



Sezione Provinciale di Ferrara
Via Bologna, 534
44124 Ferrara

ALLEGATO “Conchetta”

**Ricerca di microinquinanti
nei suoli del comune di Ferrara**
in relazione all’impianto d’incenerimento rifiuti
di Via Conchetta

**A cura di : D.ssa Manuela Mengoni
Dr. Giovanni F. Garasto
D.ssa Simona Coppi**

Ferrara, febbraio 2010

Ricerca di microinquinanti nei suoli del comune di Ferrara

in relazione all'impianto d'incenerimento rifiuti di Via Conchetta

Lo studio, voluto dalla Provincia di Ferrara, è stato realizzato negli anni 2006-2007, dalla Sezione di Ferrara di ARPA Emilia Romagna, nell'ambito del Progetto *Sistema per la valutazione e gestione ambientale di aree industriali della provincia di Ferrara*, finanziato con fondi per l'Obiettivo 2, 2004-2006.

Hanno curato l'indagine l'ing. *Gian Luca Guglielmini*, il dott. *Giovanni F. Garasto* e la dott.ssa *Simona Coppi*, che si sono avvalsi, per l'effettuazione dei campionamenti e delle varie elaborazioni statistiche e cartografiche dei dati, della dott.ssa *Manuela Mengoni*.

Hanno inoltre collaborato: il dott. *Luigi Gasparini* ha collaborato all'impostazione dei campionamenti; i Dipartimenti Tecnici delle Sezioni Arpa di Ferrara e Ravenna hanno effettuato le analisi sui campioni raccolti; dott. *Antonio Nassisi* (Arpa Piacenza) e la dott.ssa *Daniela Ballardini* (Arpa Ravenna) hanno fornito alcuni suggerimenti e informazioni utili, mentre altre informazioni utili sono state ricavate da collaborazioni con la prof.ssa *Laura Tositti* (Dipartimento di Chimica 'Ciamician' dell'Università di Bologna).

1. Ambito dell'indagine

L'impianto d'incenerimento per rifiuti solidi urbani, rifiuti ospedalieri trattati e rifiuti urbani pericolosi, sito nel comune di Ferrara in Via Conchetta, è stato attivo da metà degli anni '70 sino a fine 2005.

L'impianto è circondato da suoli agricoli (prevalentemente seminativi con qualche frutteto); la frazione di Malborghetto di Boara (con poco più di 1000 abitanti) è a 1-2 Km a ESE; sono invece più popolosi (circa 10000 abitanti complessivi) il quartiere di Barco e la frazione di Pontelagoscuro, i cui insediamenti abitativi sono rispettivamente a poco più di 2 Km (a WSW) e a poco meno di 2.5 Km (a NW); anche il nucleo urbano di Ferrara è a circa 2.5 Km a SW e S. Il tratto ferroviario Ferrara-Padova, che corre in direzione S-N, è a W a circa 2 Km. Nel raggio di un paio di chilometri dal camino dell'inceneritore (alto 50 m circa) sono comunque attualmente presenti l'impianto di depurazione acque del comune di Ferrara (gestione *Hera*), impianti sportivi (piscina comunale e Centro Universitario Studentesco), alcune scuole, il campeggio comunale, il canile comunale, il Parco urbano (con percorsi a piedi e in bicicletta), civili abitazioni, insediamenti agricoli e una scuola di formazione professionale per l'agricoltura (Istituto *F.lli Navarra*, a Malborghetto).

Trattandosi di area a potenziale ricaduta di sostanze pericolose, anche a seguito dell'allarme manifestato nel merito da parte di cittadini singoli e organizzati, Arpa Ferrara ha progettato una prima indagine per il rilievo di alcuni microinquinanti nel suolo, nell'ipotesi che questo manifestasse un 'effetto memoria' di eventuali contaminazioni in qualche modo distinguibili da quelle a provenienza da altre sorgenti d'inquinamento, lineari (*in primis* il traffico stradale), puntuali (tra cui importanti camini industriali) e diffuse. A tal proposito, va rilevato che, a circa 3.5 Km in linea d'aria dall'inceneritore di Via Conchetta (a W di questo), all'interno del *Petrolchimico* di Ferrara, era funzionante (da metà degli anni '70) un altro inceneritore, per rifiuti tossici e nocivi e con camino alto circa 40 metri, cessato a metà 2005, mentre l'attuale e attivo inceneritore di Ferrara (camino alto 82 metri) è in via Diana (zona *Piccola Media Industria*), al di là dell'ampia area del *Petrolchimico*, a W a circa 6.2 Km in linea d'aria dall'impianto di Via Conchetta (vedi **figure 1.2 e 1.3**).

