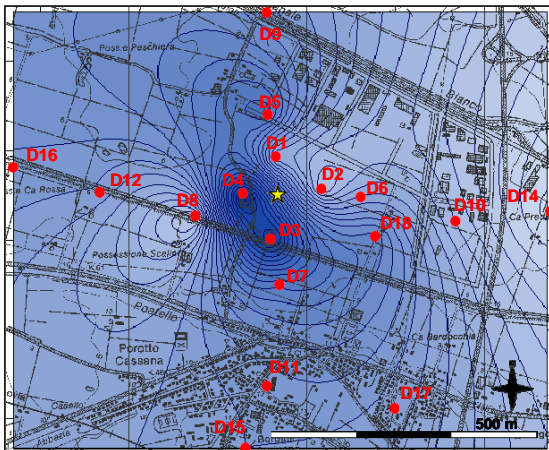
Nichel



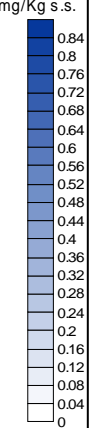
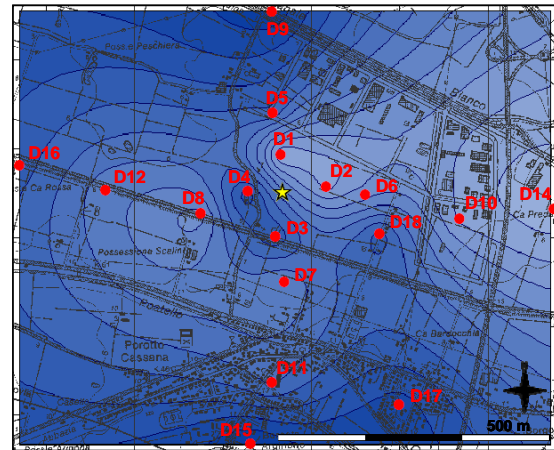
Piombo

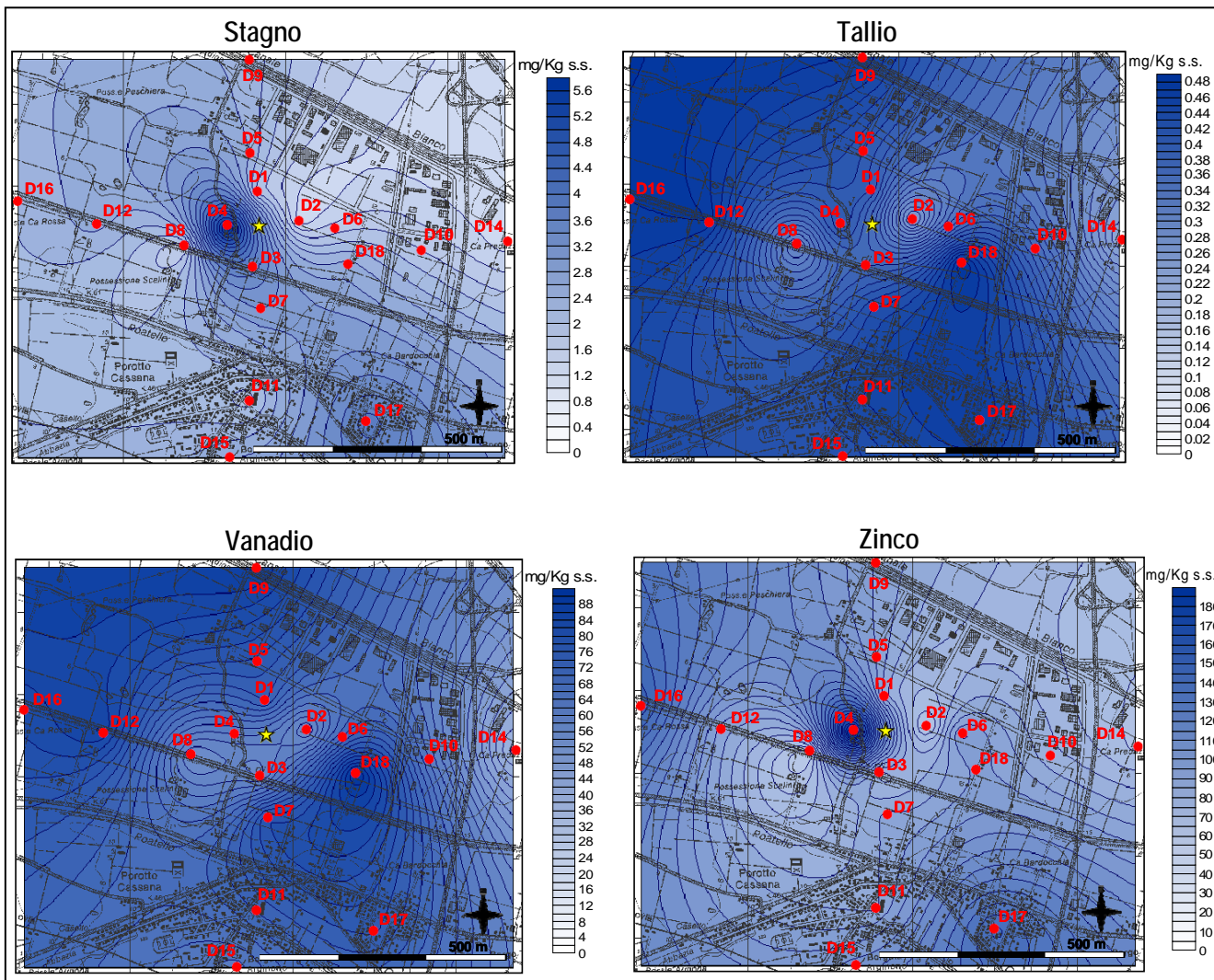


Rame



Selenio





Dalle mappe di isocentrazioni dei metalli risulta evidente che:

- c'è omogeneità di distribuzione con l'argilla per *berillio*, *cobalto*, *cromo totale*, *nicel*, *tallio* e *vanadio*; questo conferma ulteriormente quanto già affermato nell'analisi di correlazione in cui si ipotizza la presenza di questi elementi riconducibile al contenuto geochimico naturale dei sedimenti;
- in alcuni siti si individuano punti di maggiore concentrazione di *arsenico* (siti D5 e D18), *cadmio*, *piombo* e *rame* (D3 e D4), *stagno* e *zinco* (D4). Per tali metalli, per cui non c'è omogeneità di distribuzione con l'argilla, si nota che la loro incidenza maggiore è nell'intorno dei 250 m dal camino dell'inceneritore.

### 3.4 Analisi spaziale: confronto tra indagini del 2007 e del 2010

Per evidenziare e stimare eventuali cambiamenti di concentrazioni dal punto di vista spaziale, intercorsi nel triennio, vengono confrontati i valori di concentrazione di tutti quei metalli determinati nel 2007, che sono superiori al limite di quantificazione, con i valori di metalli determinati nel 2010.

Secondo quanto emerso dall'analisi spaziale del precedente paragrafo, per alcuni metalli come *arsenico*, *piombo*, *stagno* e *zinco*, la presenza di valori di 'picco' tenderebbe a nascondere eventuali aree con concentrazioni omogenee o significative e quindi ad alterare il confronto temporale tra i siti.

Avvalendosi dell'analisi statistica *Box-and-Whisker*, sono stati elaborati i dati dei metalli del 2007 e del 2010 che sono superiori ai limiti di quantificazione e che mostrano una distribuzione normale. Il risultato è mostrato nelle **figure 3.41 a e 3.41 b**, dove è possibile verificare graficamente la presenza di siti 'estremi', per i quali sono stati misurati dei valori anomali o comunque con un elevato grado di dispersione rispetto alla mediana.

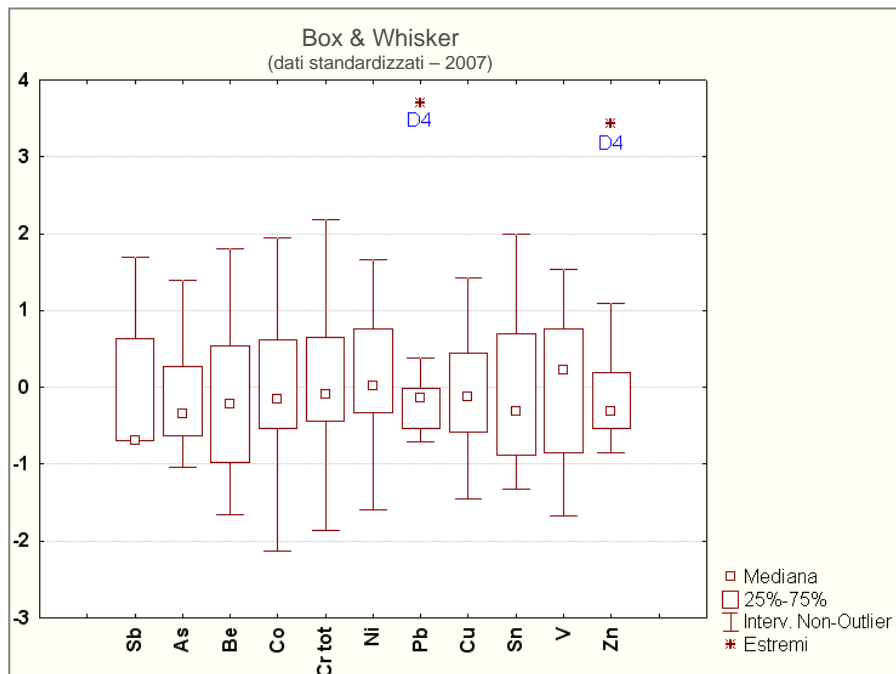


Figura 3.41 a Metalli: *Box-and-Whisker plot* – indagine 2007.

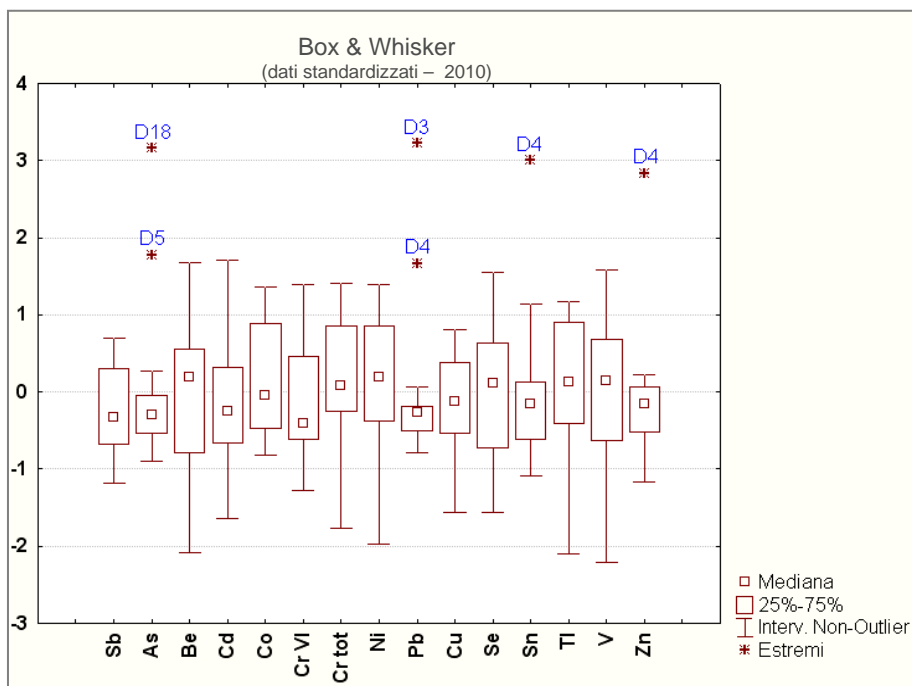


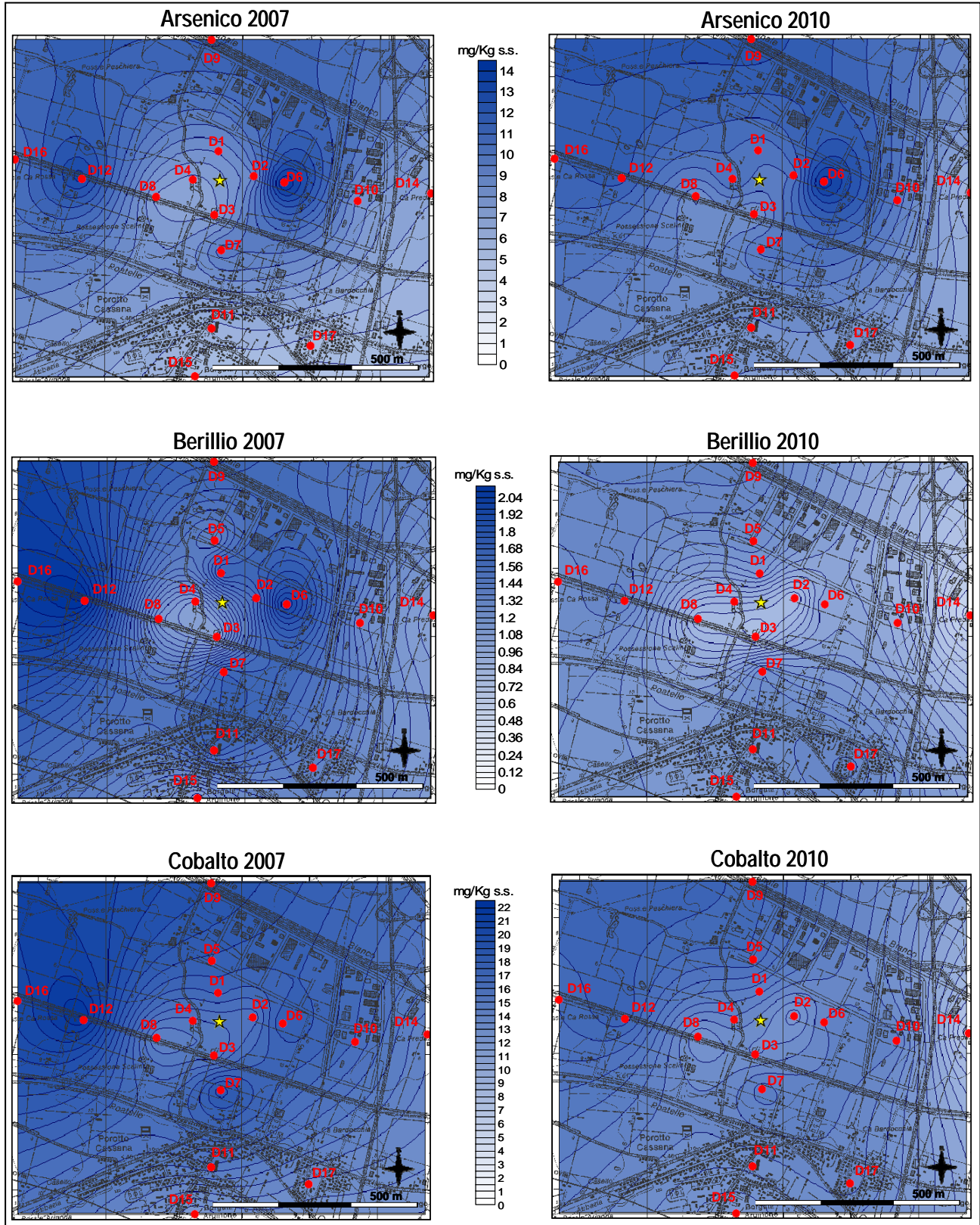
Figura 3.41 b Metalli: *Box-and-Whisker plot* – indagine 2010.



Tali siti sono pertanto stati esclusi dalle elaborazioni spaziali di confronto (immagini contenute in *figura 3.42*), nelle quali viene tralasciato anche il sito D18, poiché inserito solo nel 2010.

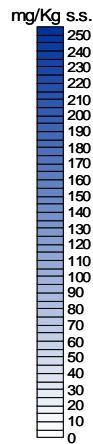
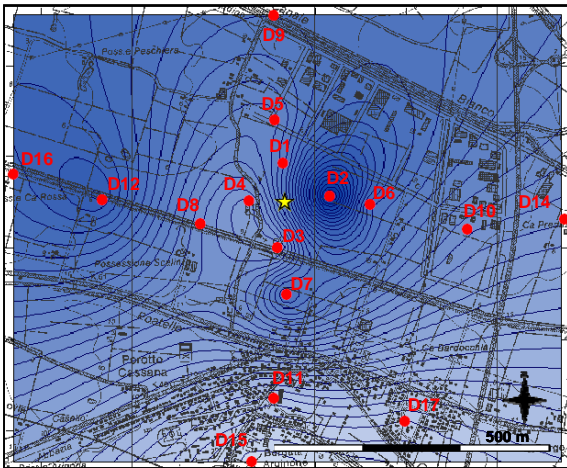
Figura 3.42 Mappe di isoconcentrazione dei metalli - indagini 2007 e 2010.

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

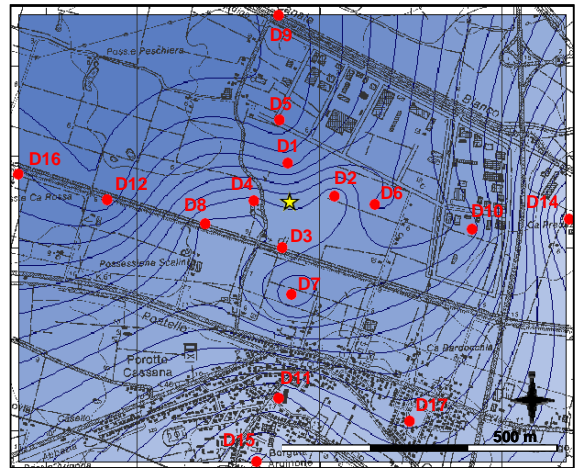




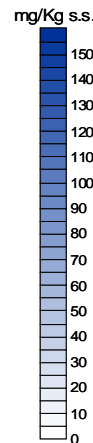
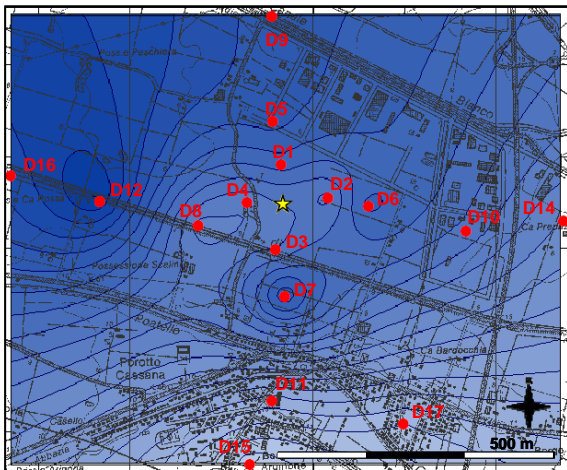
Cromo totale 2007



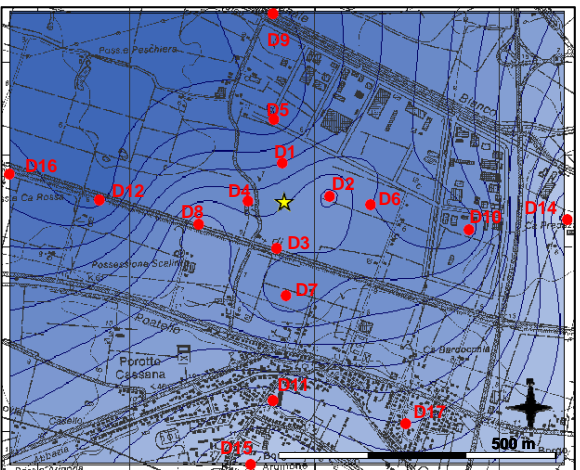
Cromo totale 2010



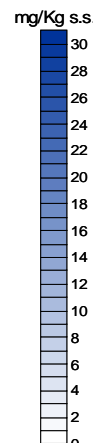
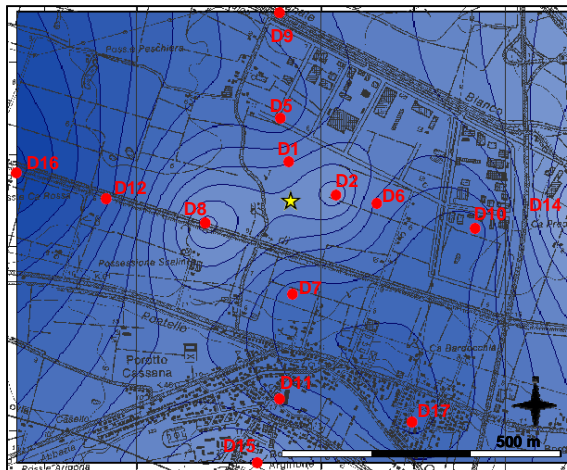
Nichel 2007