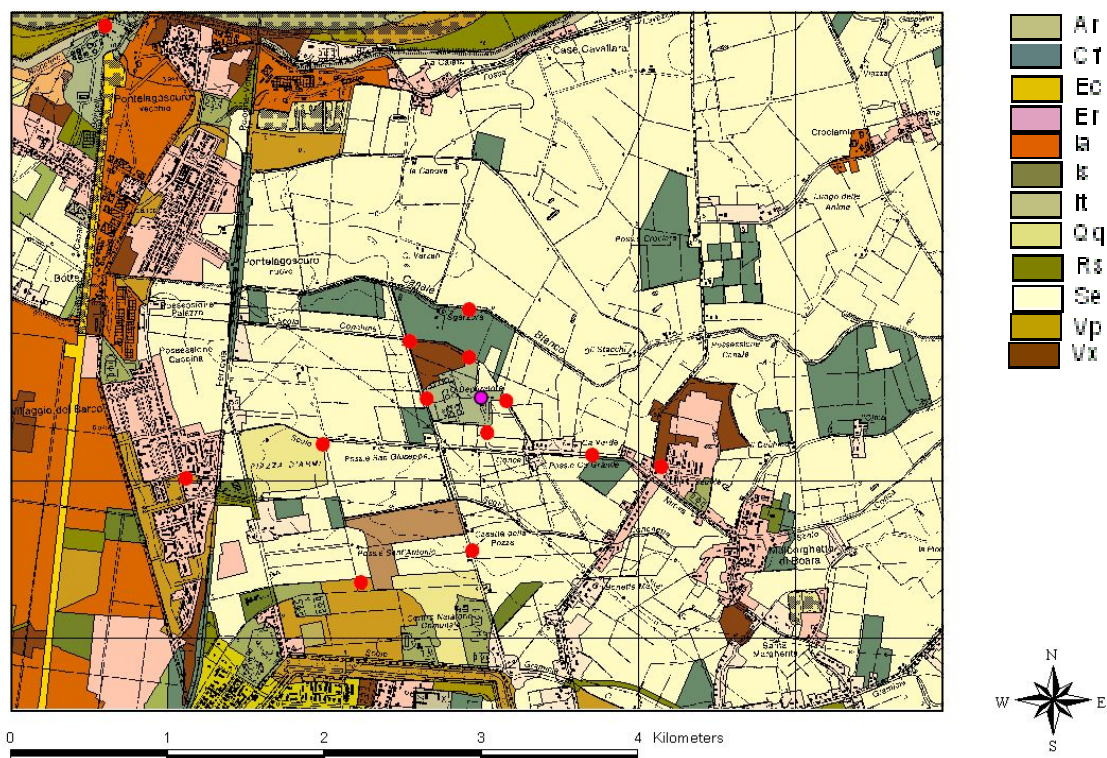


Figura 1.1 Vista del camino dell'inceneritore di Via Conchetta presso il Depuratore acque di Ferrara.

Figura 1.2 Ferrara. Ortofoto delle aree intorno a depuratore e inceneritore di Via

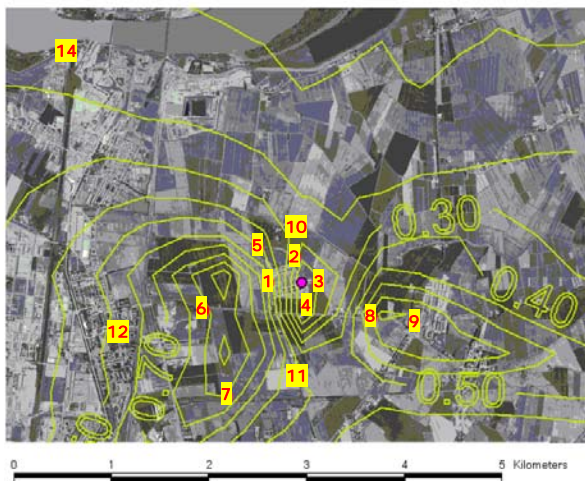


Figura 1.3 Mappa degli *usi del suolo* intorno a depuratore e inceneritore di Via Conchetta in Ferrara (Fonte RER).
Ar Argine; Cf Frutteti; Ec Tessuto residenziale compatto e denso; Er Tessuto residenziale rado; Ia Insediamenti produttivi e residenziali, artigianali e agricoli con spazi annessi; Is Insediamenti pubblici e privati; It Insediamenti pubblici e privati; Oq Discariche; Rs Reti stradali e spazi accessori; Se Seminativi semplici; Vp Parchi e ville; Vx Aree incolte nell'urbano.



L'indagine, piuttosto onerosa, è stata preceduta da applicazioni di un *modello di diffusione atmosferica* comunemente usato (l'ISC3ST dell'EPA americana) al fine di avere conoscenza sommaria delle aree di maggiore ricaduta potenziale degli inquinanti (vedi esempio 2003 in **figura 1.4**). Va rilevato che, se le direzioni prevalenti annuali dei venti sono (pur con variazioni interannuali) verso est e sud-est e verso ovest e sud-ovest, nel corso delle stagioni e di ogni singola giornata si osservano variazioni delle direzioni di ventilazione (vedi esempi in **figura 1.5**); inoltre, sono abbastanza frequenti situazioni di calma di vento.

Simulazione ISC3ST (2003) - Medie NOx
Solo inceneritore di via Conchetta (Ferrara)



Simulazione ISC3ST (2003) - Medie NOx
Inceneritori di Ferrara (Conchetta, Diana, Ambiente)

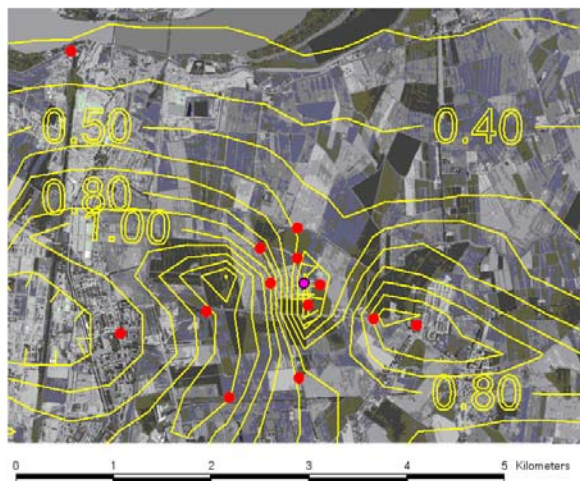


Figura 1.4 Simulazioni modellistiche sulle emissioni degli inceneritori di "Via Conchetta", "Via Diana" e di *Ambiente*.

Rose dei venti annuali. Comune di Ferrara.

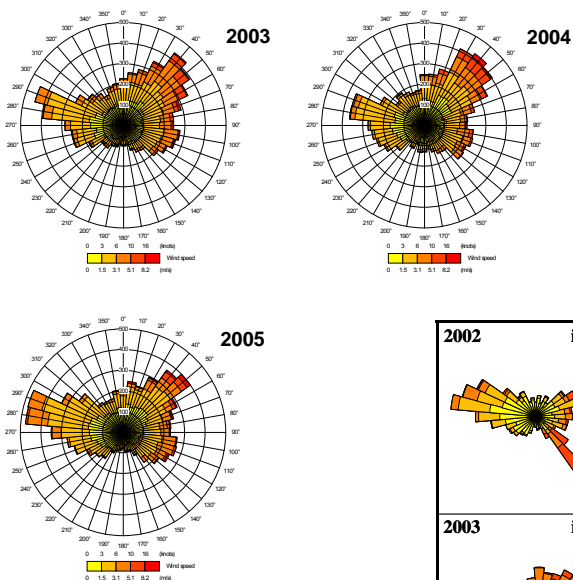
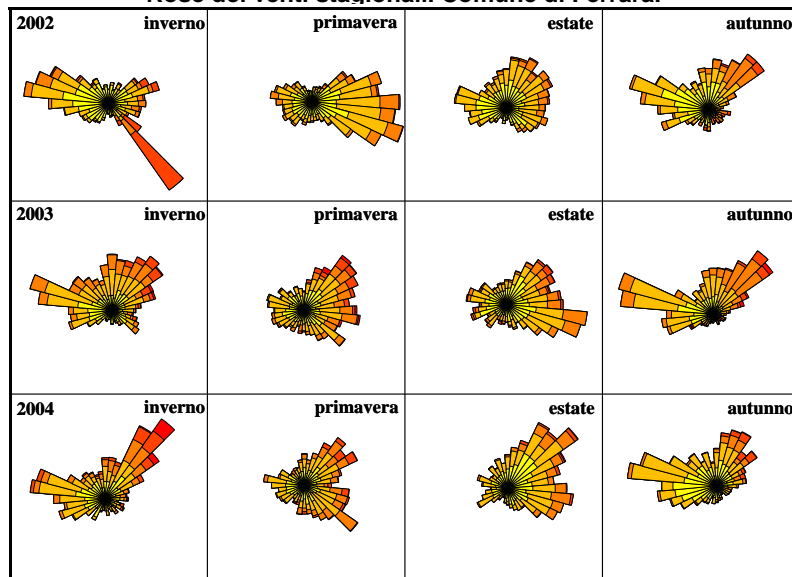