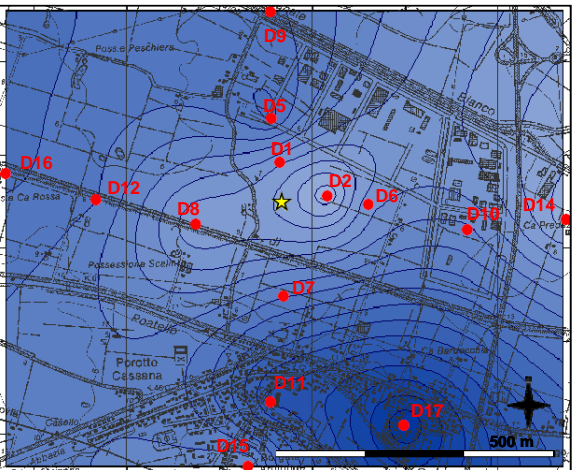
Nichel 2010



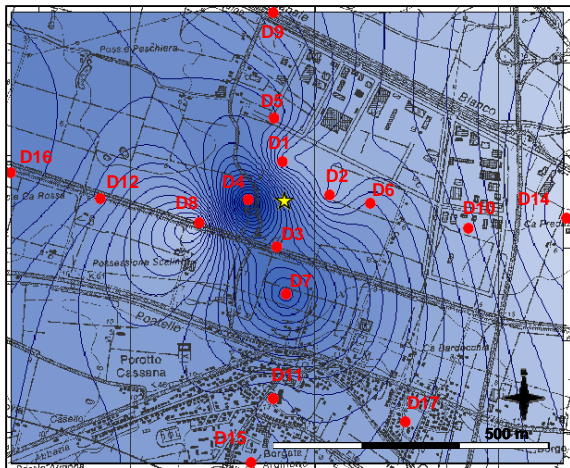
Piombo 2007



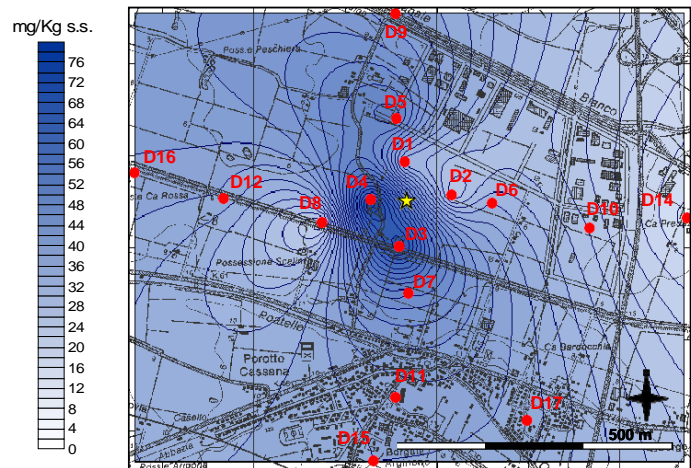
Piombo 2010



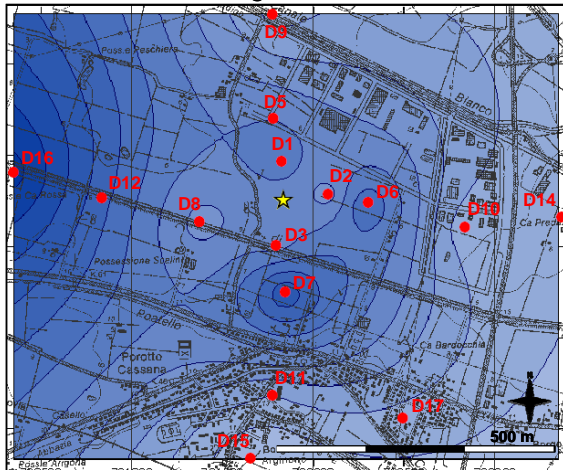
Rame 2007



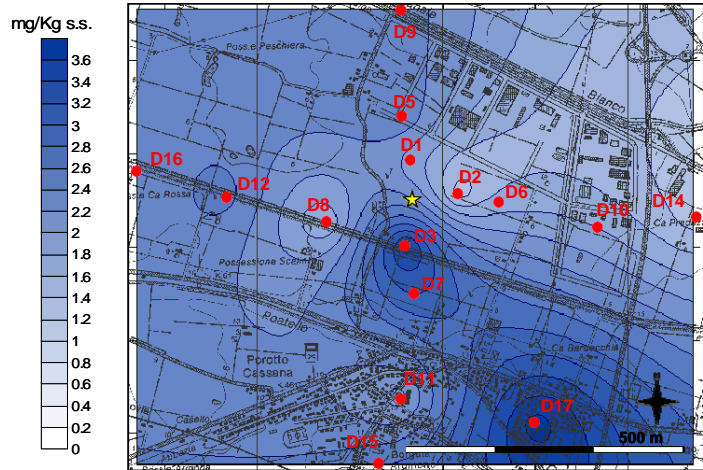
Rame 2010



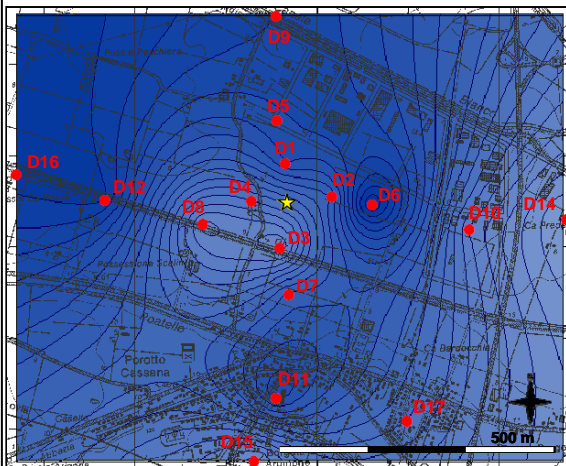
Stagno 2007



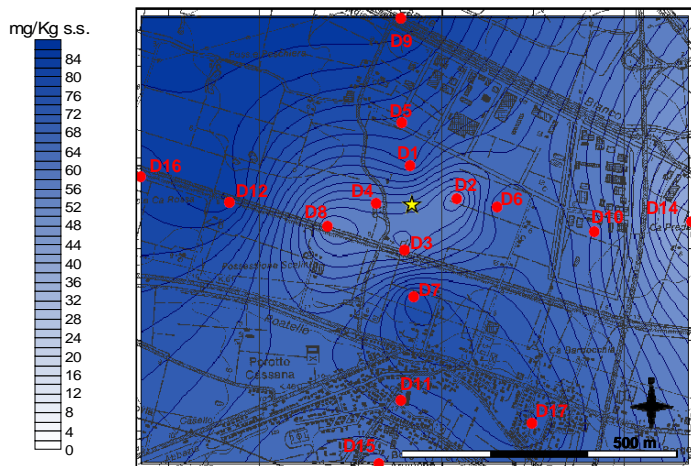
Stagno 2010



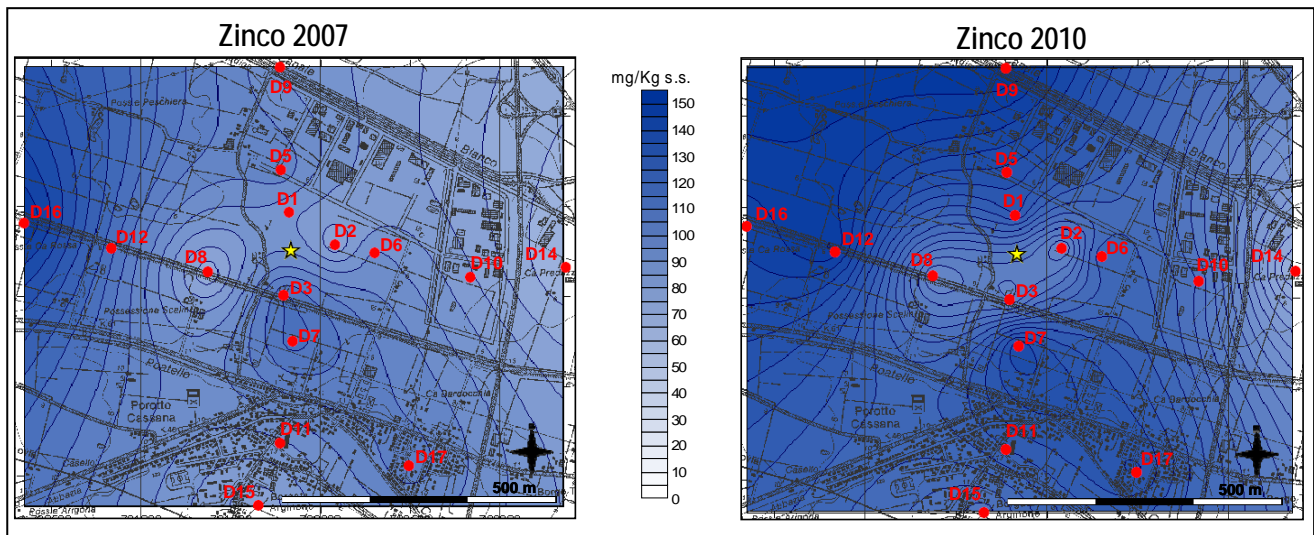
Vanadio 2007



Vanadio 2010







Dal confronto delle mappe si evince che, per quasi tutti i metalli considerati, in generale la situazione nel territorio d'indagine si mantiene pressoché costante nell'arco di tempo incluso nelle due campagne di campionamento. Nel dettaglio, per *berillio*, *cobalto*, *cromo totale* e *nichel* si ha una situazione migliorativa o comunque lo scarto che si ottiene tra i dati dei due periodi rientra nella percentuale di variabilità di errore associabile ad esempio all'incertezza analitica e alla variabilità nel campionamento.

Risulta interessante osservare quanto è emerso dall'analisi spaziale del *piombo*: i siti a maggior concentrazione sono, per il 2007, quelli relativi ad un'area rurale (a ovest dell'inceneritore), alla zone urbane di Porotto e Cassana ed alla PMI. Nel 2010 (si ricorda che sono esclusi i due *outliers* dei siti D3 e D4) i valori sono aumentati nelle due aree cittadine e diminuiti in quelle agricole. Ciò potrebbe ipotizzare un peggioramento dell'inquinamento di 'fondo' o l'esistenza di micro-contaminazione puntuale.

### 3.5 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 (indagine 2010) per scopi esplorativi, interpretativi e per ottenere eventuali conferme degli esiti delle altre procedure applicate.

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

L'esame della *figura 3.51*, che contiene il dendrogramma di alcuni metalli, la percentuale di *argilla* e il composto organico *benzo(a)pirene*, individua due raggruppamenti principali:

- un primo gruppo di metalli (cerchio arancione) meno rappresentativo della componente granulometrica più fine (vedi anche analisi di correlazione) e correlato con il *benzo(a)pirene* di origine antropogenica;
- un secondo gruppo di metalli (cerchio verde) con forte relazione con l'*argilla* e associabile al fondo naturale del suolo; si evidenzia il forte legame di similarità tra *cromo totale* e *nichel*, metalli rappresentativi della componente silicatica e ultrafemica (ofioliti) dei sedimenti alluvionali del Po [7].

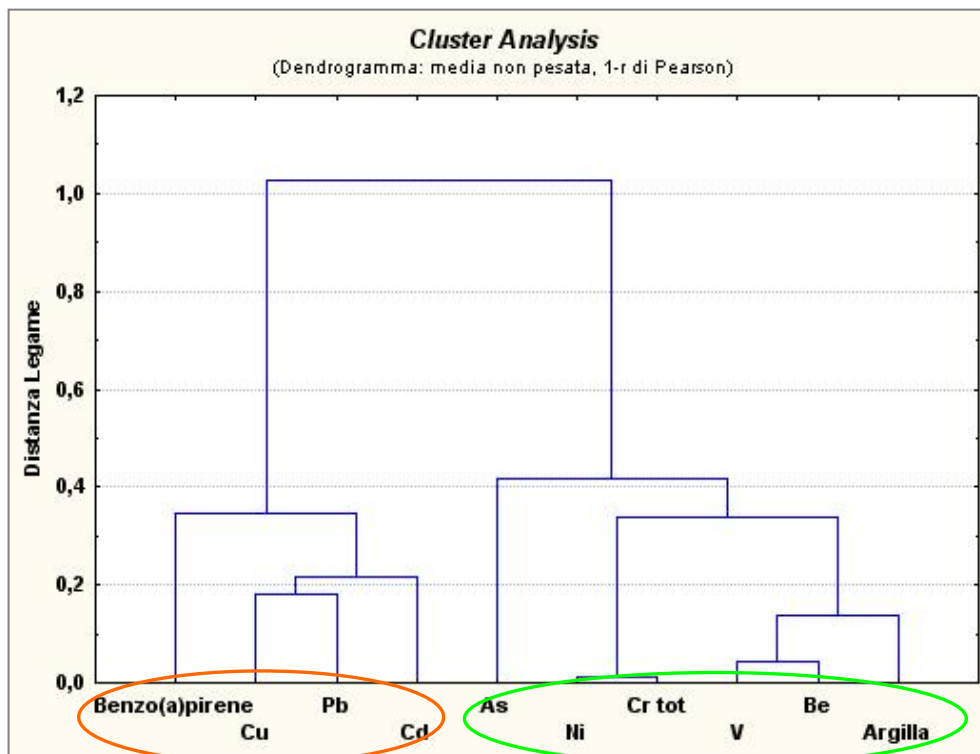


Figura 3.51 Cluster Analysis di alcune variabili indagate.

Questo risultato è confrontabile con quello ottenuto nell'indagine di Via Conchetta, dove si sono visti raggruppare gli stessi profili di composizione dei metalli.

Tutto ciò risulta ulteriormente in accordo con l'applicazione della *Factor Analysis* e contigua *Principal Components Analysis* (PCA), finalizzate a ridurre il numero di variabili riconducibili a fattori comuni di correlazione reciproca, ordinati in funzione della loro capacità di spiegare la varianza mostrata.

In sintesi, dalla *matrice dei pesi fattoriali* (peso del contributo sulla componente principale) **figura 3.52 a**, e dallo *scatterplot* dei pesi fattoriali (corrispettiva proiezione planare) **figura 3.52 b**, è possibile individuare delle variabili che mostrano una forte correlazione con uno stesso fattore; tali fattori contribuiscono a fornire indicazioni aggiuntive circa la natura delle cause esogene responsabili del comportamento osservato.

Variable	Pesi Fattoriali (Varimax normalizz.) Estrazione: Componenti principali (Pesi marcati >,700000)	
	Fattore 1	Fattore 2
Argilla	0,9077	-0,2389
As	0,7370	0,0021
Be	0,8474	-0,1083
Cd	0,0307	0,9118
Cr tot	0,8864	0,0873
Ni	0,8768	0,1659
Pb	-0,1063	0,9258
Cu	0,2837	0,8790
V	0,9440	-0,0364
Benzo(a)pirene	-0,2455	0,8393

Figura 3.52 a Matrice dei pesi fattoriali (in rosso sono evidenziati i pesi fattoriali maggiori di 0,7).

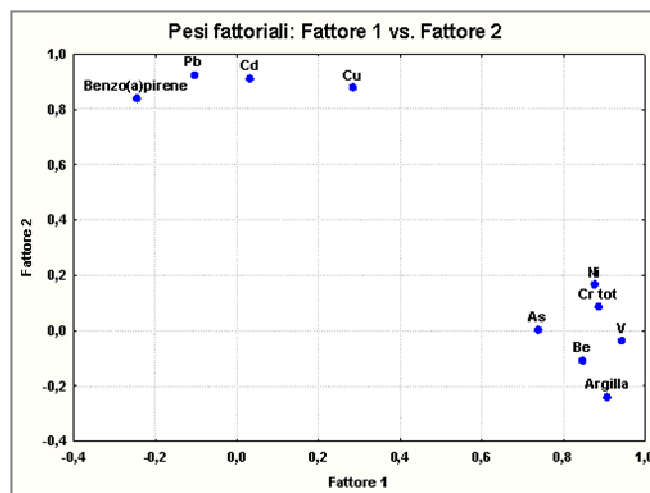


Figura 3.52 b Scatterplot dei pesi fattoriali.



Analogamente, l'analisi PCA mostra una riduzione della variabilità della matrice di dati considerata a due componenti principali (fattori): sul primo fattore pesano maggiormente il gruppo di metalli correlati con l'argilla; sul secondo, presumibilmente associabile a fonti di origine antropica, il restante gruppo di variabili, **figura 3.53 a**.

Inoltre, dal piano di proiezione delle osservazioni (siti di campionamento), per le stesse variabili, si osserva che la seconda componente principale (fattore 2) distingue nettamente i siti in due gruppi: i punti D3 e D4 pesano maggiormente rispetto agli altri punti, **figura 3.53 b**.

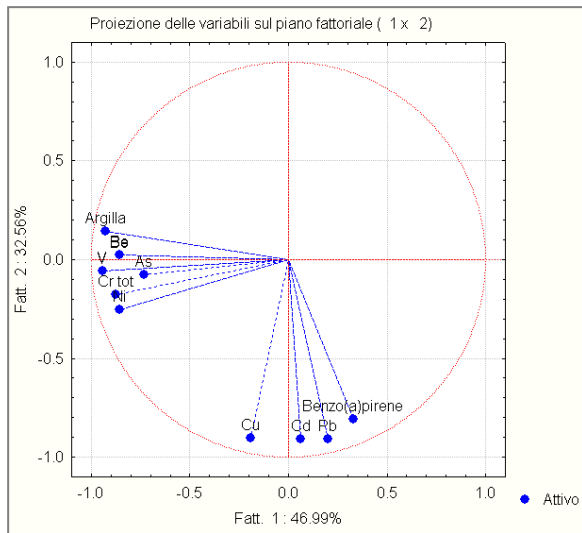


Figura 3.53 a *Loading plot* delle variabili.

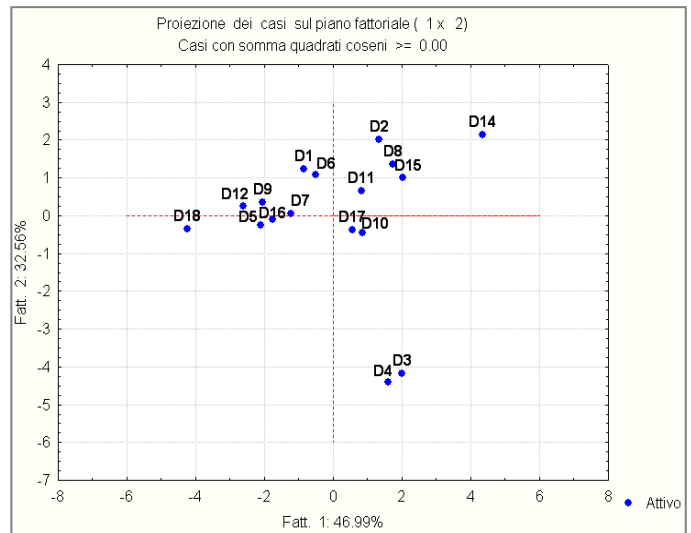


Figura 3.53 b *Score plot* delle osservazioni.

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

Nella tabella di **figura 4.1** sono riportati i valori delle *diossine* e dei *furani* ricercati riferiti alla sostanza secca (pg/g s.s.), non comprensivi dello scheletro (diversamente da quanto richiesto dal D.Lgs 152/2006), così come forniti dal laboratorio nei Rapporti di Prova, inclusi quelli trovati inferiori ai limiti di quantificazione analitica (celle a fondo giallo). In base al D.Lgs. 152/2006, tabella 1 dell'Allegato 5 della Parte Quarta, i siti sono stati classificati in relazione alla specifica destinazione d'uso dell'area dove sono ubicati in:

- tipo “A”, siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale;
- tipo “B”, siti ad uso commerciale e industriale.

In base alle due tipologie, la tabella 1 riporta le Concentrazioni Soglia di Contaminazione nel suolo (CSC) riferite alla sommatoria di PCDD e PCDF, espresse in Equivalenti di Tossicità: per siti di tipo ‘A’ è indicato il valore soglia di  $1 \times 10^{-5}$  mg/Kg s.s. (pari a 10 pgTEQ/g s.s.) e per siti di tipo ‘B’ il valore soglia di  $1 \times 10^{-4}$  mg/Kg s.s. (pari a 100 pgTEQ/g s.s.).

Le metodiche analitiche utilizzate dal laboratorio sono le stesse già utilizzate per la precedente indagine di Via Diana; tuttavia, in alcuni casi, i limiti di quantificazione dei singoli congeneri non coincidono con quelli rilevati nel 2007, come prevedibile normalmente dalle specifiche del metodo.