Figura 1.5

Rose dei venti stagionali. Comune di Ferrara.



Gli inquinanti presi in considerazione sono stati: alcuni *metalli* (*antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo totale ed esavalente, nichel, piombo, rame, stagno, tallio, vanadio, zinco*), *policlorodibenzodiossine* (PCDD) e *policlorodibenzofurani* (PCDF), *idrocarburi policiclici aromatici* (IPA) e *policlorobifenili* (PCB). Lo studio ha incluso differenti sommarie indagini preliminari/collaterali (variabilità dei campionamenti, verifiche di alcuni valori ‘alti’, contaminazioni in aree ‘di fondo’ e in punti soggetti all’influenza di specifiche pressioni). Le zone prescelte per l’individuazione dei siti di campionamento sono rappresentate nelle **figure 1.6, 1.7 e 1.8**.

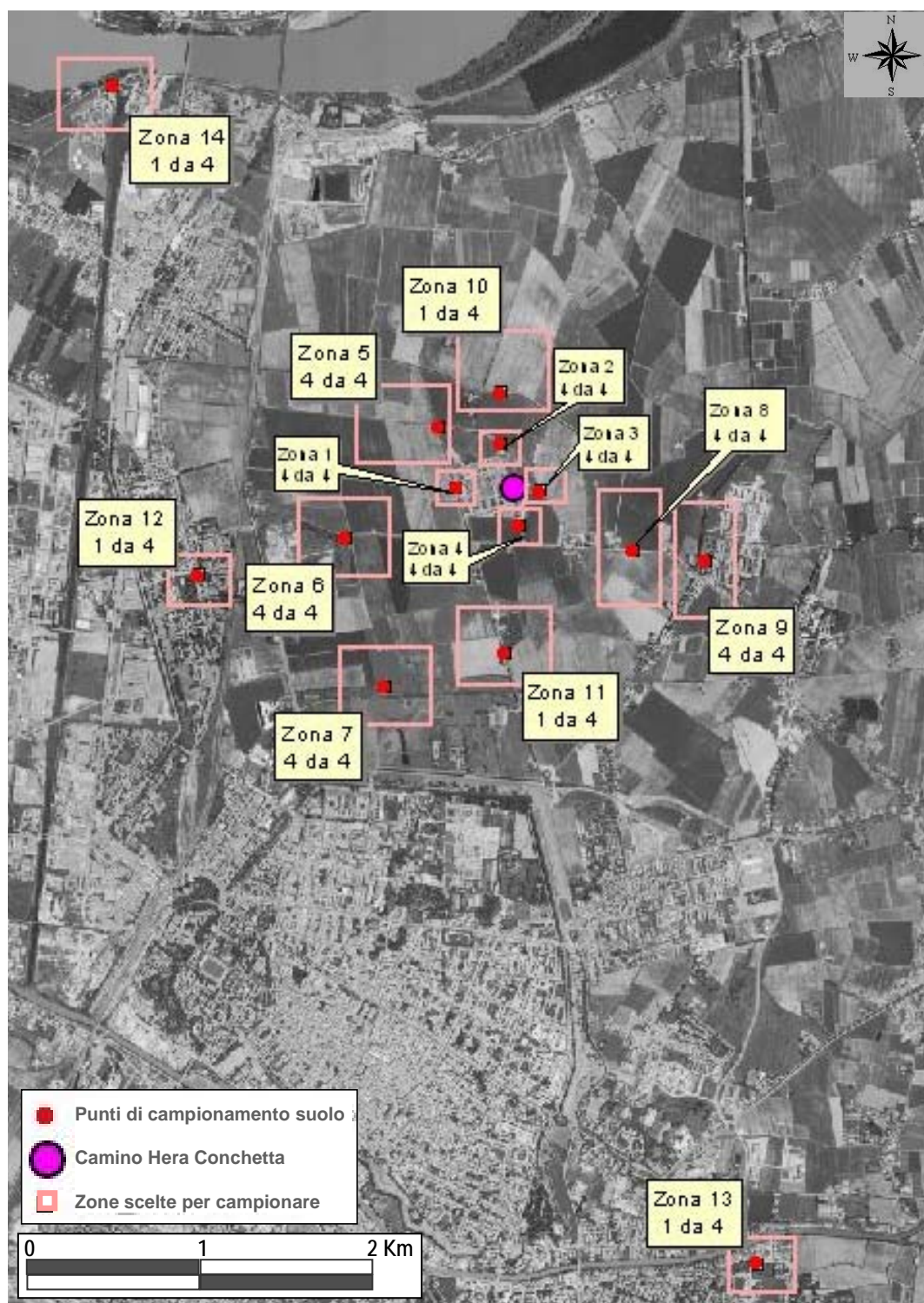


Figura 1.6 Siti di campionamento di Ferrara (esclusa autostrada).

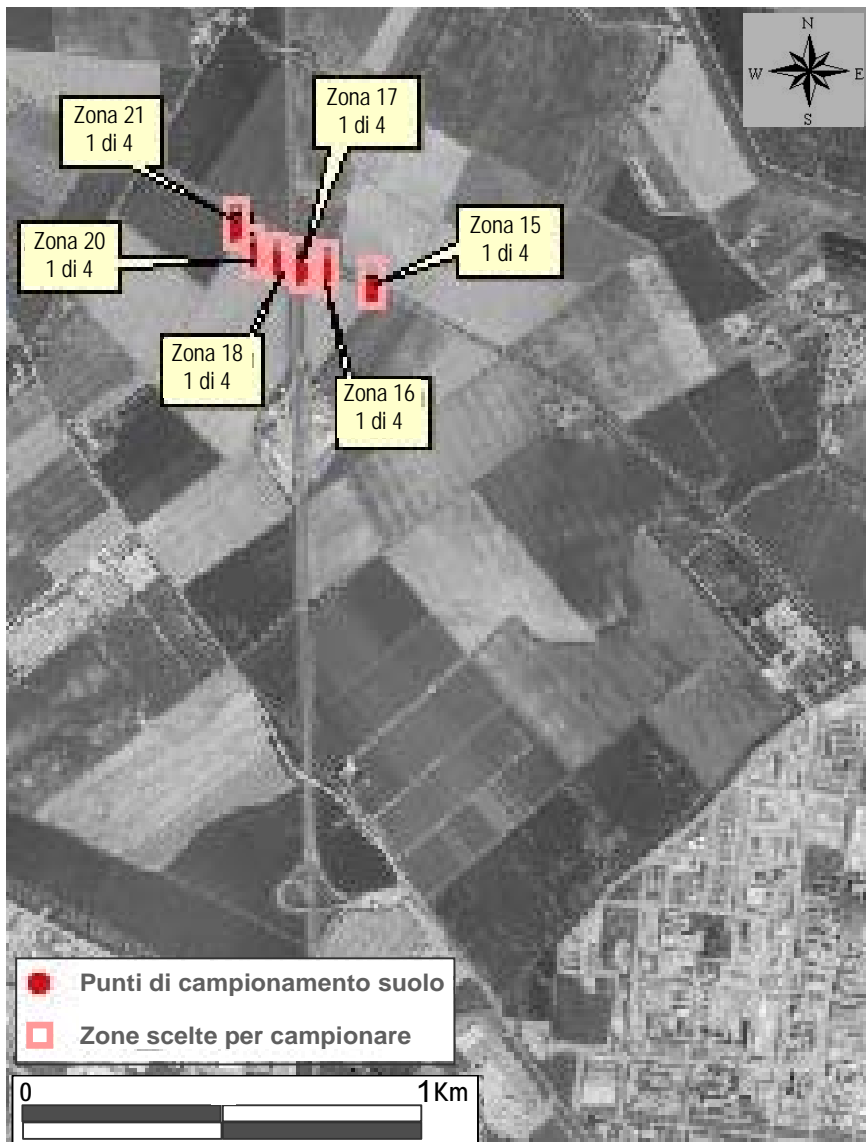


Figura 1.7 Punti di campionamento di Ferrara, presso autostrada A13.