PCDD/PCDF	2,3,7,8-TCDD		1,2,3,7,8-PeCDD		1,2,3,4,7,8-HxCDD		1,2,3,6,7,8-HxCDD		1,2,3,7,8,9-HxCDD		1,2,3,4,6,7,8-HxCDD		OCDD	2,3,7,8-TCDF		1,2,3,7,8-PeCDF		2,3,4,7,8-PeCDF		1,2,3,4,7,8-HxCDF		1,2,3,6,7,8-HxCDF		2,3,4,6,7,8-HxCDF		1,2,3,7,8,9-HxCDF		1,2,3,4,6,7,8-HxCDF		OCDF	WHO-TEQ (valori <1q=1/2 l.q.)	I-TEQ (valori <1q=1/2 l.q.)
	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/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.			
D1	<1,2	12,7	<0,7	3,2	5,7	23,9	58,6	<1,3	7,2	29,5	<0,9	<0,9	5,8	<0,9	21,1	<0,9	20,3	24,55	24,30													
D2	<1,6	2,2	<0,9	3,0	<0,9	5,1	43,6	<1,7	6,6	<1,7	<1,1	<1,1	3,0	3,2	3,6	<1,1	26,5	4,77	4,02													
D3	<1,1	4,8	<0,8	3,3	1,9	23,1	58,2	<1,2	7,7	29,0	11,5	10,7	15,5	3,7	47,8	4,8	32,2	19,83	23,44													
D4	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	18,8	<0,8	114,5	4,2	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	6,1	<0,9	18,3	<0,9	71,2	4,32	4,35													
D5	<2,0	<2,0	<1,2	<1,2	7,5	9,6	33,0	3,9	4,8	<2,2	<1,5	3,7	<1,5	<1,5	9,3	<1,5	25,4	4,54	4,40													
D6	<1,1	<1,1	<0,7	<0,7	0,9	3,4	51,6	<1,1	<1,1	<1,1	4,1	1,1	<0,8	2,9	10,6	5,6	14,1	2,56	2,45													
D7	<1,1	<1,1	<0,8	<0,8	10,3	4,8	29,0	<1,2	<1,2	<1,2	<0,9	<0,9	<0,9	5,1	9,3	<0,9	30,9	3,28	3,18													
D8	<1,3	4,0	16,5	2,7	4,9	3,4	45,0	<1,3	1,4	<1,3	<0,9	1,5	<0,9	<0,9	7,5	2,9	40,2	7,81	6,03													
D9	<1,5	<1,5	<1,0	<1,0	1,6	<1,0	41,2	<1,6	<1,6	<1,6	<1,3	<1,3	5,9	<1,3	9,8	<1,3	41,0	3,02	2,88													
D10	<1,2	<1,2	<1,0	1,7	<1,0	8,0	31,6	<1,3	<1,3	6,3	<1,0	2,5	<1,0	<1,0	4,8	<1,0	10,7	3,99	4,99													
D11	2,6	4,1	<0,8	<0,8	<0,8	10,5	64,9	5,1	<1,1	<1,1	4,9	<0,8	3,5	<0,8	<0,8	3,6	25,8	8,60	6,74													
D12	<1,6	5,2	<0,9	<0,9	8,0	6,7	72,1	<1,5	<1,5	3,6	2,8	<1,1	<1,1	5,4	10,7	1,7	30,0	9,22	7,43													
D13	<0,8	<0,8	<0,8	5,5	<0,8	<0,8	6,1	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1,0	11,5	1,79	1,69													
D14	<1,1	2,5	<0,9	3,3	1,1	5,1	29,5	<1,1	<1,1	<1,1	<0,9	<0,9	<0,9	2,2	5,1	<0,9	12,1	4,25	3,15													
D15	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	3,8	22,9	<1,1	<1,1	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	5,2	<1,0	13,7	2,06	2,10													
D16	<1,2	6,8	<0,7	<0,7	12,1	4,1	43,8	1,7	2,2	<1,2	<0,8	<0,8	1,8	<0,8	4,5	<0,8	23,4	9,51	6,32													
D17	<1,0	<1,0	<1,1	1,5	1,3	8,8	59,6	<1,0	<1,0	2,7	1,5	<1,0	<1,0	<1,0	5,7	1,1	8,3	2,69	3,03													
D18	<1,2	<1,2	<0,8	<0,8	<0,8	5,5	68,5	<1,3	<1,3	<1,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	4,4	<1,0	43,8	1,94	1,86													
D19	<0,8	<0,8	<1,0	4,6	<1,0	17,2	174,1	<0,8	<0,8	<0,8	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	5,6	<0,9	7,8	2,00	2,01													
D20	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	23,7	141,8	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	7,8	9,2	20,1	2,18	2,14													

Figura 4.1 PCDD e PCDF: risultati dei rilievi.

Per l'elaborazione sono calcolate le sommatorie dei composti espresse in Equivalenti di Tossicità (WHO-TEQ e I-TEQ), ottenute moltiplicando la concentrazione di ogni componente della miscela per i Fattori di Tossicità Equivalente (TEF), **figura 4.2**. Le concentrazioni di analiti inferiori al limite di quantificazione sono state sostituite con valori pari alla metà del limite.

Osservando la tabella (**figura 4.1**) si rileva che:

- la 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina, congenere di maggiore interesse tossicologico, è sempre inferiore ai rispettivi limiti di quantificazione analitici, ad eccezione del sito D11 (dove non era stato rilevato nel 2007); il valore rilevato in questo caso è estremamente contenuto, di pochissimo superiore al limite di quantificazione;
- le concentrazioni dei congeneri *epta-* e *octa* cloro sostituiti PCDD e PCDF, composti meno tossici e indicativi di inquinamento remoto nel tempo, risultano tendenzialmente maggiori in tutti i campioni;

- i due sistemi di calcolo delle sommatorie PCDD e PCDF (WHO-TEQ e I-TEQ) hanno avuto, rispettivamente, massimi di 24,55 e 24,30 pg/g s.s., con medie di 6,14 e 5,83 pg/g s.s. e minimi di 1,79 e 1,69 pg/g s.s..

PCDD/F	I-TEFs (NATO/CCMS ,1988)	WHO-TEFs (Van den Berg <i>et al.</i> ,2006)
2,3,7,8-TCDD	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	0,5	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,01
OCDD	0,001	0,0003
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,03
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	0,3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,01
OCDF	0,001	0,0003

(T = tetra, Pe = penta, Hx = hexa, Hp = hepta, O = octa)

Figura 4.2 Fattori di Tossicità Equivalente dei congeneri PCDD e PCDF, secondo NATO e WHO [9].

In *figura 4.3* è confrontata la somma delle concentrazioni rilevate nel 2010, espresse in Equivalenti di Tossicità secondo WHO-TEQ (i TEF utilizzati sono fissati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità), rispetto a quella delle concentrazioni WHO-TEQ rilevate nel 2007; a scopo indicativo viene riportato il limite del D.Lgs 152/2006 per i siti di tipo 'A' (riga arancione).

In *figura 4.4* è confrontata la somma di tutti i valori analitici del 2010, ottenuta senza moltiplicare le concentrazioni di ogni congenere per i Fattori di Tossicità Equivalente, con quella del 2007. Laddove i limiti di quantificazione di un singolo congenere sono risultati diversi nei due periodi d'indagine, è stato considerato il limite più elevato e sostituito con la metà dello stesso.

Figura 4.3

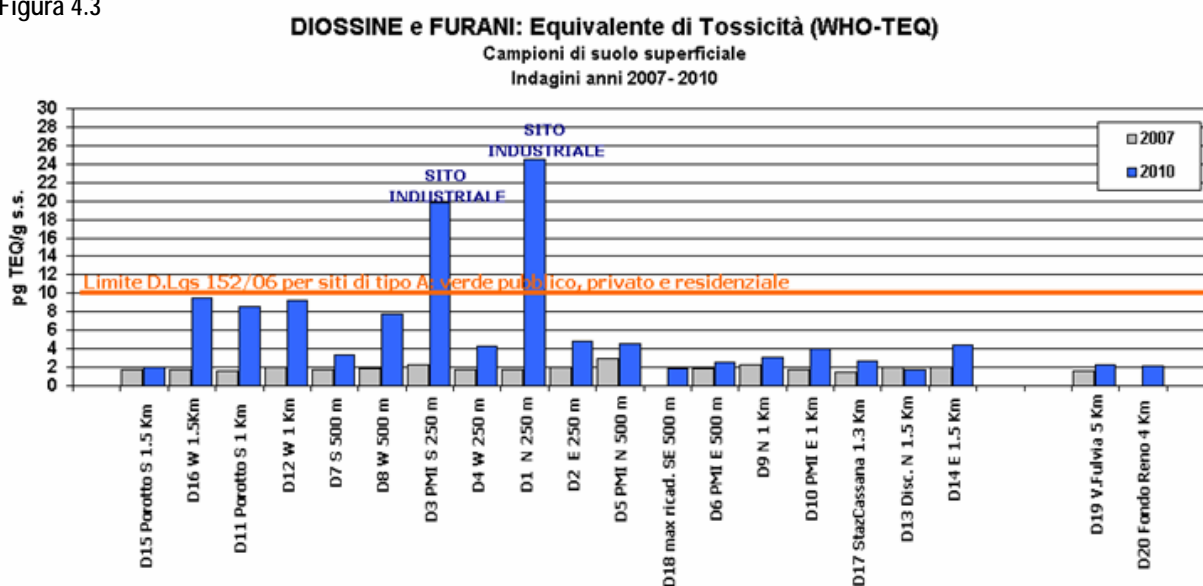
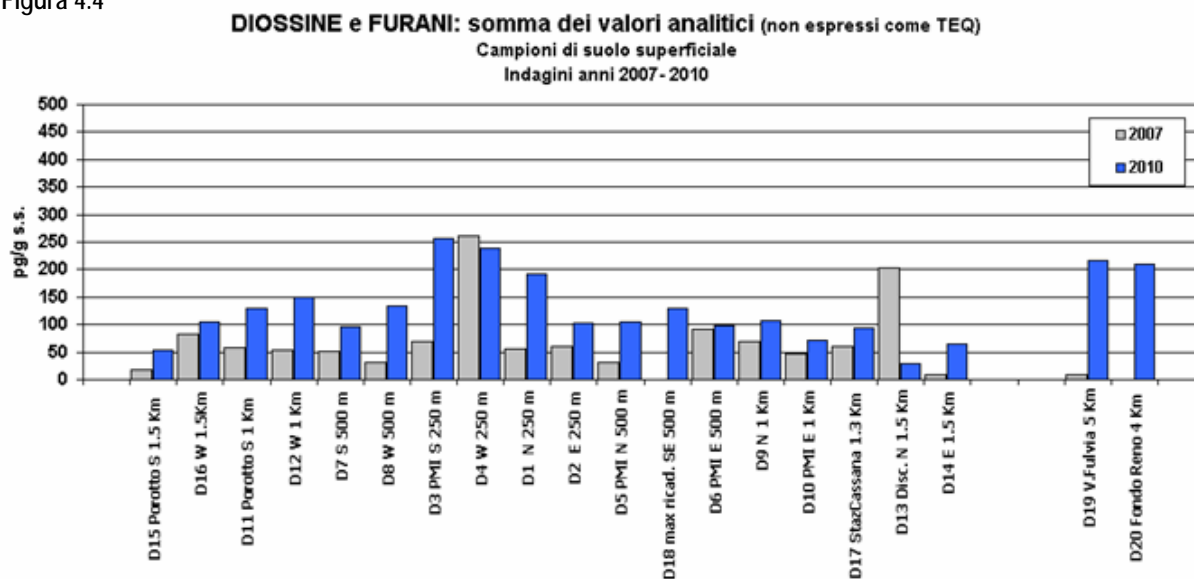


Figura 4.4



Dalle due rappresentazioni grafiche si può osservare che:

- 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 i punti D1 e D3 si hanno concentrazioni superiori, ma si tratta di siti ubicati in area industriale (raggio di 250 m dal camino) il cui limite normato è pari a 100 pg TEQ/g s.s.;
- rispetto ai valori del 2007, si è registrato un incremento della somma dei congeneri in quasi tutti i siti (*figura 4.4*), eccetto per il punto D13, soprattutto in quelli situati tra i 250 m e i 500 m nell'area di influenza dell'impianto, e nelle zone a ovest e a sud rispetto al camino;
- l'incremento dei valori riscontrati a Villa Fulvia, D19 (zona di *Fondo urbano* in area parco) e a Fondo Reno, D20 (denominato 'punto di controllo') è da attribuire esclusivamente alla presenza dei congeneri *epta-* e *octa* cloro sostituiti PCDD e PCDF, diversamente da quanto determinato nei siti D1 e D3 in cui anche altri congeneri incidono sulle sommatorie.

A questo proposito è necessario ricordare che PCDD e PCDF sono sottoprodotti indesiderati di reazioni chimiche, termiche (incompleta combustione di materiale organico in presenza di cloro), fotochimiche ed enzimatiche; pertanto le principali fonti di emissione sono riconducibili, oltre a sorgenti di combustione industriali che operano ad alta temperatura (incenerimento di rifiuti, oli combustibili, legno trattato, ecc...), anche a combustioni incontrollate e in difetto di ossigeno (incendi), ad attività domestiche di combustione, ad emissioni di veicoli a motore. Dopo l'emissione in atmosfera, questi microinquinanti possono inoltre essere trasportati per grandi distanze e, dopo successiva deposizione, possono trovarsi nell'acqua, nei suoli e nei sedimenti (ad esempio i congeneri *epta-* e *octa* cloro sostituiti PCDD e PCDF sono presenti principalmente nel particolato attraverso meccanismi di deposizione secca e umida) [10].

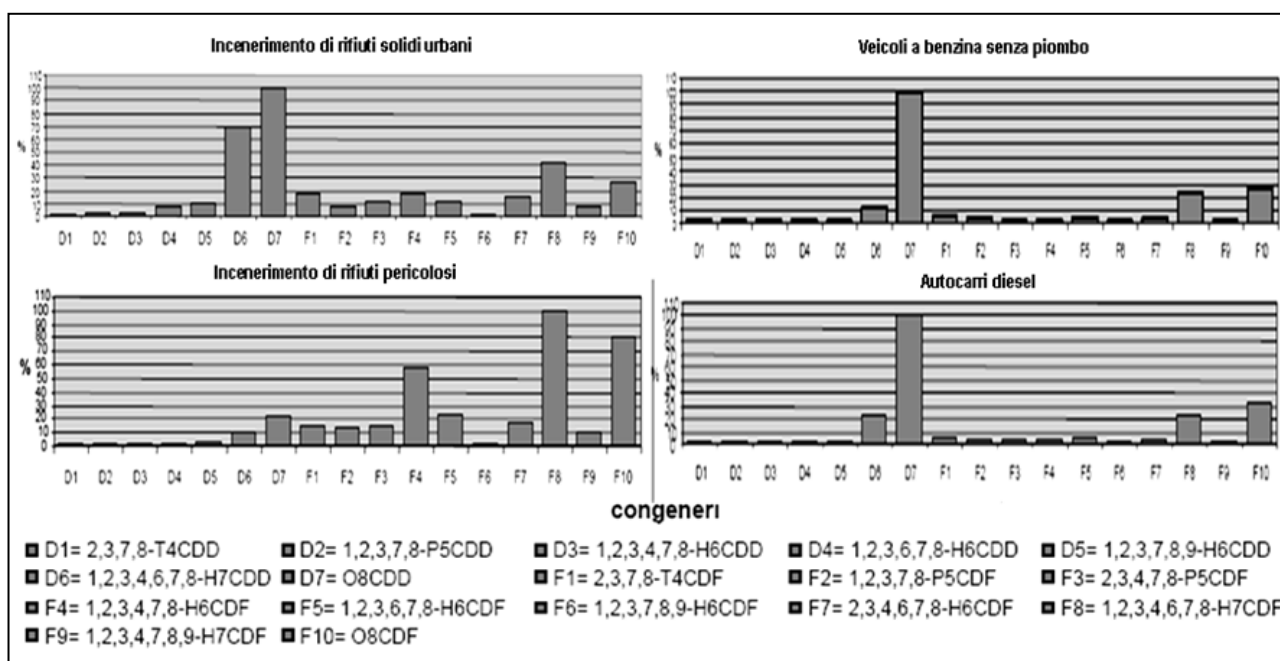
E' interessante sottolineare come la conoscenza dei profili emissivi dei congeneri può fornire utili informazioni circa il contributo di una specifica fonte di combustione e quindi si può tentare di risalire al tipo di processo che ha portato alla loro formazione.

È probabile che i profili immissivi riscontrabili nel monitoraggio di qualità dell'aria non coincidano con quelli riscontrati in altre matrici, ad esempio suoli, a causa del comportamento e del trasporto dei congeneri rispetto alle fonti di origine; tuttavia, se la sorgente è prossima alla matrice d'indagine e i congeneri rilevati sono quelli più pesanti, quindi meno volatili, e più stabili nell'ambiente, è ragionevole confrontare le fonti di emissione sulla base dei differenti congeneri



emessi con i profili dei congeneri determinati nel suolo superficiale, tipica matrice di accumulo di queste sostanze (le diossine hanno un'emivita di 9-15 anni), per individuare possibili relazioni tra la sorgente e la matrice suolo.

Vengono di seguito illustrati, in successione, i profili dei congeneri di *diossine* e *furani* riferiti a diverse fonti di emissione, **figura 4.5**, e i profili degli stessi composti rilevati al suolo nei siti posti nell'area di influenza di 250 m dal camino dell'inceneritore, nelle due aree urbane di Porotto e Cassana, a Villa Fulvia e a Fondo Reno, **figura 4.6**. Sono inoltre confrontati anche due siti indagati nell'indagine del 2006 ([http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=1986&idlivello=30](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1986&idlivello=30), Allegato Conchetta): i punti C17 e C18 posti a 10 m a est e a ovest dall'asse autostradale A13 ed il sito C19 nella zona di fondo rurale di Gherardi, **figura 4.7**.



**Figura 4.5** Profili dei congeneri di PCDD e PCDF, normalizzati rispetto al congenero predominante (100 %), rilevati in diverse tipologie di emissioni [11].

In **figura 4.5** si evidenzia che 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 congenero 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 caratterizzano rispetto a quelli dei rifiuti pericolosi per la *octaclorodibenzodiossina*, componente principale della combustione di RSU, la quale è presente a livelli inferiori nel profilo della combustione di rifiuti tossici. Queste fonti emissive si distinguono dal traffico perché mostrano un profilo con un numero di congeneri di *diossine* e *furani* maggiore.

Considerando la matrice suolo, **figura 4.6**, sono evidenziati i profili, normalizzati rispetto al congenero predominante rilevato, dei siti :

- D1 e D3 i quali mostrano Equivalenti di Tossicità maggiori rispetto al 2007 (**figura 4.3**) e sono tra i valori più alti riscontrati nell'indagine del 2010;
- D2 e D4 che sono a distanza 250 m dal termovalorizzatore;
- D11, il quale è ubicato a circa 1 Km di distanza dal camino, nell'abitato di Porotto;
- D17, il quale è ubicato a circa 1,3 Km di distanza dal camino, nell'abitato di Cassana;

- D19, località Villa Fulvia, il quale è ubicato a circa 9 Km di distanza dal camino, presso la stazione (ARPA) di monitoraggio della qualità dell'aria (zona di *Fondo urbano* in area parco);
- D20, sito di Fondo Reno, il quale è ubicato in un'area in cui l'effetto dei 'confondenti' (altre fonti emissive, esempio autostrada A13) è analogo a quello registrato nei punti prossimi al camino, in base alla mappa della concentrazione media annua del PM10.

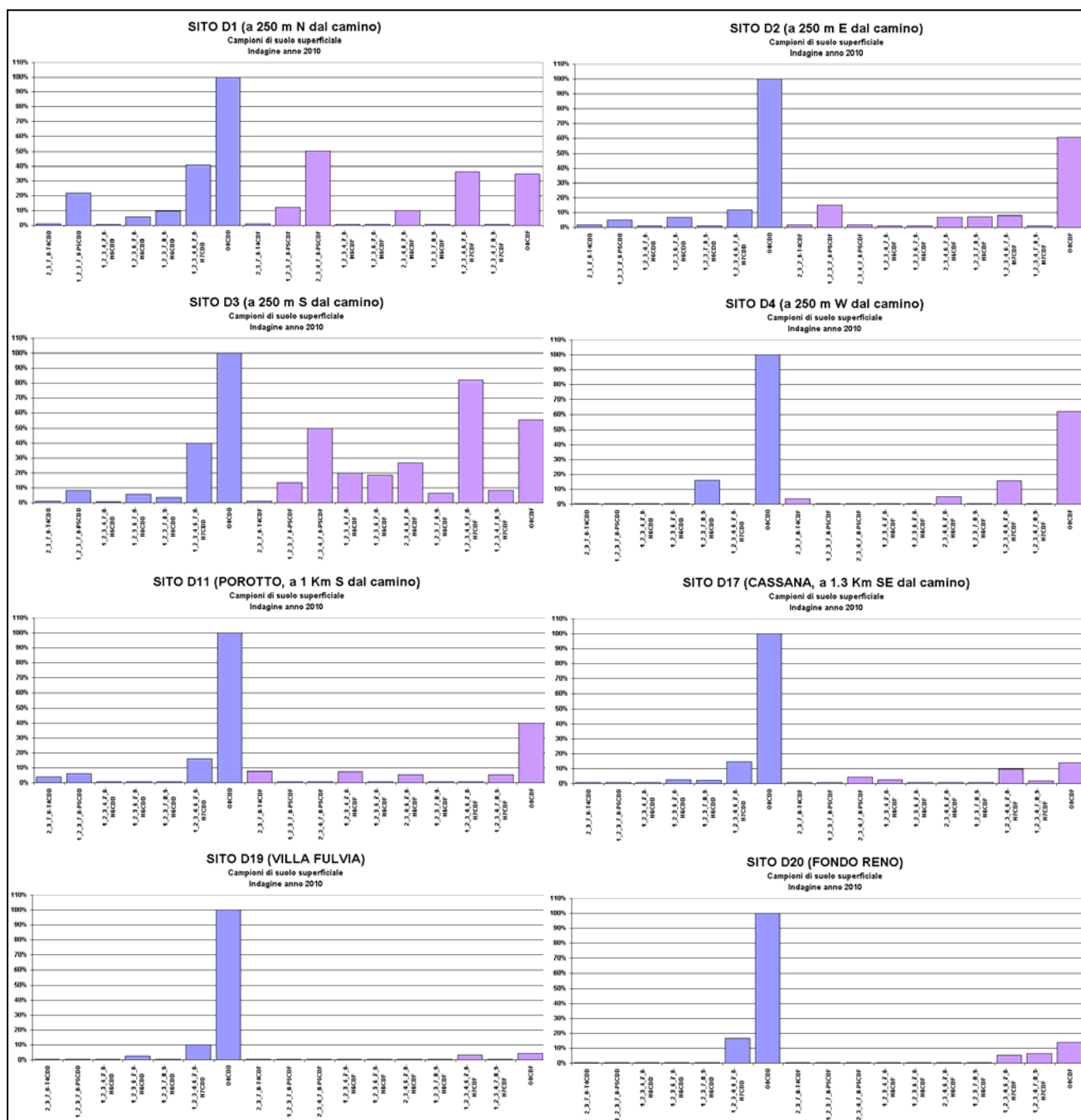


Figura 4.6 Profili dei congeneri di PCDD e PCDF, normalizzati rispetto al congener predominante (100 %), rilevati nel suolo superficiale durante le indagini di Via Diana (anno 2010).

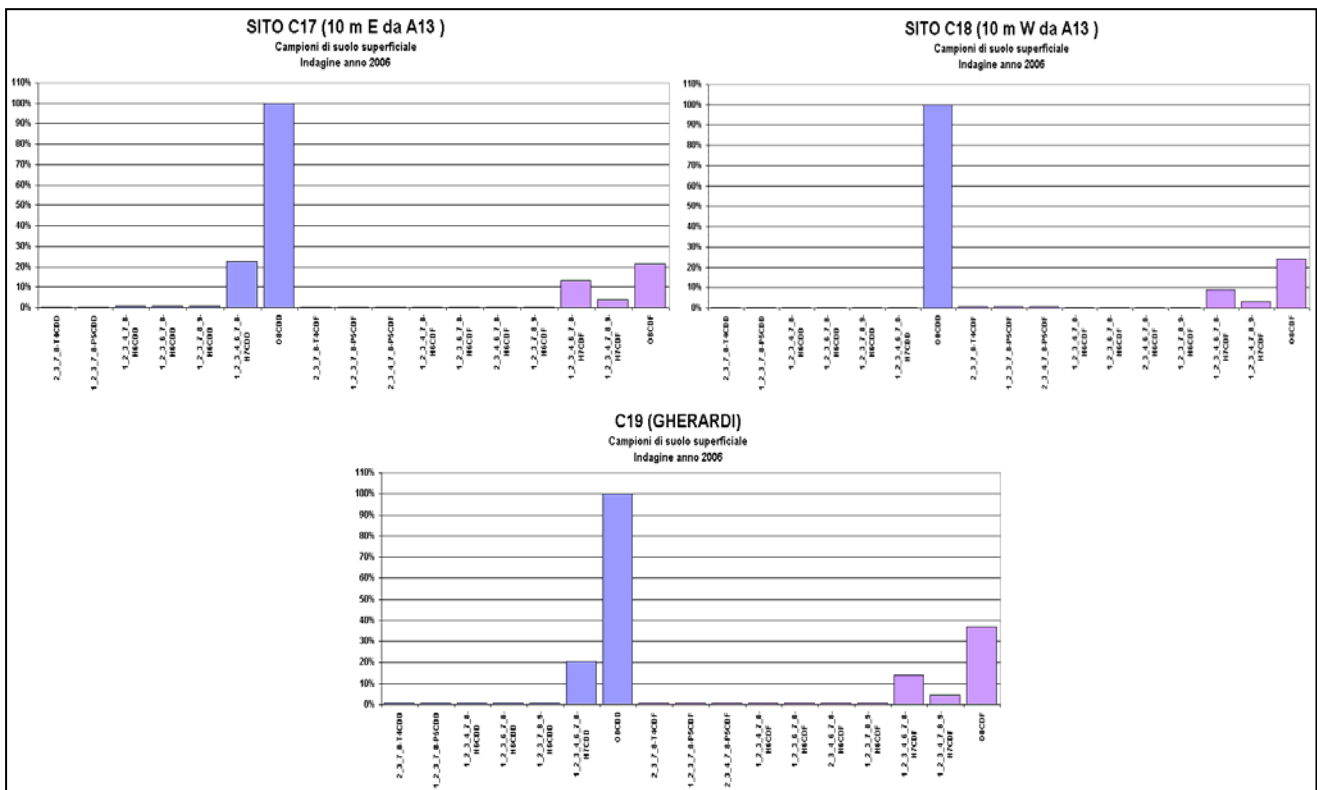


Figura 4.7 Profili dei congeneri di PCDD e PCDF, normalizzati rispetto al congenere predominante (100 %), rilevati nel suolo superficiale durante le indagini di Via Conchetta (anno 2006).

Tutti i siti sono caratterizzati dalla presenza della O8CDD in quantità maggiore; i siti D1 e D3 mostrano un profilo con un numero di congeneri maggiore, le cui quantità rispetto alla O8CDD sembrano sovrapporsi con buona approssimazione al profilo emissivo tipico di un inceneritore di RSU, **figura 4.5**. Il sito D20 di Fondo Reno mostra un profilo simile a quello dei siti D19, D17 (località Villa Fulvia e abitato di Cassana) e anche dei siti C19 (Gherardi), C17 e C18 (vicini all'asse autostradale), **figura 4.7**. In tutti questi siti il profilo è molto simile a quello delle sorgenti da traffico e a quello che si rileva in zone rurali e remote (emissioni di 'fondo') [12].

Il profilo del sito D11 non pare sovrapporsi con particolare spicco ad un'unica tipologia di fonte emissiva, seppur privilegiando un profilo maggiormente simile a quello da traffico piuttosto che da incenerimento di rifiuti.

In analogia a quanto fatto con i metalli, è stata effettuata un'analisi di correlazione fra la sommatoria dei valori analitici dei PCDD e PCDF (non espressa in TEQ), i congeneri maggiormente rilevati con le caratteristiche dei suoli e la distanza dal camino, tabella di **figura 4.8**.

Variabile	Distanza	pH	Sabbia	Limo	Argilla
Somma PCDD-PCDF	<b>-0.6338</b>	-0.1333	-0.0462	0.1655	-0.0811
O8CDD	-0.3901	-0.4747	-0.1761	0.2503	0.0583
1 2 3 4 6 7 8-H7CDD	-0.3197	0.2729	-0.0650	0.1609	-0.0446
O8CDF	-0.5162	-0.3155	-0.0796	0.1196	0.0201
1 2 3 4 6 7 8-H7CDF	-0.4959	0.1033	0.0853	0.0619	-0.2052

Figura 4.8 Coefficienti di correlazione 'r' tra la somma dei congeneri PCDD e PCDF, *epta*- e *octa* cloro sostituiti (non espressa in TEQ), con le caratteristiche dei suoli e la distanza dal camino (in rosso sono evidenziate le correlazioni significative a livello  $p > 0,01000$ ).

Per le *diossine e furani* non esistono correlazioni con le caratteristiche tessiturali del suolo ed il pH, mentre si evidenzia, come era emerso nell'indagine di Bando, una correlazione inversa della somma dei congeneri con la distanza dal camino.

Per rappresentare le caratteristiche dei suoli superficiali nell'intorno dell'inceneritore per questa tipologia di inquinanti, ci si è avvalsi dell'analisi statistica *Box-and-Whisker* mediante la quale è possibile verificare graficamente la presenza di siti 'estremi' per i quali si evidenzia un alto grado di dispersione rispetto alla mediana: è il caso dei siti D1 e D4 (*outliers*) e del sito D3 (estremo), **figura 4.9**. Si precisa che il valore medio della sommatoria dei PCDD e PCDF, corretta con i WHO-TEF, è di 4,4 pg TEQ/g s.s., escludendo i siti D1, D3 e D4.

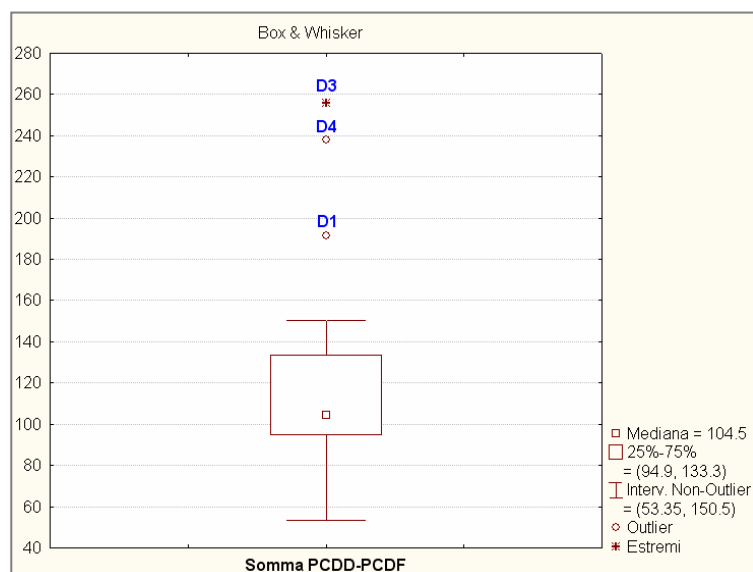
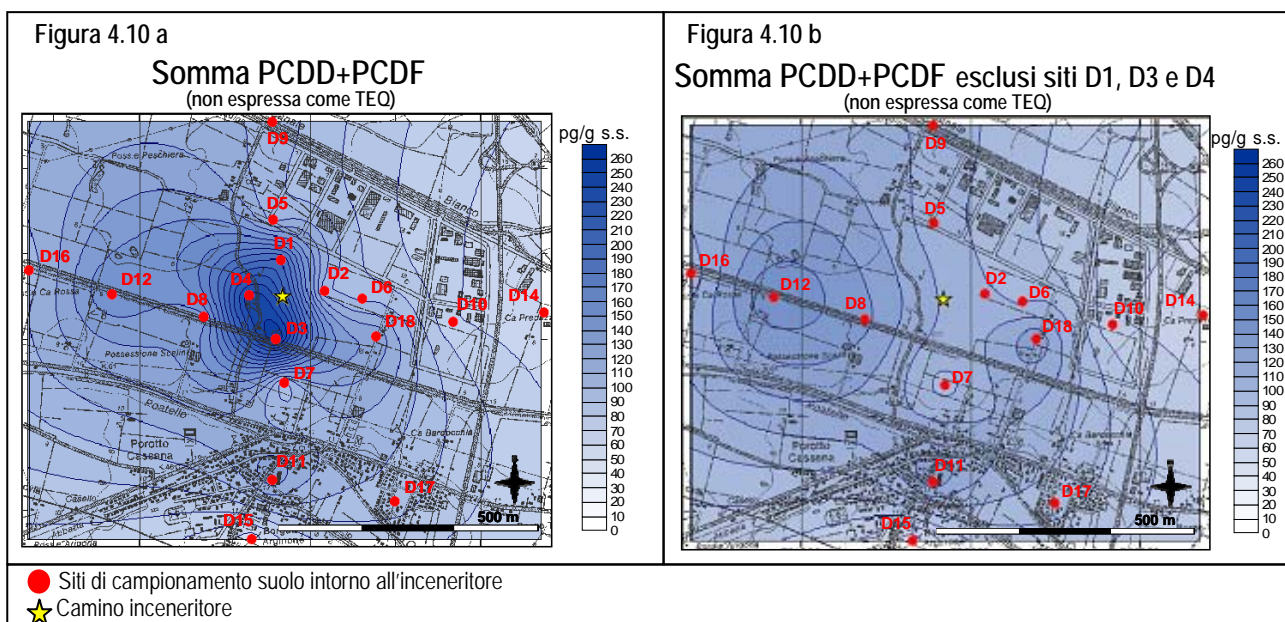


Figura 4.9 Somma dei congeneri PCDD e PCDF (non espressa in TEQ): *Box-and-Whisker plot*.

Nelle **figura 4.10 a** e **4.10 b** si riportano le *mappe di isoconcentrazione* della sommatoria dei congeneri PCDD e PCDF (senza calcolo con i TEF), rispettivamente, considerando tutti i siti nell'intorno dell'impianto di incenerimento ed escludendo siti D1, D3 e D4.





La correlazione inversa della sommatoria dei congeneri con la distanza dall'inceneritore non è significativa se si escludono i siti D1, D3 e D4, tabella di **figura 4.11**.

Variabile	Distanza	pH	Sabbia	Limo	Argilla
Somma PCDD-PCDF	-0.438348	0.073069	-0.394714	0.122067	0.598673
O8CDD	-0.159011	-0.268870	-0.412710	0.213636	0.535033
1_2_3_4_6_7_8-H7CDD	0.011295	-0.326088	-0.184222	0.338886	-0.018667
O8CDF	-0.508846	0.183533	-0.274356	0.043610	0.459724
1_2_3_4_6_7_8-H7CDF	-0.269095	0.606535	-0.208304	-0.013326	0.398144

Figura 4.11 Coefficienti di correlazione 'r' tra la somma dei congeneri PCDD e PCDF, *epta*- e *octa* cloro sostituiti PCDD e PCDF (non espressa in TEQ), con le caratteristiche dei suoli e la distanza dal camino (sono esclusi i siti D1, D3 e D4).

## 5. PCB (policlorobifenili)

Nella tabella di **figura 5.1** sono riportati i valori dei *policlorobifenili* (PCB) e dei dodici PCB *dioxin-like* (celle in viola) ricercati, espressi in ng/g su s.s.. Le metodiche analitiche utilizzate dal laboratorio sono state le stesse già utilizzate per la precedente indagine di Via Diana e le concentrazioni si riferiscono alla sostanza secca (ng/g s.s.) non comprensive dello scheletro. Sono indicati tutti i valori analitici, inclusi quelli trovati inferiori ai limiti di quantificazione analitica (celle a fondo giallo), corrispondenti agli stessi limiti espressi nel 2007.

PCB	T4CB-77	T4CB-81	P5CB-105	P5CB-114	P5CB-118	P5CB-123	P5CB-126	H6CB-(167+128)	H6CB-156	H6CB-157	H6CB-169	H7CB-189	T3CB-(31+28)	T4CB-52	P5CB-95	P5CB-101	P5CB-99	P5CB-110	H6CB-151	H6CB-149	H6CB-146	H6CB-(153+168)	H6CB-138	H7CB-187	H7CB-183	H7CB-177	H7CB-(180+193)	H7CB-170
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.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.
D1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,6	0,7	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D5	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D6	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D7	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D8	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D9	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D10	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D11	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D12	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D13	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D14	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D15	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D16	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D17	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	6,5	<0,3	0,3	0,9	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1,0	2,3	5,7	2,8	4,7	0,7	4,0	0,9	6,6	9,8	0,5	<0,3	0,4	1,3	1,0	<0,3
D18	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
D19	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3	0,4	<0,3	0,7	1,0	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3
D20	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Figura 5.1 PCB: risultati dei rilievi.

In **Appendice** vengono illustrate le sommatorie dei valori, confrontate con la destinazione d'uso dei suoli intesa ai sensi del D.Lgs. 152/2006, tabella 1 dell'Allegato 5 della Parte Quarta; i siti, infatti, sono stati classificati in relazione alla specifica destinazione d'uso dell'area dove sono ubicati in:

- tipo “A”, siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale;
- tipo “B”, siti ad uso commerciale e industriale.

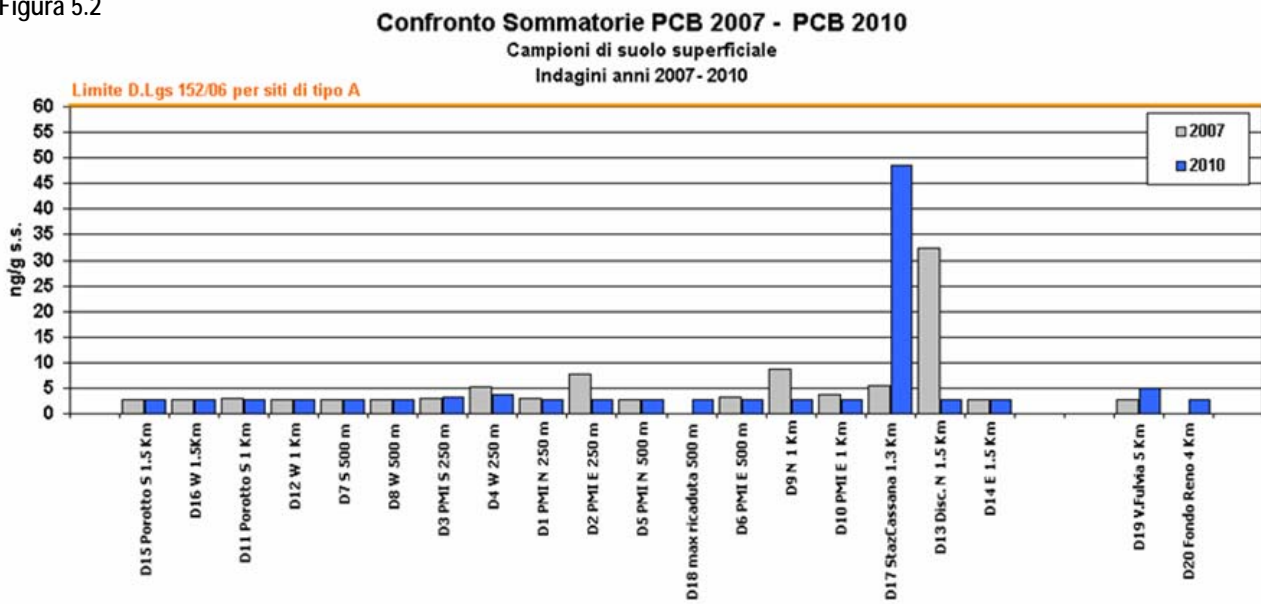
In base alle due tipologie, la tabella 1 riporta le Concentrazioni Soglia di Contaminazione nel suolo (CSC): per siti di tipo ‘A’ viene espresso il valore soglia di 0,06 mg/Kg s.s. (pari a 60 ng/g s.s.) e per siti di tipo ‘B’ il valore soglia di 5 mg/Kg s.s. (pari a 500 ng/g s.s.).

Per quanto concerne le concentrazioni dei composti denominati PCB *dioxin-like*, non si è ritenuto necessario calcolare in termini quantitativi la loro tossicità in quanto quasi tutti i congeneri sono risultati inferiori al limite di quantificazione. I PCB *dioxin-like* hanno infatti proprietà tossicologiche simili alle *diossine* e *furani*; in base a tali proprietà e alla struttura chimica sono stati valutati dal WHO i Fattori di Tossicità Equivalente (TEF) che, moltiplicati per la concentrazione di ogni composto *dioxin-like*, determinano il suo grado di tossicità [9].

Tuttavia, nei i siti D17 di Cassana e D19 di Villa Fulvia, sono rilevate quantità minime di alcuni PCB *dioxin-like*, che moltiplicate per il rispettivo Fattore di Tossicità (TEF) e sommate, forniscono un valore inferiore a 10 pg TEQ/g, limite normato delle *diossine* e *furani* (conversione TEQ) dal D.Lgs. 152/2006 per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale di tipo ‘A’.

In **figura 5.2** sono confrontate le sommatorie dei PCB determinate nel 2007 (venivano considerati tutti i PCB e i due PCB *dioxin-like*, P5CB-105 e P5CB-118) con quelle calcolate con gli stessi composti determinati nel 2010; per i valori inferiori ai limiti di quantificazione si considera la metà del limite. Utilizzando come spunto riflessivo il valore limite che il D.Lgs 152/2006 indica per i siti ad uso verde pubblico e residenziale (riga arancione), per tutti i siti indagati la somma dei PCB risulta molto inferiore a 60 ng/g s.s..

Figura 5.2



E' interessante notare come la presenza di questi microinquinanti sia limitata alla sola presenza di valori di 'picco', durante l'analisi del 2007 per il sito D13 (presso discarica RSU) e per il sito D17 (Cassana), nel 2010; da tale risultato si evince che la distribuzione delle concentrazioni non è associabile a un'emissione da camino, ma piuttosto ad una possibile micro-contaminazione puntuale.