Campionamento suolo - Gherardi

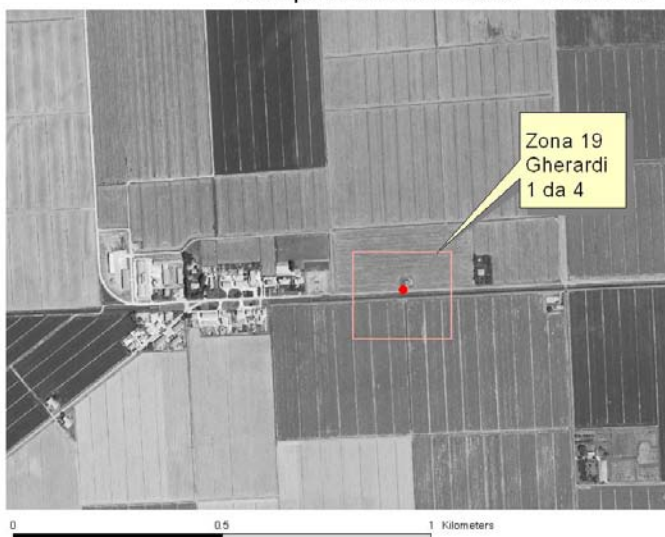


Figura 1.8 Sito di campionamento di Gherardi.

2. Metodologia dell'indagine

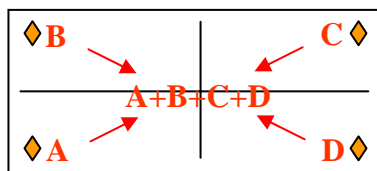
Una **prima serie di campionamenti** è stata effettuata a partire dal mese di giugno 2006. Ventuno siti sono stati individuati tentando, per alcuni di essi, di differenziare potenziali differenti livelli di 'influenza' delle emissioni dell'inceneritore, in relazione sia alla distanza dall'impianto sia alle direzioni prevalenti dei venti (maggiore diffusione annuale presumibile: asse E - W) sia alla presenza di alcuni recettori; altri punti sono stati inseriti in funzione di 'confronti' ritenuti utili. Di seguito si riporta l'elenco delle aree coinvolte nei campionamenti:

- area entro 400 metri dall'impianto (punti '1' a W e '2' a E, '3' a N e '4' a S);
- aree fra 0.5 e 1 Km (punto '5' a NW; punto '6' presso il limite di una discarica per inerti, a WSW; punto '8' lungo la strada per Malborghetto (Via Conchetta), a ESE; punto '10' a N; punto '11' a S);
- Malborghetto (punto '9' a ESE, a circa 1.2 Km);
- Parco Urbano (punto '7' a SW, a circa 1.4 Km);
- verde intorno alla stazione delle rete di monitoraggio della qualità dell'aria (Rete MAIA) nel quartiere di Barco (punto '12' a WSW, a circa 2 Km);
- aree urbane a 3-6 Km (punto '13' in località Villa Fulvia; punto '14' adiacente all'argine del Po, presso la Centrale acquedottistica);
- area intorno all'autostrada A13 (punti '15', '16', '17', '18', '20' e '21');
- area presso la stazione della citata Rete MAIA in località Gherardi – Jolanda di Savoia (punto '19', poco più di 6 Km a SE da una rilevante e attiva discarica provinciale per rifiuti urbani).