Altre elaborazioni con tecniche multivariate non sono state prese in considerazione in quanto la presenza di numerosi valori inferiori al limite di quantificazione produrrebbero un risultato poco significativo da un punto di vista statistico.

## 6. IPA (idrocarburi policiclici aromatici)

Nella tabella di **figura 6.1** sono riportati i valori dei 21 *idrocarburi policiclici aromatici* (IPA) ricercati, che comprendono i composti individuati dall'EPA come 'prioritari' e sia quelli previsti dal vigente D.Lgs. 152/2006, riferiti alla sostanza secca (ng/g s.s.), non comprensivi dello scheletro (diversamente da quanto richiesto dal citato Decreto).

In base al D.Lgs. 152/2006, tabella 1 dell'Allegato 5 della Parte Quarta, i siti sono stati classificati in relazione alla specifica destinazione d'uso dell'area dove sono ubicati in:

- tipo "A", siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale;
- tipo "B", siti ad uso commerciale e industriale.

In base alle due tipologie, la tabella 1 riporta le Concentrazioni Soglia di Contaminazione nel suolo (CSC): per siti di tipo 'A' viene espresso il valore soglia di 10 mg/Kg s.s. (pari a  $10 \times 10^3$  ng/g s.s.) e per siti di tipo 'B' il valore soglia di 100 mg/Kg s.s. (pari a  $10 \times 10^4$  ng/g s.s.). Tali limiti si riferiscono alla somma dei seguenti composti organici: *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*.

Le metodiche analitiche utilizzate dal laboratorio sono state le stesse già utilizzate per la precedente indagine di Via Diana, così come i limiti di quantificazione analitica (evidenziati in celle a fondo giallo).

IPA	Acenafatene		Acenafilene		Antracene		Benzo(a)antracene		Benzo(a)pirene		Benzo(b)+(j)fluorantene		Benzo(e)pirene*		Benzo(k)fluorantene		Benzo(g,h,i)perilene		Crisene		Dibenzo(ac)+(ah)antracene		Dibenzo(a,e)pirene		Dibenzo(a,h)pirene		Dibenzo(a,i)pirene		Dibenzo(a,l)pirene		Fenantrene		Fluorantene		Fluorene		Indeno(1,2,3,c,d)pirene		Naftalene		Pirene	
	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.	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	6,4	2,0	5,6	-	3,4	1,0	21,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	3,5	<0,1	0,6	<0,1	1,3																					
D2	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	0,2	1,7	-	1,6	0,2	3,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	1,2	<0,1	0,1	<0,1	1,3																					
D3	<0,1	<0,1	6,6	78,9	55,0	62,3	-	61,4	49,6	88,8	8,4	1,3	<0,1	<0,1	3,7	56,2	161,8	<0,1	38,3	<0,1	145,3																					
D4	<0,1	1,9	<0,1	199,5	86,3	153,9	-	76,0	93,3	101,3	7,7	1,3	<0,1	<0,1	7,8	20,7	159,6	<0,1	67,3	<0,1	159,6																					
D5	<0,1	<0,1	<0,1	6,5	4,8	12,0	-	8,7	1,7	12,7	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	18,7	<0,1	2,7	<0,1	16,6																					
D6	<0,1	<0,1	<0,1	7,4	4,6	11,3	-	8,6	5,4	12,2	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	7,6	<0,1	2,8	<0,1	7,0																					
D7	<0,1	<0,1	<0,1	7,5	4,4	16,9	-	10,2	9,3	15,1	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	10,8	<0,1	6,7	<0,1	10,7																					
D8	<0,1	<0,1	<0,1	16,9	11,2	30,5	-	18,8	14,5	28,2	1,8	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	0,6	32,2	<0,1	10,5	<0,1	32,4																					
D9	<0,1	<0,1	<0,1	1,9	0,8	4,1	-	2,8	2,1	3,5	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	4,0	<0,1	0,6	<0,1	3,1																					
D10	<0,1	<0,1	<0,1	51,6	64,8	118,5	-	60,4	62,4	72,1	5,8	1,1	<0,1	<0,1	4,9	10,6	122,1	<0,1	46,9	<0,1	122,4																					
D11	<0,1	<0,1	<0,1	3,6	2,8	11,4	-	6,7	6,1	13,0	0,4	<0,1	<0,1	1,3	0,1	1,0	9,3	<0,1	1,9	<0,1	9,5																					
D12	<0,1	<0,1	<0,1	5,5	3,5	8,5	-	6,2	3,8	7,9	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,6	10,0	<0,1	3,2	<0,1	9,9																					
D13	<0,1	<0,1	<0,1	8,9	10,7	22,6	-	14,7	12,9	18,6	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	4,7	27,8	<0,1	7,7	<0,1	28,4																					
D14	<0,1	<0,1	<0,1	1,4	0,9	2,6	-	1,9	2,5	3,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	3,1	<0,1	0,2	<0,1	3,1																					
D15	<0,1	<0,1	<0,1	2,7	2,9	7,6	7,1	2,9	7,6	8,0	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	2,8	4,7	<0,1	4,2	<0,1	6,2																					
D16	<0,1	<0,1	<0,1	3,8	2,1	6,4	-	4,9	3,5	6,6	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	6,1	<0,1	0,4	<0,1	6,0																					
D17	<0,1	2,2	0,7	11,6	11,8	29,4	23,2	11,4	22,9	21,4	4,2	4,5	<0,1	0,6	6,7	10,3	11,9	0,2	17,8	<0,1	15,2																					
D18	<0,1	<0,1	<0,1	3,2	2,3	4,9	-	4,2	1,5	5,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	6,0	<0,1	1,4	<0,1	5,9																					
D19	0,3	0,5	1,1	13,3	15,3	26,5	44,4	5,3	24,8	22,2	8,7	6,4	<0,1	<0,1	5,3	12,2	15,0	0,7	17,2	<0,1	22,1																					
D20	<0,1	<0,1	0,5	4,1	3,9	8,9	7,7	3,3	6,8	10,4	1,0	1,0	<0,1	<0,1	2,2	7,3	8,9	0,1	4,3	<0,1	10,3																					

\* Il Benzo(e)pirene non è stato analizzato per tutti i siti di campionamento

Figura 6.1 IPA: risultati dei rilievi.

Per tutti i siti, le concentrazioni dei singoli composti normati sono molto inferiori al limite stabilito nel D.Lgs 152/2006 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (**Appendice, tabella 5**); si segnala che anche il sito D13 in area a destinazione commerciale ed industriale mostra concentrazioni nettamente inferiori a quelle riscontrate nel 2007, le quali superavano il limite fissato dal decreto per i siti di tipo 'A', destinati ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Analogamente a quanto operato con la precedente indagine di Via Diana, per ogni sito la sommatoria degli IPA del 2010 (ai sensi del D.Lgs 152/2006) è confrontata con quella ottenuta nel 2007, **figura 6.2**. Per i composti con concentrazioni inferiori al limite di quantificazione è stato considerato, ai fini della sommatoria, il valore pari alla metà del limite. Per motivi di scala non è stato evidenziato il limite normato D.Lgs 152/2006, che è pari a  $10 \times 10^3$  ng/g s.s. per siti di tipo 'A'.



La **figura 6.3** riporta i risultati del solo parametro *benzo(a)pirene*, composto di rilevanza sia emissiva che immissiva; esso è infatti normato dal D.Lgs 155/2010 relativo alla “qualità dell’aria”.

La rappresentazione grafica dei risultati sembrerebbe ricalcare quella ottenuta dalla sommatoria degli IPA (**figura 6.2**) e, analogamente, i valori determinati si discostano dal valore soglia normato dal D.Lgs 152/2006 di 0,1 mg/Kg s.s. (pari a 100 ng/g s.s.) per suoli di tipologia ‘A’.

Figura 6.2

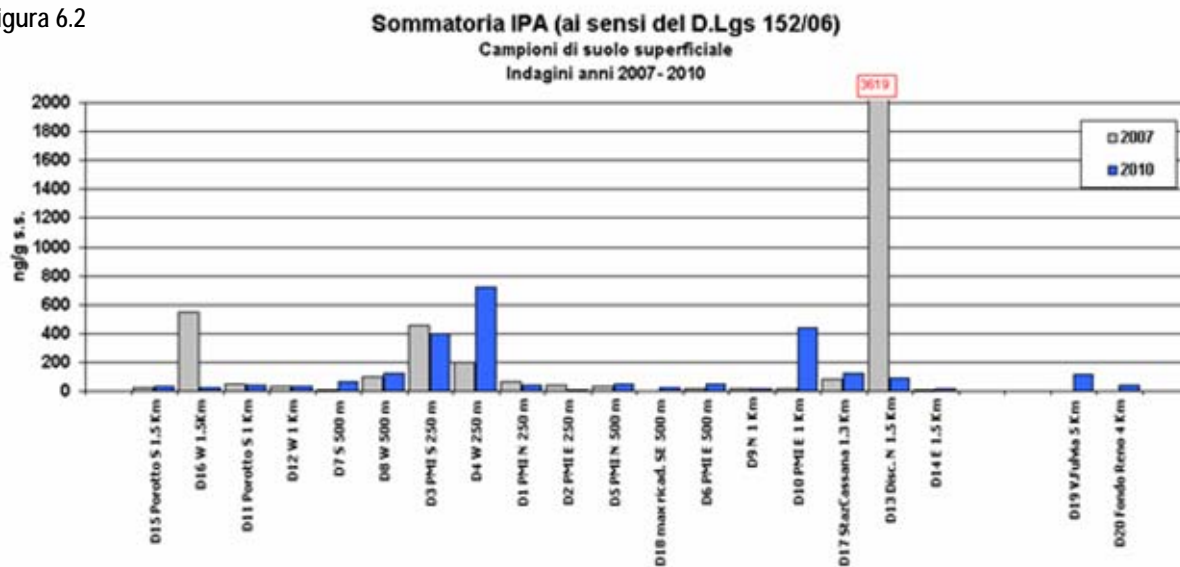
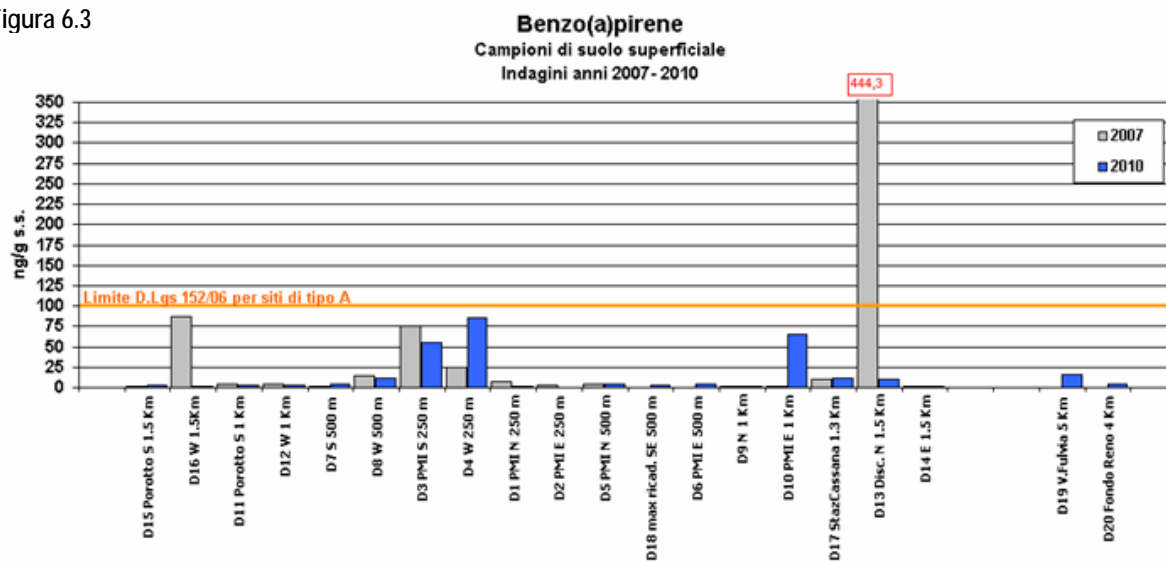


Figura 6.3



Anche per questa indagine si nota un comportamento degli IPA analogo a quanto già riscontrato in precedenti indagini sui suoli superficiali: nel 2010 ci sono ‘picchi’ isolati, determinati nei pressi del camino (siti D3 e D4) e nel sito ubicato all’interno dell’area della PMI (D10).

I valori riscontrati a Villa Fulvia D19 (zona di *Fondo urbano* in area parco) e a Fondo Reno D20 (denominato ‘punto di controllo’) sono molto contenuti.

Per quanto riguarda la diffusione degli IPA nell’ambiente, come è già stato illustrato nella parte introduttiva del seguente studio, è attribuita sicuramente al particolato emesso durante i processi di combustione ed il fattore responsabile della incorporazione degli IPA nei sedimenti è la deposizione del materiale trasportato in sospensione. La persistenza nel suolo dipende dalla solubilità e volatilità, che sono inversamente proporzionali al numero di anelli aromatici dei diversi idrocarburi: si stima 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 [13].

In *figura 6.4* viene illustrata la distribuzione delle concentrazioni dei composti che, per la maggior parte dei siti, risultano superiori ai limiti di quantificazione e con più di quattro anelli aromatici. Per tutti i composti si evidenziano valori superiori nei siti D3, D4 e D10.

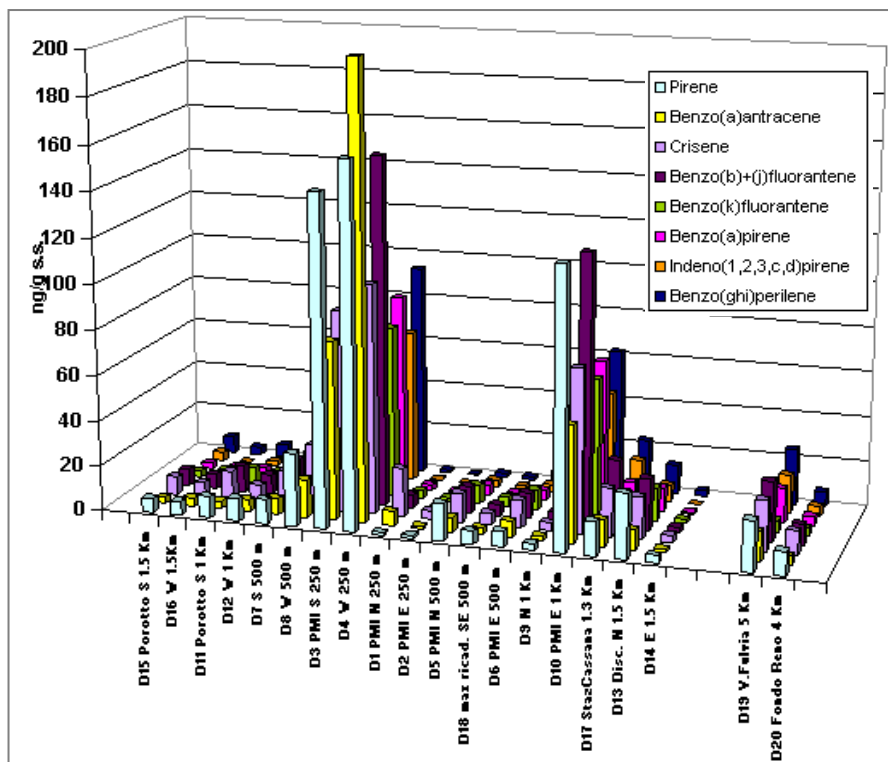


Figura 6.4 Rappresentazione grafica dei principali composti IPA rilevati.

Nel voler approfondire il comportamento del *benzo(a)pirene*, la cui distribuzione nei siti indagati risulta analoga alla sommatoria di tutti gli IPA ricercati, viene elaborata un'analisi spaziale sia considerando tutti i siti ubicati nell'intorno dell'inceneritore, *figura 6.6 a*, che escludendo i siti 'estremi' (da elaborazione statistica *Box-and-Whisker*, *figura 6.5*) situati nelle zone produttive, i quali possono nascondere eventuali aree con concentrazioni omogenee o comunque significative, *figura 6.6 b*.

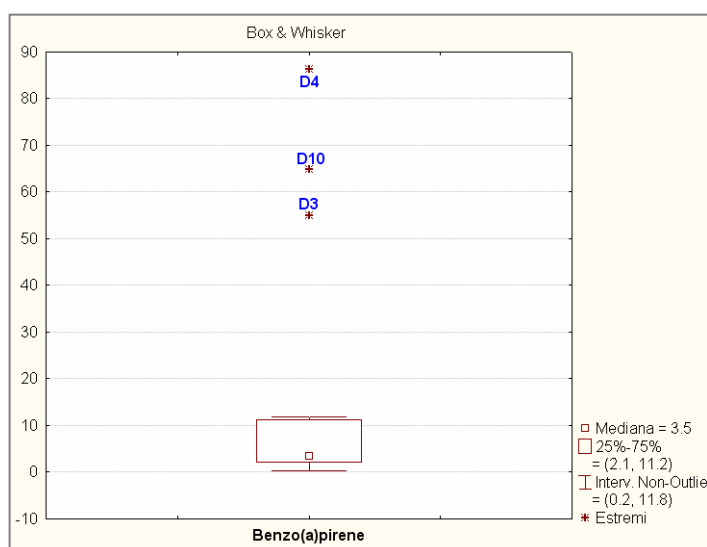
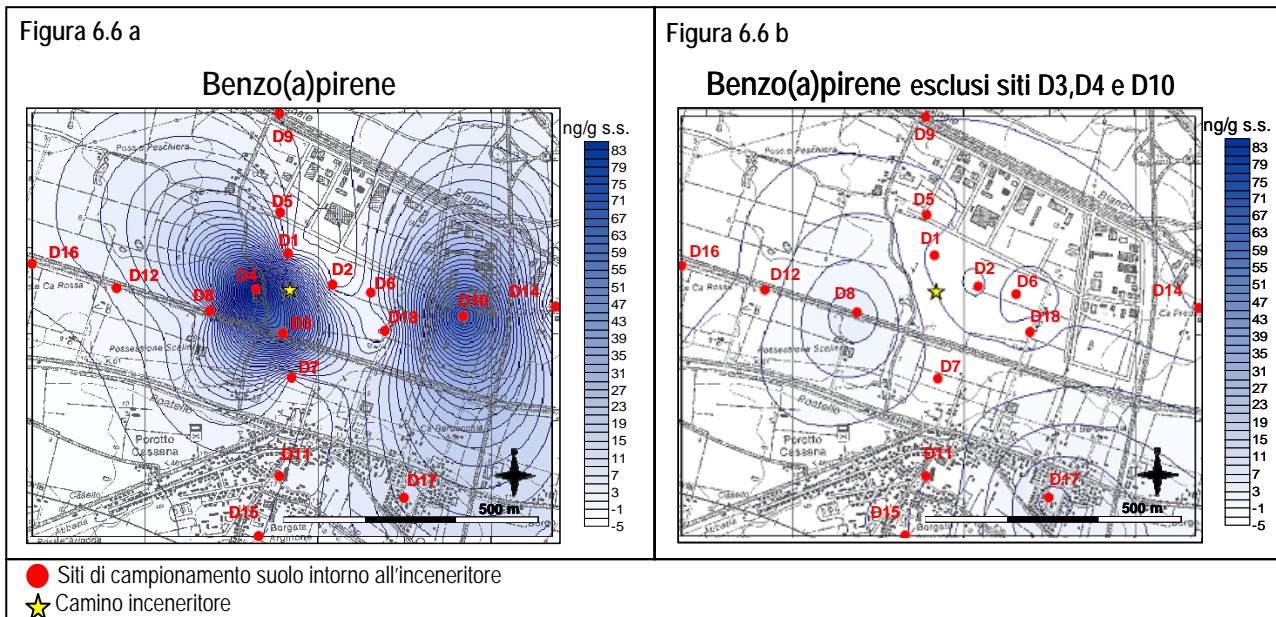


Figura 6.5 Benzo(a)pirene: *Box-and-Whisker* plot.



Non considerando nel ragionamento i valori di 'picco' (siti D3, D4 e D10), la concentrazione in tracce nel suolo superficiale del *benzo(a)pirene* mostra una distribuzione piuttosto omogenea che rappresenta un inquinamento di 'fondo' dovuto a più sorgenti emissive. Per contro, è ragionevole associare i valori più elevati all'influenza di un'area ad uso industriale (impianto incenerimento, PMI) in cui non sono trascurabili altri processi combustibili, come ad esempio quelli da trasporto di mezzi pesanti.

Inoltre, tale composto organico, non pare risentire delle caratteristiche dei suoli indagati (tessitura e pH) né mostrare una correlazione inversa con la distanza, sia considerando tutti i siti che escludendo gli 'estremi', tabella di **figura 6.7**.

Variabile	Distanza	pH	Sabbia	Limo	Argilla
Benzo(a)pirene	-0.2940	-0.3202	0.2202	0.0648	-0.4378
Benzo(a)pirene (esclusi i siti D3, D4, D10)	-0.0129	0.1443	0.1739	-0.1556	-0.1569

Figura 6.7 Coefficienti di correlazione 'r' tra *benzo(a)pirene*, la distanza dal camino e le caratteristiche dei suoli.