Per ogni zona di indagine il campionamento non è stato del tipo puntuale, cioè costituito da un solo prelievo, bensì di tipo diffuso (medio composito), in quanto sono stati effettuati campionamenti di suolo distribuiti su una superficie di 10 m²: aree rettangolari di circa 2 x 5 metri venivano suddivise in quattro quadranti (A; B; C; D), presso i cui vertici 'esterni' venivano prelevati i campioni di terreno. Tranne che per alcuni siti, in cui i 4 campioni venivano inviati ad analisi separatamente (vedi dopo), per la maggioranza di essi i 4 campioni di ogni area venivano miscelati a costituire un *pool* supposto rappresentativo dell'intera area di campionamento (vedi **figura 2.1**). I



CAMPIONE 4 di 4



CAMPIONE 1 di 4
(medio composito)

Figura 2.1

campionamenti sono stati effettuati a colonna indisturbata fino alla profondità di circa 10 cm, tramite apposito campionatore, dopo aver rimosso il sottile manto erboso dove presente. I terreni da campionare sono stati individuati, fuori da aree di proprietà privata, tra siti incolti, per evitare eventuali apporti di sostanze concimanti e mescolamenti da uno strato all'altro dovuto a operazioni di aratura necessarie per eventuali coltivazioni.

Una volta noti i risultati, una **seconda serie di campionamenti** veniva effettuata su aree ritenute meritevoli di una loro verifica (17 campioni): alcuni di essi si configuravano come veri e propri ri-campionamenti negli stessi 'quadrilateri', altri come nuovi campionamenti in aree immediatamente adiacenti.

Metodi di preparativa e analisi

Prima di ogni determinazione, si è provveduto alla preparazione del campione per l'analisi, effettuando la determinazione del residuo a 105°C e la separazione e quantificazione dello *scheletro* (particelle >2 mm). Di seguito si riporta il dettaglio sulle analisi effettuate. Si fa notare come in questa indagine non si è provveduto ad effettuare la determinazione della granulometria dei campioni.

Circa i **metalli**, la metodica ha comportato un attacco acido con acqua regia in mineralizzatore a microonde (metodica di riferimento: *Metodo XI 1 e 2* del DM 13/9/99) e la determinazione in spettrometria di massa con sorgente al plasma (metodica di riferimento: *Metodo EPA 6020*). Per il Cromo esavalente la metodica di riferimento è stata invece il *metodo 16 del manuale ANPA 3/2001*.

Circa **PCDD/PCDF** e **PCB**, l'estrazione dei campioni è stata effettuata con il sistema ASE (*Accelerated Solvent Extractor*). Gli estratti ottenuti sono stati sottoposti a due purificazioni successive attraverso colonna multistrato e allumina, come riportato nel *metodo EPA 8280*. Le due frazioni raccolte, contenenti rispettivamente PCB la prima e PCDD/PCDF la seconda, sono state analizzate separatamente in spettrometria di massa ad alta risoluzione. Il campione prima della fase di estrazione è stato addizionato di una quantità nota di *standard* contenente una miscela di marcati ¹³C così come previsto nel metodo EPA 8280.

Circa gli **IPA**, un'aliquota dell'estratto proveniente dal sistema ASE è stato sottoposto a purificazione per cromatografia su colonna impaccata con gel di silice secondo le modalità riportate nel *Manuale Unichim 825*. La determinazione analitica è stata eseguita in spettrometria di massa ad alta risoluzione.

L'*incertezza* di misura, cioè l'intervallo da associare ai valori analitici, è stata calcolata in base a quanto previsto dal *Sistema di qualità* Arpa Emilia-Romagna con l'*Istruzione operativa I50451/LM* ('Validazione e calcolo dell'incertezza di misura dei metodi di prova chimici').

Elaborazione dati

I dati risultanti dalle misure sono stati sottoposti a differenti procedure statistiche (vedi dopo, citazioni nel testo).

Ai fini di valutazioni strettamente ambientali, i valori inferiori ai limiti di quantificazione sono stati fatti pari a metà di detti limiti, secondo indicazione bibliografica (Istituto Superiore di Sanità - *Trattamento dei dati inferiori al limite di rivelabilità nel calcolo dei risultati analitici* - Rapporto ISTISAN 04/15 – 2004). Al fine di effettuare specifiche valutazioni sanitarie si è anche proceduto ad elaborazioni in cui i valori inferiori ai limiti di quantificazione analitica sono stati fatti pari a detti limiti.