Nella *Cluster Analysis* il *benzo(a)pirene* è in raggruppamento con alcuni metalli (*piombo*, *rame* e *cadmio*), **figura 3.51**, ed è in accordo con l'applicazione della *Factor Analysis* e della *Principal Components Analysis* (PCA), nella quale si individua un fattore esogeno, comune per questi parametri, riconducibile a fonti di origine antropica.

## 7. Conclusioni

Nell'indagine del 2010 sono stati verificati e approfonditi i siti indagati nel 2007.

Durante il triennio intercorso dalla precedente indagine, nell'area di interesse sono avvenute importanti modifiche, prima fra tutte il potenziamento dell'impianto di incenerimento, con l'inserimento della seconda linea di combustione. Oltre a ciò vi sono stati altri cambiamenti che possono aver contribuito a modificare il quadro territoriale-ambientale: l'incremento di traffico sia internamente al termovalorizzatore che all'esterno; l'apertura di nuova viabilità in vicinanza delle aree indagate nel 2007; l'acquisizione di nuove informazioni su siti produttivi interni all'area dell'indagine.

Dal punto di vista analitico sono stati approfonditi alcuni aspetti delle caratteristiche del suolo e allargati i profili di indagine per alcune categorie di composti.

L'indagine condotta nel 2010 ha innanzitutto consolidato alcuni elementi metodologici utili a conoscere lo stato dei suoli circostanti una sorgente emissiva, situata in un territorio caratterizzato da elementi antropici tali per cui è difficile isolare gli impatti della sorgente dal complesso di altri fattori ambientali non trascurabili.

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: per la maggior parte di essi, 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* e *vanadio* presentano una correlazione significativa con la percentuale di argilla e, così come viene espresso in letteratura, il loro contenuto risulta essere rappresentativo del fondo naturale dei sedimenti alluvionali del Po; un'ulteriore conferma di ciò sono le variazioni temporali e spaziali descritte in dettaglio nel capitolo 3.

Secondo quanto emerge dall'analisi multivariata, per i campioni prelevati nella zona a sud e a ovest dell'impianto (raggio di 250 m) si evidenziano valori di *cadmio*, *piombo* e *rame* riconducibili ad uno stesso fattore, comune al composto organico *benzo(a)pirene*: questo permette di affermare l'ipotesi della loro presenza legata ad una componente di origine antropica (associabile ad una o più sorgenti emmissive).

Dalle analisi di correlazione e spaziale non è possibile stabilire una relazione significativa tra il camino dell'inceneritore e le concentrazioni dei metalli, poiché questi non correlano con la distanza dalla sorgente emissiva.

In generale, non si apprezzano variazioni significative tra l'indagine del 2007 e quella del 2010.

- Per ciò che concerne le **diossine** e **furani (PCDD/PCDF)**, i valori riscontrati non evidenziano variazioni significative tranne nei siti industriali prossimi all'impianto, che secondo la previsione modellistica corrispondono ai punti di massima ricaduta del PM10 del termovalorizzatore. Il profilo dei congeneri ivi rilevati è del tutto confrontabile con quello, riportato in letteratura, delle emissioni derivate dalla combustione di rifiuti solidi urbani.

In generale, per PCDD/PCDF è stata trovata una correlazione inversa con la distanza, vale a dire che allontanandosi dalla sorgente sono minori le probabilità di ritrovare tali composti.

I valori riscontrati presso gli abitati di Cassana e Porotto sono inferiori a quelli rilevati nell'area industriale e l'analisi dei profili dei congeneri ritrovati è confrontabile in letteratura, con un profilo emissivo da traffico veicolare, molto diverso da quello derivante dalla combustione di rifiuti solidi urbani (vedi dettaglio nel capitolo 4).

A titolo di confronto, per tutti i siti indagati, nessun valore delle somme delle concentrazioni PCDD/PCDF, espresse in Equivalenti di Tossicità, è risultato superiore ai limiti indicati nel D.Lgs. 152/2006.



- Per quanto concerne i **policlorobifenili (PCB)** si conferma quanto osservato nel 2007: nelle zone attorno al camino dell'inceneritore e in quelle più lontane i valori sono inferiori ai limiti di quantificazione.
- Per quanto riguarda gli **idrocarburi policiclici aromatici (IPA)** non si evidenziano variazioni significative e si conferma che le concentrazioni maggiori si riscontrano nelle zone intorno all'inceneritore e nella zona della PMI. Nelle zone residenziali di Porotto e Cassana, così come nelle zone di Villa Fulvia e di Fondo Reno, si riscontrano in generale valori molto contenuti i quali, a titolo di confronto, risultano ampiamente inferiori ai limiti indicati nel D.Lgs. 152/2006.

## Bibliografia

- [1] Canossa-Milan (2010). *Il Protocollo AIA sul monitoraggio immissioni*. Comunicazione 8 giugno 2010 – Sala del Consiglio Comunale di Ferrara: [http://www.rab-fe.org/archivio\\_2010.html](http://www.rab-fe.org/archivio_2010.html) ).
- [2] US Department of Agriculture - NRCS. *Soil Taxonomy*.
- [3] US Department of Agriculture (1993). *Reaction in Soil Survey Manual*.
- [4] Arpa Emilia-Romagna - Annuario regionale dei dati ambientali 2010. ([http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/stato\\_ambiente/annuario2010/cap\\_08.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/stato_ambiente/annuario2010/cap_08.pdf))
- [5] Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2011 *Note illustrative della carta del contenuto naturale o pedo-geochimico di Cr, Ni, Zn, Pb, Cu: Foglio 181 prototipo a scala 1:50.000*.  
[http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta\\_pedogeochemica/100\\_pedogeochemica\\_50mila/Note\\_Illustrative\\_181.pdf](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta_pedogeochemica/100_pedogeochemica_50mila/Note_Illustrative_181.pdf)
- [6] Santoro et al. (2008). *Speciazione e caratterizzazione dimensionale di suoli contaminati da mercurio*. (Incontro di Spettroscopia Analitica – ISA 2008, Ferrara, 25-27 giugno, 2008). Abstract pag. 44-45.
- [7] Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2011. *Note illustrative della Carta pedo-geochimica di Cr, Ni, Zn, Pb, Cu della pianura emiliano-romagnola a scala 1:250.000* ([http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta\\_pedogeochemica/099\\_pedogeochemica\\_250mila/CARTA\\_PEDOGEOCHIMICA.pdf](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta_pedogeochemica/099_pedogeochemica_250mila/CARTA_PEDOGEOCHIMICA.pdf)).
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Turci et al. (2009). 4. *PCDD: policlorodibenzo-p-diossine. Interferenti endocrini – Schede monografiche*. G Ital Med Lav Erg 2009; 31:4, 325-370.
- [11] 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.
- [12] Cleverly et al. (2007). *A General Indication of the Contemporary Background Levels of PCDDs, PCDFs, and Coplanar PCBs in the Ambient Air over Rural and Remote Areas of the United States*. Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 1537-1544.
- [13] 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.



**Sezione Provinciale di Ferrara**  
Servizio Sistemi Ambientali  
Via Bologna, 534  
44124 Ferrara  
tel 0532-234811

# **“Diana – Indagine 2010”**

## **APPENDICE**

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

**A cura di: D.ssa Manuela Mengoni  
D.ssa Claudia Milan  
D.ssa Simona Coppi  
D.ssa Enrica Canossa**

**Ferrara, luglio 2011**

# Appendice

## 1. Metalli: risultati delle analisi ed elaborazioni

Limiti D.Lgs. 152/06 SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale (mg/Kg s.s.)			10	20	2	2	20	150	2	1	120	100	120	3	1	1	90	150
Limiti D.Lgs. 152/06 SITO B: ad uso commerciale e industriale (mg/Kg s.s.)			30	50	10	15	250	800	15	5	500	1000	600	15	350	10	250	1500
			<b>METALLO</b>															
			Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo VI	Cromo tot	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Selenio	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
SITO	SCHELETRO >2 mm (%)	TIPOLOGIA 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.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.
D1	<0,1	B	0,47	9,60	1,10	0,14	14,20	0,55	147,70	1,07	100,40	16,20	30,10	0,40	1,90	0,38	70,50	81,20
D2	<0,1	B	0,53	9,60	0,74	0,10	11,60	0,32	120,10	0,08	82,70	12,10	24,30	0,43	1,30	0,24	51,40	56,70
D3	<0,1	B	0,64	7,90	0,72	0,34	12,40	0,41	121,00	0,11	88,60	74,00	196,70	0,71	3,50	0,36	53,40	159,00
D4	<0,1	B	1,00	10,10	0,84	0,38	13,40	0,41	121,50	0,12	92,50	50,00	70,40	0,75	5,70	0,39	57,30	192,30
D5	<0,1	B	0,59	23,90	1,20	0,19	15,90	0,94	158,90	0,14	115,20	21,30	49,50	0,67	2,40	0,39	73,50	89,80
D6	<0,1	B	0,47	13,50	1,00	0,15	13,50	0,43	135,40	0,07	94,70	16,60	32,40	0,50	1,70	0,33	65,50	96,80
D7	<0,1	A	0,52	9,60	1,20	0,22	14,30	0,63	135,80	0,11	95,30	19,90	46,00	0,56	3,00	0,41	75,90	86,70
D8	<0,1	A	0,48	7,90	0,76	0,17	11,90	0,21	117,90	0,09	80,90	15,00	20,60	0,50	1,60	0,28	51,40	54,50
D9	<0,1	A	0,61	11,90	1,30	0,19	16,30	1,01	158,30	0,11	111,00	20,20	38,40	0,83	2,30	0,45	84,30	89,40
D10	<0,1	B	0,43	9,30	0,90	0,24	13,80	0,42	128,40	0,07	99,00	18,20	25,80	0,43	1,80	0,35	59,60	76,80
D11	<0,1	A	0,42	7,80	1,20	0,20	12,70	0,69	83,10	0,09	61,70	25,40	36,80	0,63	1,90	0,43	68,30	83,90
D12	<0,1	A	0,53	11,30	1,30	0,22	17,00	0,73	159,80	0,09	118,60	20,20	35,80	0,58	2,50	0,46	82,20	89,40
D13	7,21	B	0,75	10,40	1,40	0,24	14,40	0,24	142,10	0,13	99,90	20,30	33,00	0,67	2,40	0,40	74,90	82,40
D14	15,79	B	0,38	5,40	0,49	0,17	6,60	0,36	61,00	0,07	42,30	13,50	15,30	0,37	1,30	0,22	35,10	64,00
D15	<0,1	A	0,71	7,50	1,10	0,20	11,50	0,26	68,20	0,49	47,50	18,00	36,00	0,85	2,60	0,40	59,00	102,20
D16	<0,1	A	0,57	10,90	1,20	0,26	16,00	1,00	154,00	0,10	112,40	21,20	37,60	0,70	2,20	0,46	78,40	144,40
D17	<0,1	A	0,97	7,60	1,30	0,30	13,30	0,47	97,20	0,66	65,50	29,90	35,00	0,78	3,70	0,45	72,40	136,50
D18	<0,1	B	0,66	33,40	1,50	0,23	17,10	1,23	172,30	0,13	124,00	21,50	43,30	0,70	2,50	0,47	88,70	90,40
D19	<0,1	A	0,73	8,50	0,78	0,24	11,20	0,50	132,90	0,54	76,50	16,50	29,50	0,78	2,50	0,28	55,80	81,50
D20	<0,1	A	0,76	8,60	1,30	0,30	13,40	0,20	81,60	0,25	53,60	24,20	58,10	0,98	3,80	0,42	68,30	98,10

Tabella 1 Metalli: risultati dei campioni medio-compositi e raffronto dei valori con i limiti espressi dal D.Lgs 152/2006, in relazione alla tipologia di sito di tipo 'A' e 'B'.

STATISTICA DESCRITTIVA																
	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr VI	Cr tot	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	Tl	V	Zn
	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.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.
n° dati	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
min	0,38	5,40	0,49	0,10	6,60	0,20	61,00	0,07	42,30	12,10	15,30	0,37	1,30	0,22	35,10	54,50
max	1,00	33,40	1,50	0,38	17,10	1,23	172,30	1,07	124,00	74,00	196,70	0,98	5,70	0,47	88,70	192,30
media	0,61	11,24	1,07	0,22	13,53	0,55	124,86	0,23	88,12	23,71	44,73	0,64	2,53	0,38	66,30	97,80
mediana	0,58	9,60	1,15	0,22	13,45	0,45	130,65	0,11	93,60	20,20	35,90	0,67	2,40	0,40	68,30	89,40
dev.std	0,17	6,41	0,27	0,07	2,43	0,30	32,03	0,26	24,01	14,26	37,92	0,17	1,03	0,07	13,34	34,69
percentile 10°	0,43	7,59	0,74	0,15	11,47	0,24	80,26	0,07	52,99	14,85	23,93	0,43	1,57	0,28	51,40	63,27
percentile 90°	0,78	14,54	1,31	0,30	16,37	1,00	158,99	0,55	115,54	31,91	59,33	0,83	3,71	0,46	82,41	145,86
varianza	0,03	41,10	0,07	0,00	5,90	0,09	1025,81	0,07	576,43	203,49	1438,06	0,03	1,07	0,01	177,88	1203,56
cv%	27,90%	57,06%	25,54%	30,50%	17,96%	53,91%	25,65%	116,30%	27,25%	60,16%	84,78%	26,03%	40,86%	19,70%	20,12%	35,47%
errore std	0,04	1,43	0,06	0,02	0,54	0,07	7,16	0,06	5,37	3,19	8,48	0,04	0,23	0,02	2,98	7,76
asimmetria	0,93	2,77	-0,46	0,54	-0,93	0,90	-0,62	2,25	-0,47	2,83	3,71	0,04	1,61	-0,83	-0,41	1,42
curtosi	0,50	7,97	-0,70	0,37	2,29	-0,06	-0,50	4,96	-0,70	8,54	15,16	-0,66	3,60	-0,23	0,02	1,89

Tabella 2 Metalli: statistica descrittiva dei dati.



Metalli: istogrammi di dettaglio indagini 2007 e 2010.

Figura 1.1

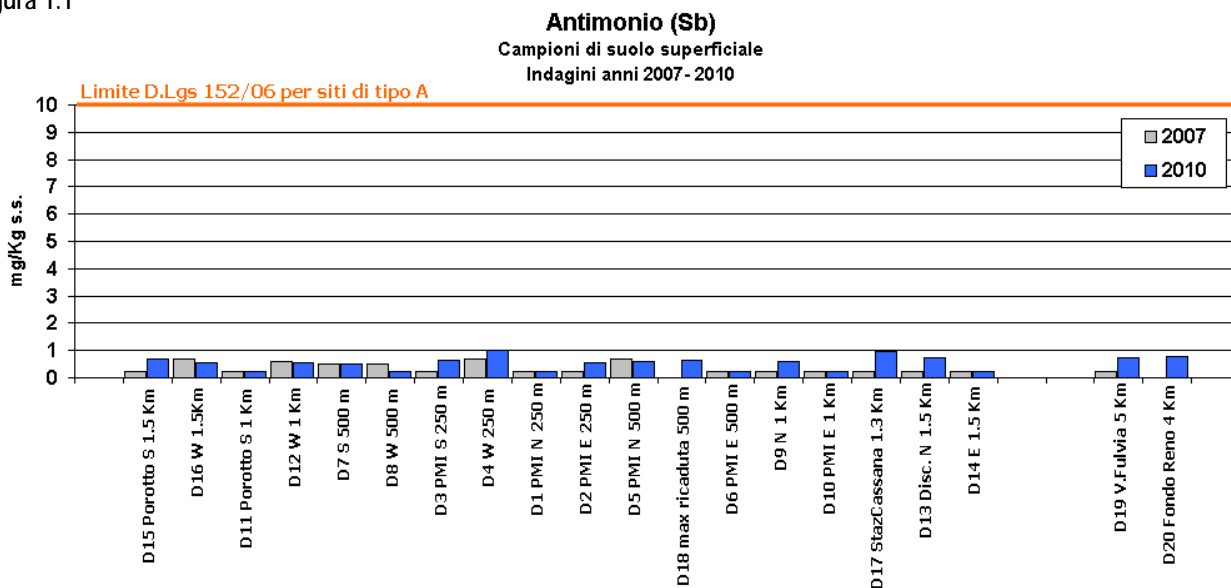


Figura 1.2

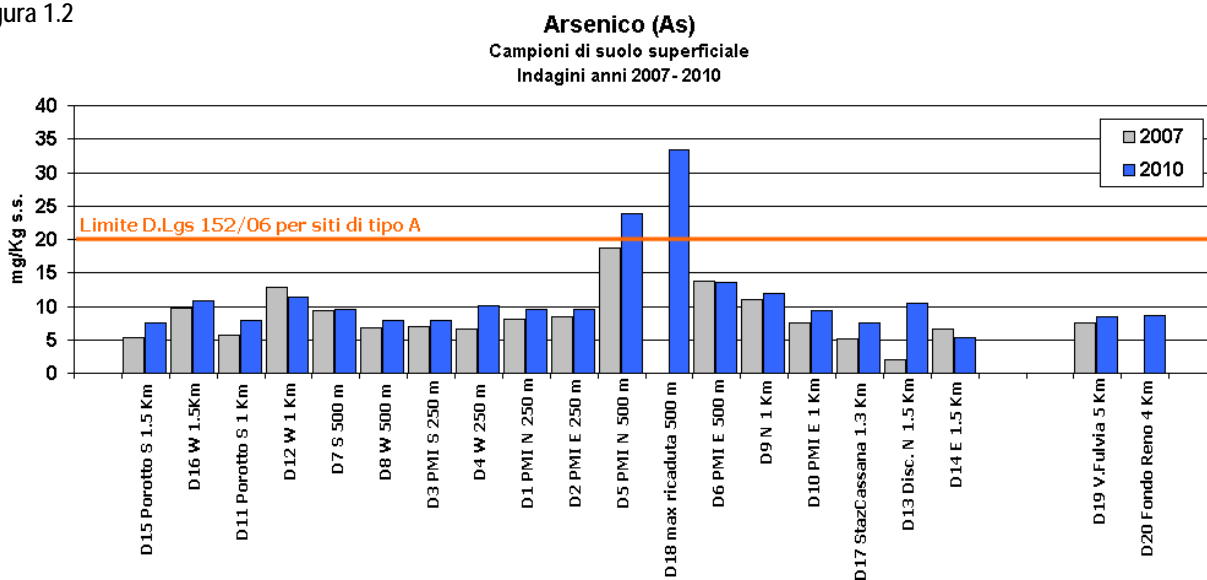


Figura 1.3

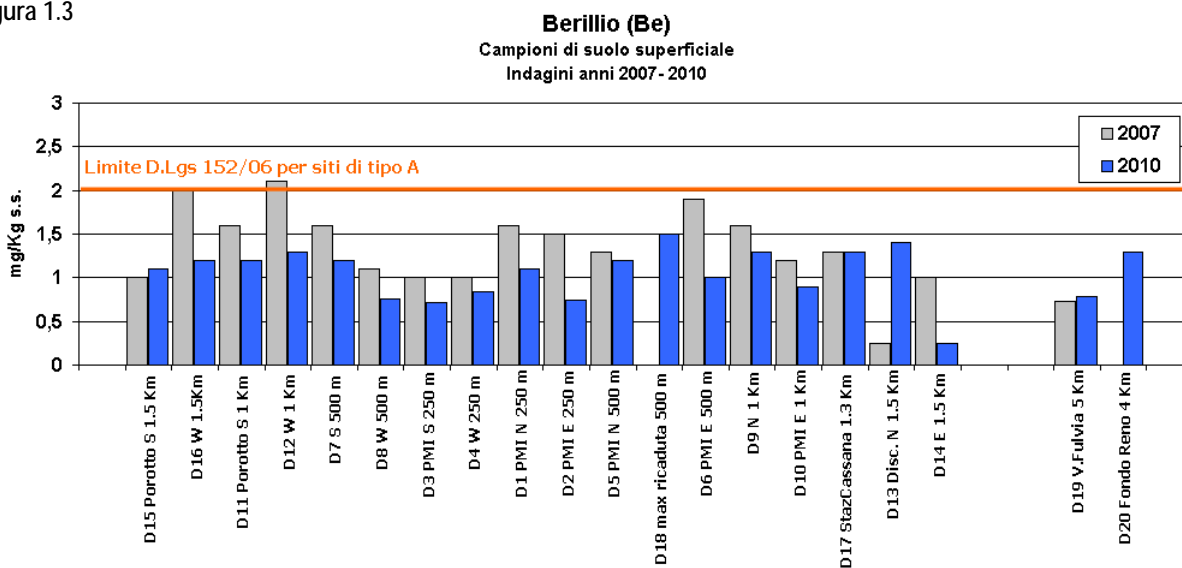


Figura 1.4

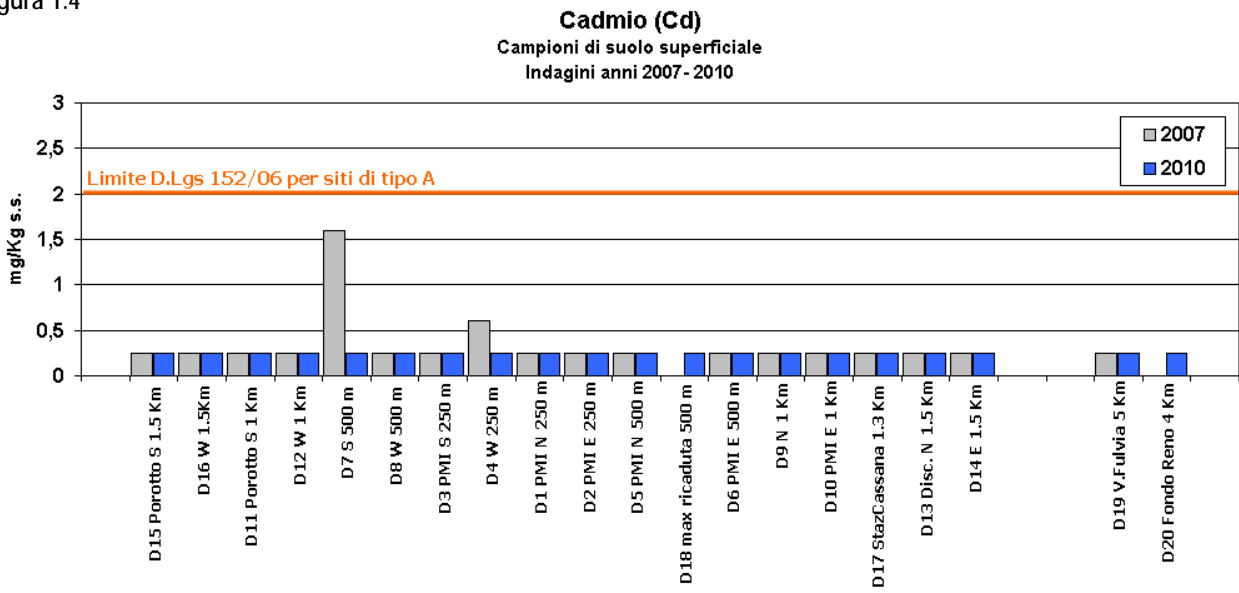


Figura 1.5

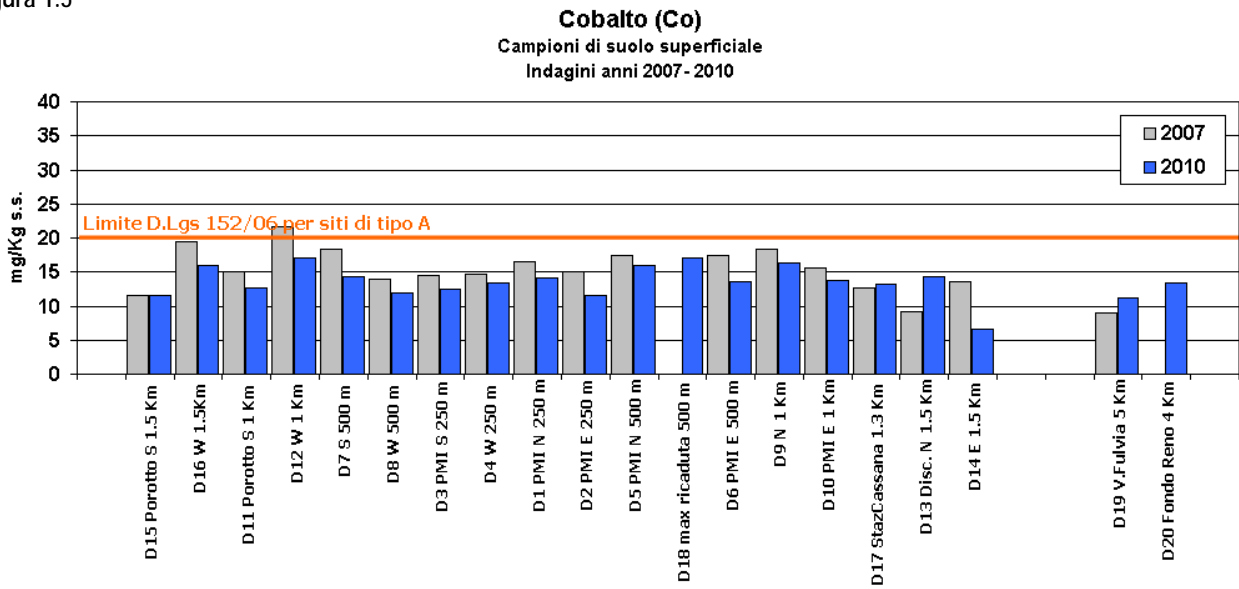


Figura 1.6

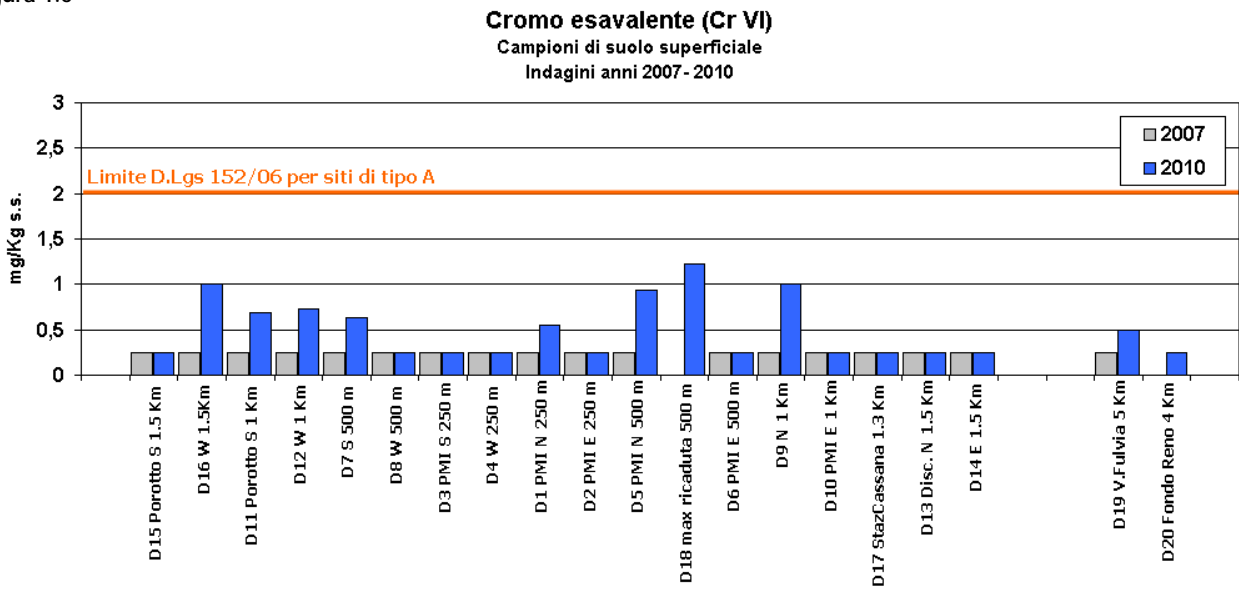


Figura 1.7

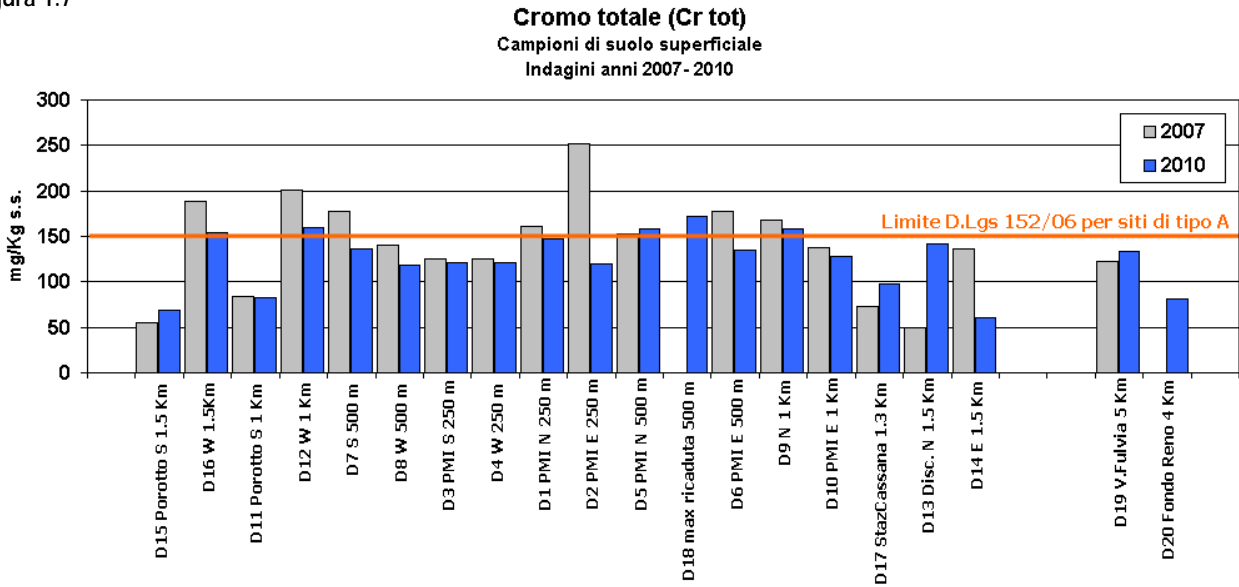


Figura 1.8

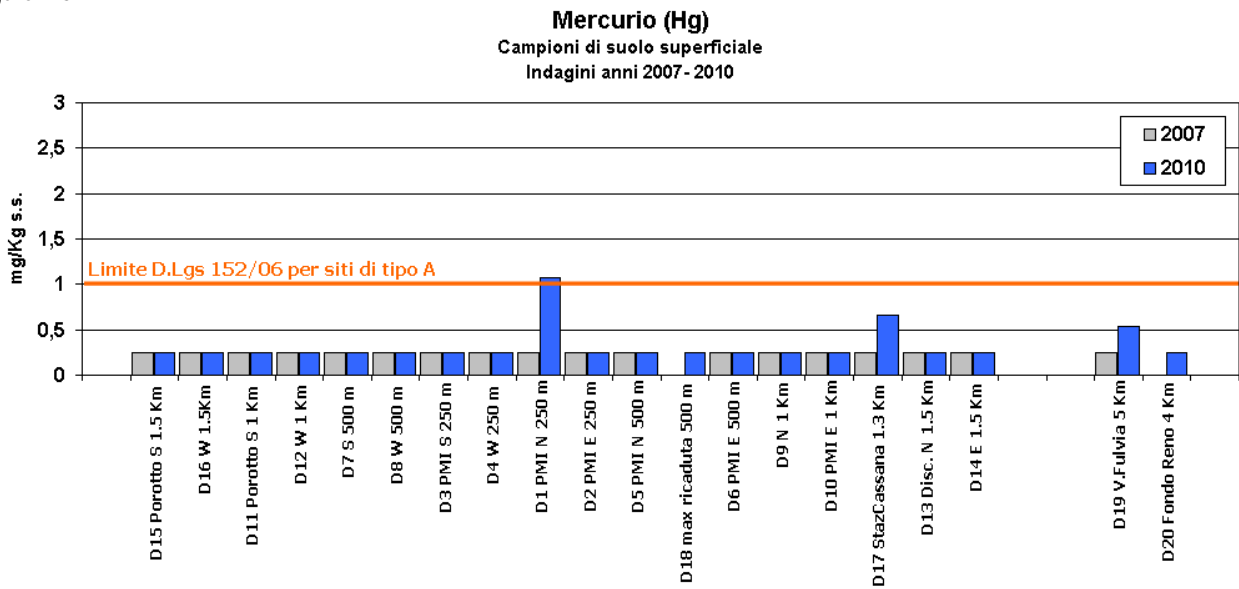


Figura 1.9

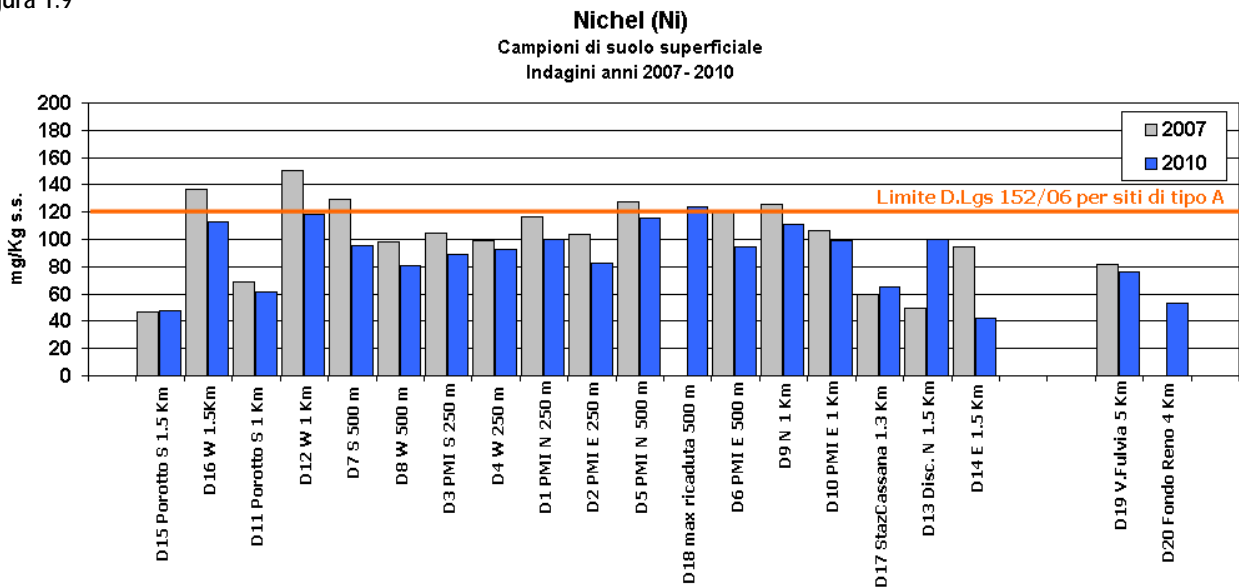


Figura 1.10

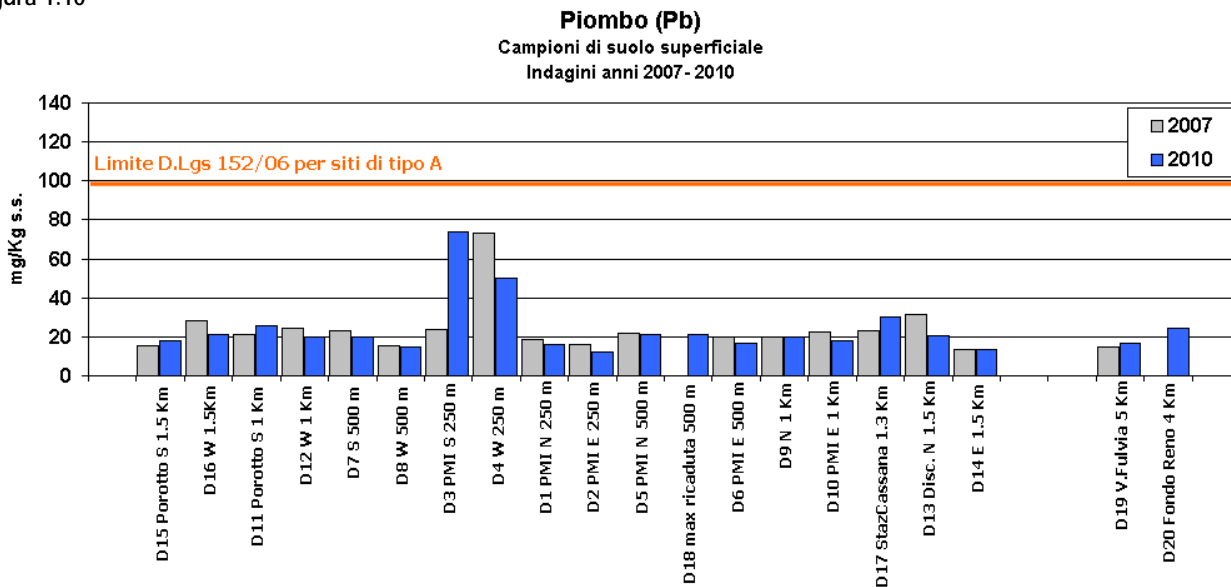


Figura 1.11

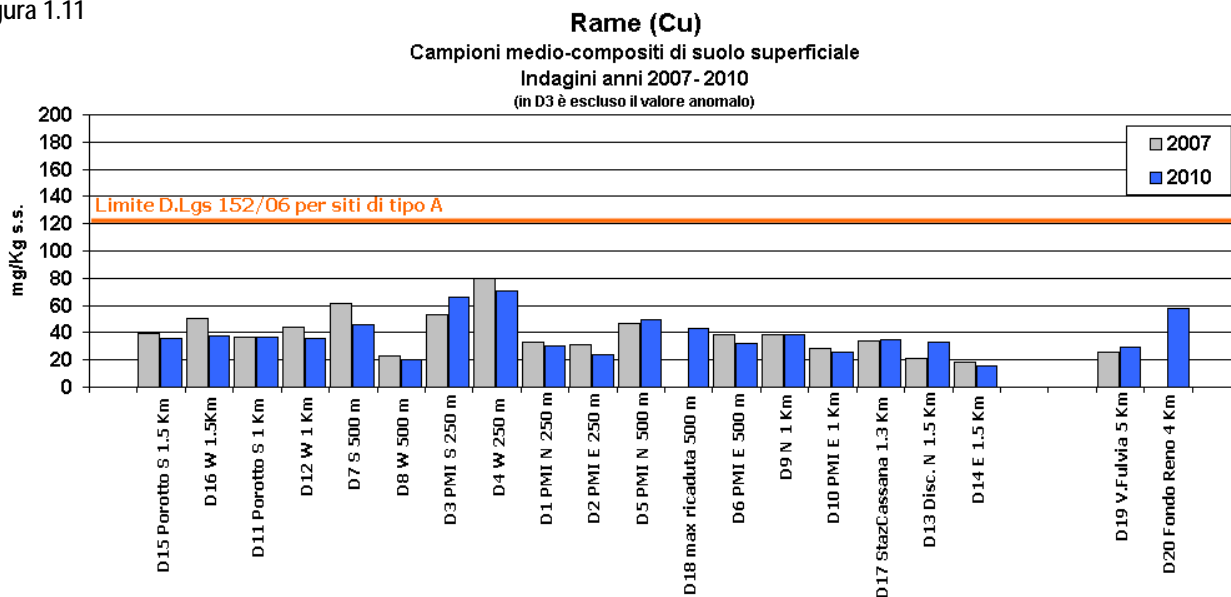


Figura 1.12

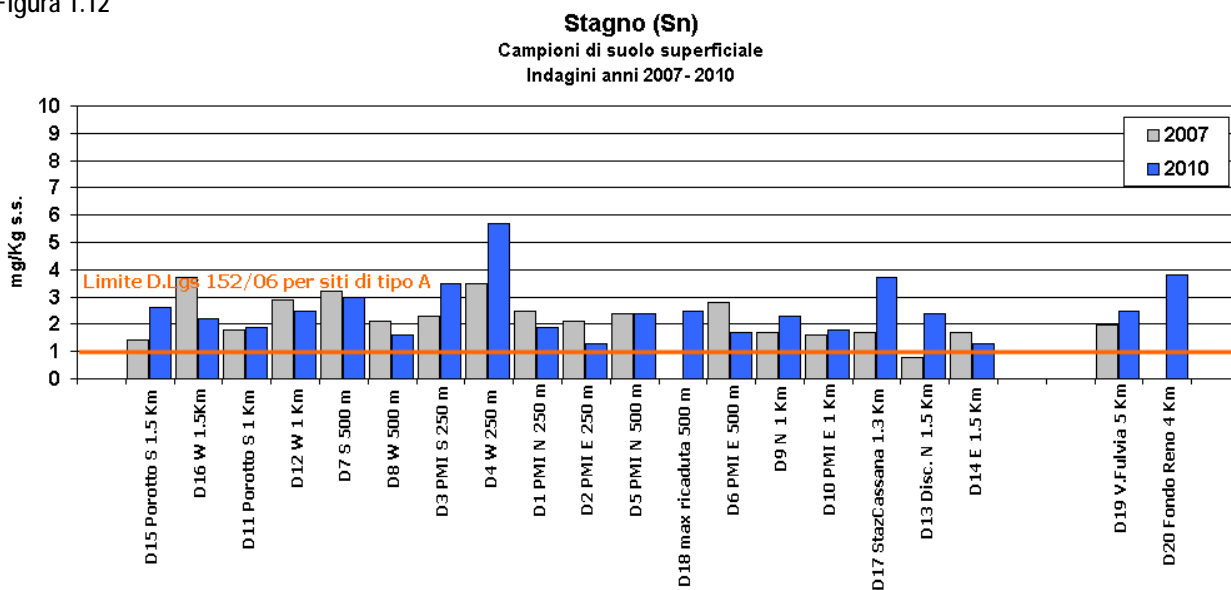




Figura 1.13

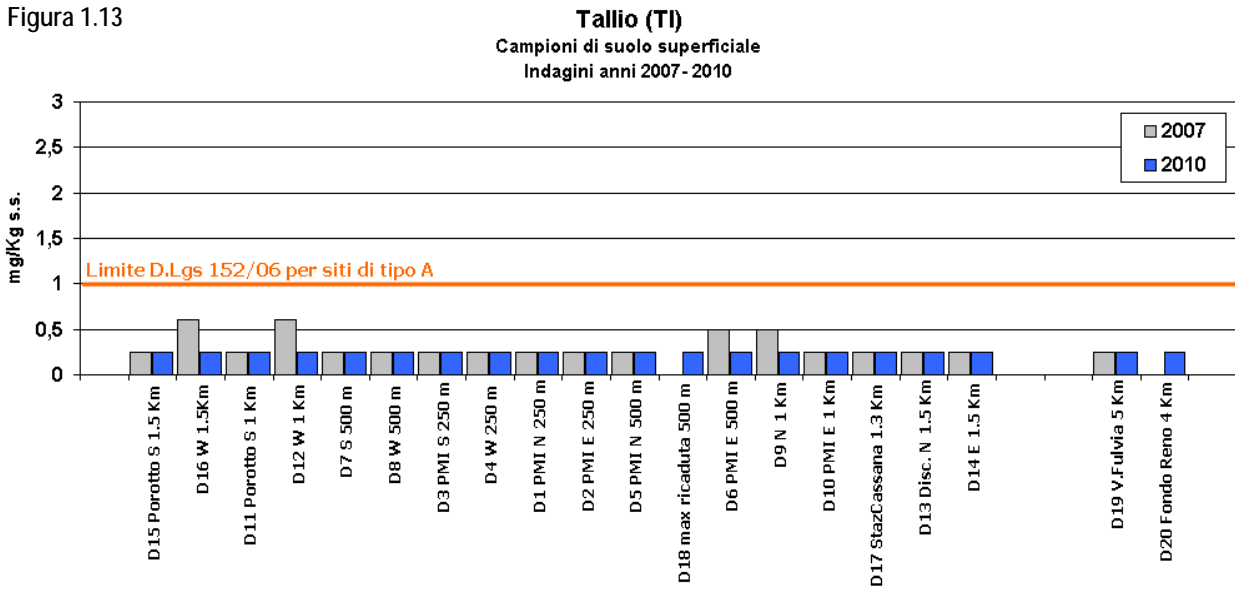


Figura 1.14

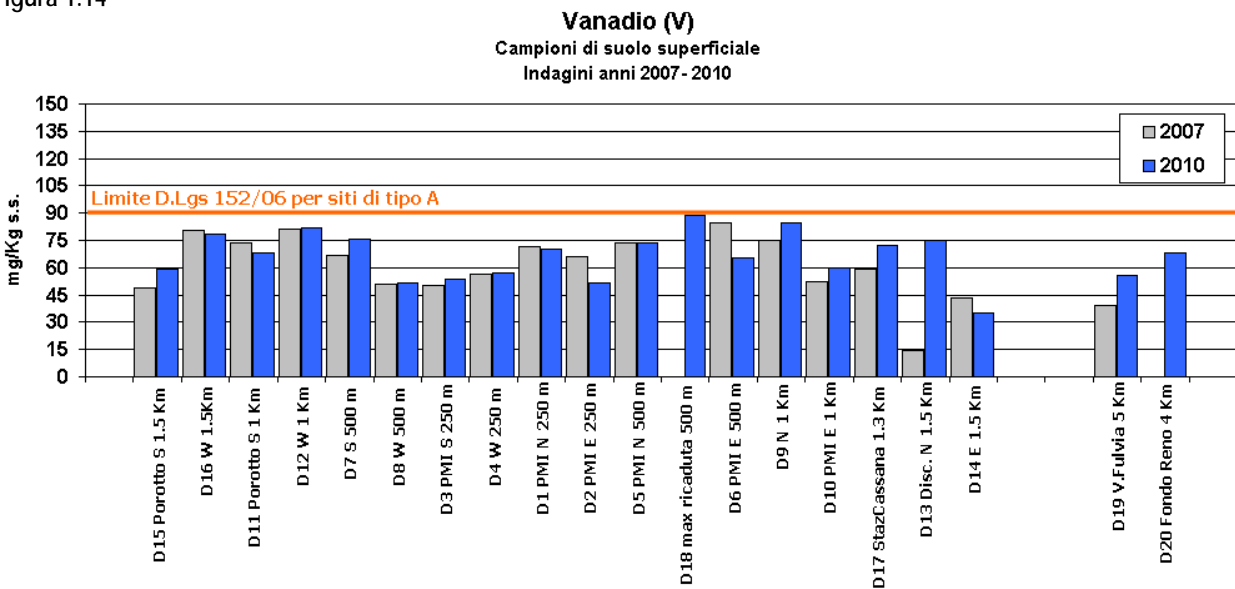
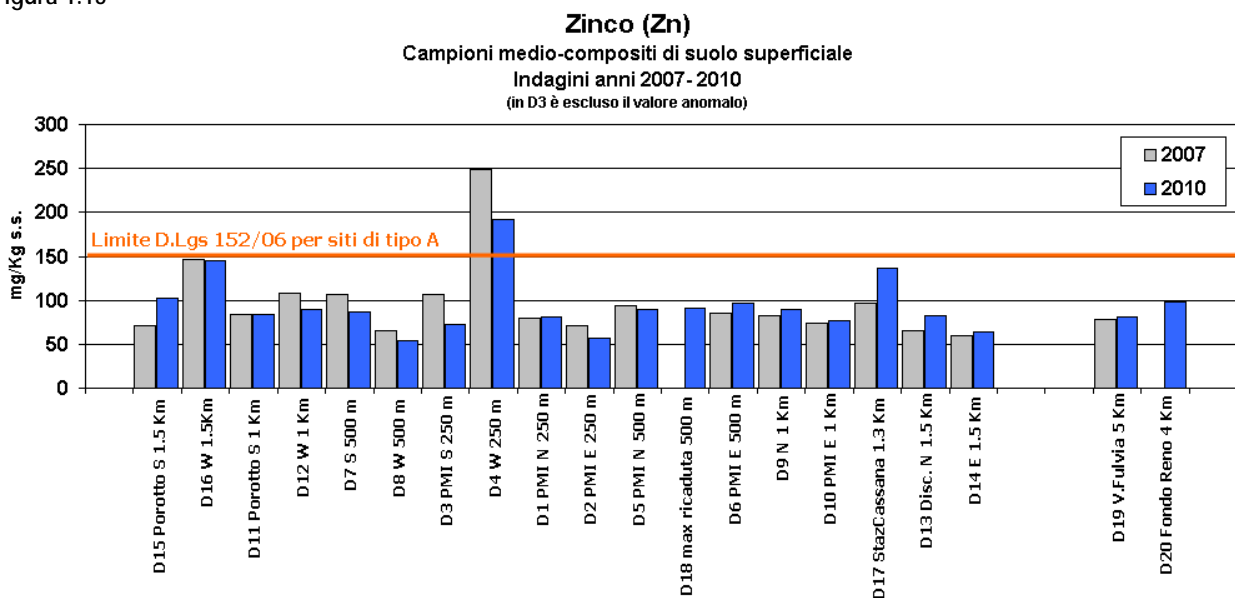


Figura 1.15



Metalli ed altri parametri: *matrix plot*.

Figura 1.16 a

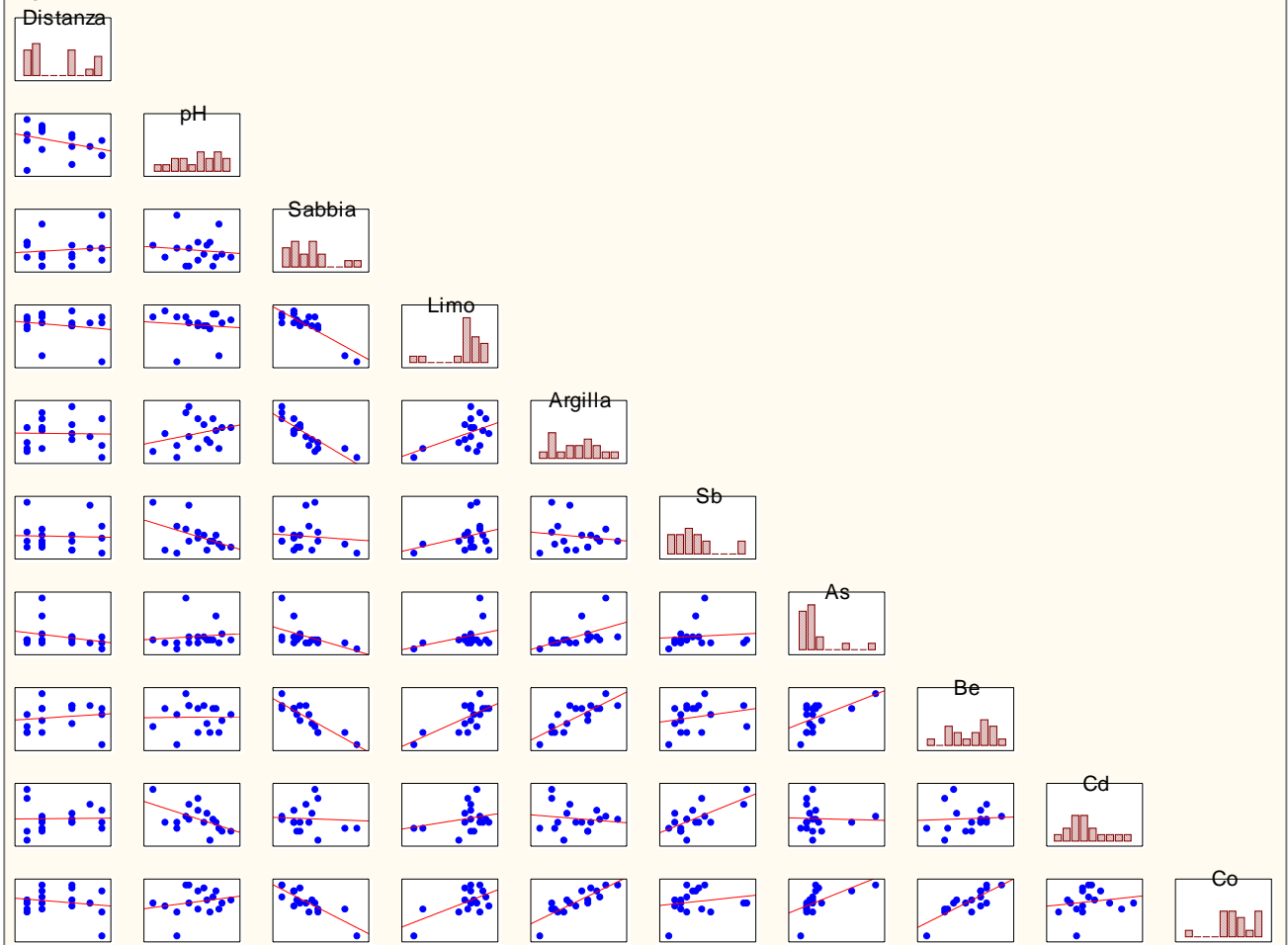


Figura 1.16 b

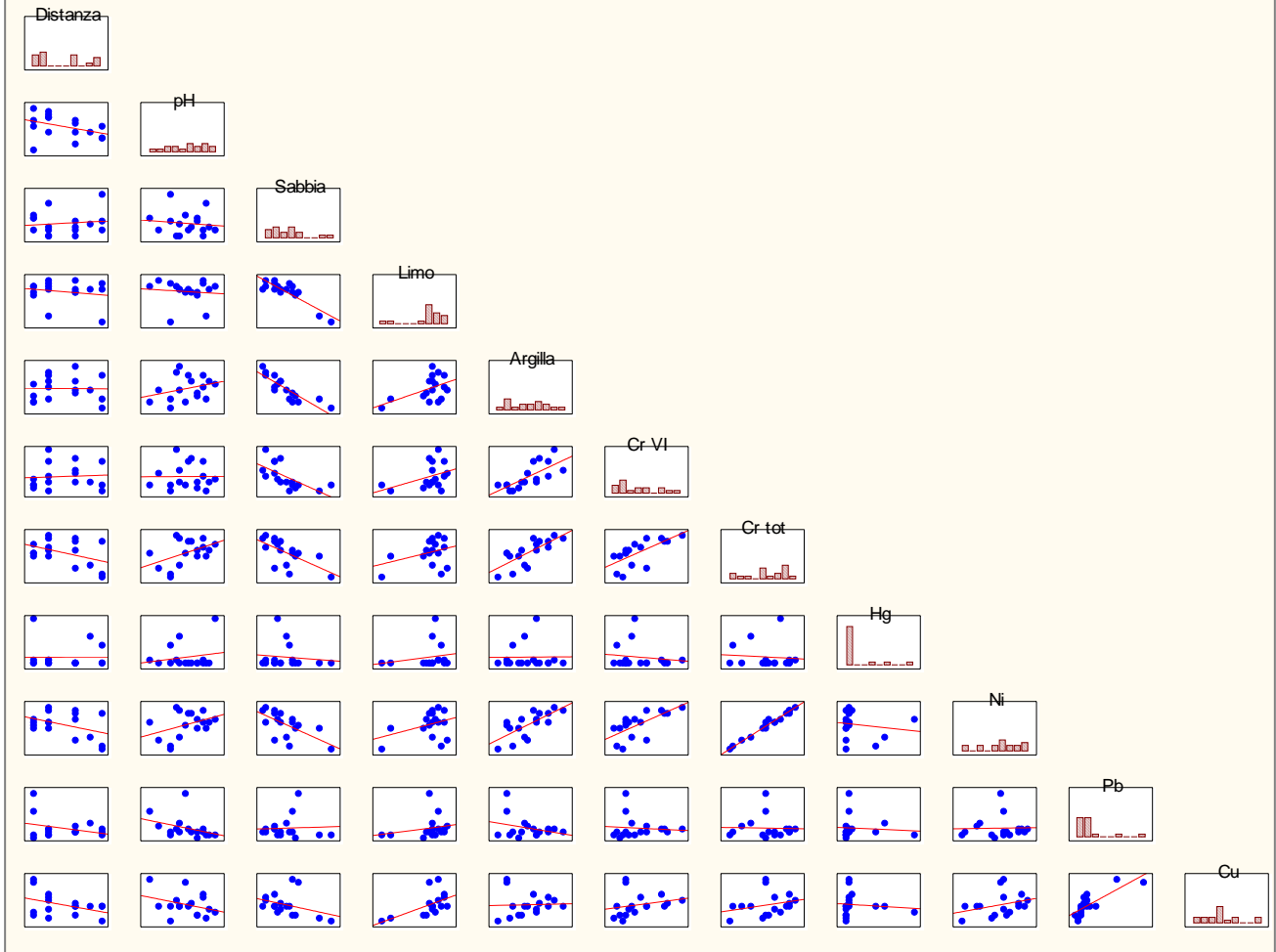


Figura 1.16 c







## 4. IPA: risultati delle analisi

Limiti D.Lgs 152/06 SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale (ng/g s.s.)					500	100	500		500	100	5000	100	100	100	100	100				100		5000		10000
Limiti D.Lgs 152/06 SITO B: ad uso commerciale e industriale (ng/g s.s.)					10000	10000	10000		10000	10000	50000	10000	10000	10000	10000	10000				5000		50000		100000
	IPA	Acenaftene	Acenaftilene	Antracene	Benzo(a)antracene	Benzo(a)pirene	Benzo(b) (j)fluorantene	Benzo(e)pirene *	Benzo(k)fluorantene	Benzo(ghi)perilene	Crisene	Dibenzo(a,c) (ah)antracene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,h)pirene	Dibenzo(a,i)pirene	Dibenzo(a,j)pirene	Fenantrene	Fluorantene	Fluorene	Indenof(1,2,3,c,d) pirene	Naftalene	Pirene	Sommatoria tutti IPA	Sommatoria IPA (D.Lgs 152/06)
SITO	TIPOLOGIA 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.
D1	B	<0,1	<0,1	<0,1	6,4	2,0	5,6	-	3,4	1,0	21,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	3,5	<0,1	0,6	<0,1	1,3	46,1	40,2
D2	B	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	0,2	1,7	-	1,6	0,2	3,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	1,2	<0,1	0,1	<0,1	1,3	11,3	8,3
D3	B	<0,1	<0,1	6,6	78,9	55,0	62,3	-	61,4	49,6	88,8	8,4	1,3	<0,1	<0,1	3,7	56,2	161,8	<0,1	38,3	<0,1	145,3	817,9	401,1
D4	B	<0,1	1,9	<0,1	199,5	86,3	153,9	-	76,0	93,3	101,3	7,7	1,3	<0,1	<0,1	7,8	20,7	159,6	<0,1	67,3	<0,1	159,6	1136,5	719,5
D5	B	<0,1	<0,1	<0,1	6,5	4,8	12,0	-	8,7	1,7	12,7	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	18,7	<0,1	2,7	<0,1	16,6	87,3	46,6
D6	B	<0,1	<0,1	<0,1	7,4	4,6	11,3	-	8,6	5,4	12,2	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	7,6	<0,1	2,8	<0,1	7,0	68,4	49,7
D7	A	<0,1	<0,1	<0,1	7,5	4,4	16,9	-	10,2	9,3	15,1	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	10,8	<0,1	6,7	<0,1	10,7	93,2	63,6
D8	A	<0,1	<0,1	<0,1	16,9	11,2	30,5	-	18,8	14,5	28,2	1,8	<0,1	<0,1	<0,1	0,7	0,6	32,2	<0,1	10,5	<0,1	32,4	198,7	121,0
D9	A	<0,1	<0,1	<0,1	1,9	0,8	4,1	-	2,8	2,1	3,5	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	4,0	<0,1	0,6	<0,1	3,1	24,1	15,4
D10	B	<0,1	<0,1	<0,1	51,6	64,8	118,5	-	60,4	62,4	72,1	5,8	1,1	<0,1	<0,1	4,9	10,6	122,1	<0,1	46,9	<0,1	122,4	744,0	435,9
D11	A	<0,1	<0,1	<0,1	3,6	2,8	11,4	-	6,7	6,1	13,0	0,4	<0,1	<0,1	1,3	0,1	1,0	9,3	<0,1	1,9	<0,1	9,5	67,5	45,1
D12	A	<0,1	<0,1	<0,1	5,5	3,5	8,5	-	6,2	3,8	7,9	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,6	10,0	<0,1	3,2	<0,1	9,9	60,8	35,6
D13	B	<0,1	<0,1	<0,1	8,9	10,7	22,6	-	14,7	12,9	18,6	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	4,7	27,8	<0,1	7,7	<0,1	28,4	158,9	88,9
D14	B	<0,1	<0,1	<0,1	1,4	0,9	2,6	-	1,9	2,5	3,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	3,1	<0,1	0,2	<0,1	3,1	20,0	12,7
D15	A	<0,1	<0,1	<0,1	2,7	2,9	7,6	7,1	2,9	7,6	8,0	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	2,8	4,7	<0,1	4,2	<0,1	6,2	52,7	34,0
D16	A	<0,1	<0,1	<0,1	3,8	2,1	6,4	-	4,9	3,5	6,6	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	6,1	<0,1	0,4	<0,1	6,0	40,8	27,5
D17	A	<0,1	2,2	0,7	11,6	11,8	29,4	23,2	11,4	22,9	21,4	4,2	4,5	<0,1	0,6	6,7	10,3	11,9	0,2	17,8	<0,1	15,2	183,0	120,4
D18	B	<0,1	<0,1	<0,1	3,2	2,3	4,9	-	4,2	1,5	5,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	6,0	<0,1	1,4	<0,1	5,9	37,2	21,5
D19	A	0,3	0,5	1,1	13,3	15,3	26,5	44,4	5,3	24,8	22,2	8,7	6,4	<0,1	<0,1	5,3	12,2	15,0	0,7	17,2	<0,1	22,1	197,1	119,2
D20	A	<0,1	<0,1	0,5	4,1	3,9	8,9	7,7	3,3	6,8	10,4	1,0	1,0	<0,1	<0,1	2,2	7,3	8,9	0,1	4,3	<0,1	10,3	73,3	40,7

\* Il Benzo(e)pirene non è stato analizzato per tutti i siti di campionamento e non è considerato nel calcolo della sommatoria di tutti gli IPA

Tabella 5 IPA: risultati dei campioni medio-compositi e raffronto dei valori con i limiti espressi dal D.Lgs 152/2006, in relazione alla tipologia di sito 'A' e 'B' (valori <math>q=1/2lq</math>).