Per la disamina dei risultati, oltre alle specifiche elaborazioni, si è fatto riferimento anche ai limiti di legge contenuti nel D.Lgs. 152/06 (e, prima, nel D.M. 471/99, in tabella denominata *Tabella 1: Valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare*). Va detto che tali limiti si collegano alla tematica dei 'siti contaminati', per la quale la norma fissa modalità e tecniche di campionamento diversi da quelli utilizzati, per motivi di studio, nella presente indagine; ciò nondimeno, si è ritenuto utile considerare i limiti tabellari come fonte interessante d'informazione di confronto, alla stregua di informazioni bibliografiche, la cui omogeneità, peraltro, con l'indagine qui presentata è lungi dal poter essere data per scontata.

3. Metalli

Premessa

Metalli sono naturalmente presenti in quantità variabili da luogo a luogo nel suolo, in relazione sia alle caratteristiche delle rocce di origine dello stesso, sia ai processi pedogenetici chimici, fisici e biologici che in esso avvengono. Con le componenti pedo-geochimiche naturali vanno ad interagire eventuali differenti attività antropiche, responsabili di immissioni più o meno circoscritte (in superficie e in profondità) e più o meno rilevanti in termini di quantità e caratteristiche (vedi esempi, non esaustivi, nella tabella di **figura 3.1**).

Date l'eterogeneità delle possibili 'contaminazioni' (determinanti interazioni mutevoli e complesse) e la variabilità spaziale e temporale, talora marcata, della composizione di una specifica 'porzione' di suolo, risulta in genere difficile e laborioso (anche tecnicamente) pervenire a valutazioni *certe* circa alterazioni chimiche di entità relativamente *modesta*. Ciò non toglie che l'uso di metodiche standardizzate, di strumenti raffinati e di specifiche tecniche di elaborazione e modellazione dei dati possano contribuire ad una conoscenza sufficientemente apprezzabile e affidabile di fenomeni spaziali come quelli qui indagati.

Antimonio	E' presente in processi di industrie meccaniche e preparazione di leghe metalliche. E' presente in elementi ignifughi, smalti, vernici e batterie.
Arsenico	E' prodotto dalla combustione del carbone ed è emesso da industrie minerarie e lavorazione del vetro. E' presente in pesticidi e conservanti per il legno.
Berillio	E' presente in processi di industrie elettriche e preparazione di leghe. E' presente in componenti elettronici, attrezzi e saldature.
Cadmio	E' emesso da processi di combustione del carbone e derivati del petrolio e da incenerimento rifiuti. E' presente in fertilizzanti per l'agricoltura.
Cobalto	E' presente in processi di industrie meccaniche, galvaniche e derivati del petrolio. E' presente in attrezzi, parti magnetiche, vernici e lacche.
Cromo Tot	E' presente in processi di industrie meccaniche e galvaniche ed è impiegato per la concia di pelli e cuoio. E' prodotto da combustioni di carbone e derivati del petrolio E' presente in smalti e vernici.
Cromo VI	E' impiegato nella realizzazione di nastri magnetici.
Mercurio	E' prodotto dalla combustione del carbone e da incenerimento di rifiuti. E' presente in prodotti chimici industriali, elettrici ed elettronici.
Nichel	E' impiegato nella lavorazione dell'acciaio ed è prodotto dalla combustione di carbone e oli combustibili. E' presente in batterie e catalizzatori.
Piombo	E' collegato a edilizia e traffico automobilistico. E' presente in batterie e in vari elementi come lega.
Rame	E' presente in processi di industrie meccaniche e utilizzo di combustibili fossili. E' molto impiegato in agricoltura come prodotto fitosanitario e in zootecnia.
Selenio	E' collegato a industrie fotovoltaica, elettronica e produzione del vetro. E' presente in decoloranti, gomma vulcanizzata e prodotti fotografici.
Stagno	E' presente in processi di industria galvanica e metallurgica e nella produzione del vetro. E' presente in contenitori per cibi.
Tallio	E' collegato a industrie di produzione cristalli ed elettronica. E' presente in insetticidi e topicidi.
Vanadio	E' collegato a processi di produzione di acciai e utilizzo come catalizzatore. E' emesso da processi di combustione di derivati del petrolio. E' presente nell'utensileria di precisione e nel vetro.
Zinco	E' in processi di industrie meccaniche e galvaniche. E' presente in elementi come lega, in parti di autoveicoli e di elettrodomestici in pigmenti e in integratori alimentari.

Figura 3.1

Indagini preliminari

E' a tutti noto come qualsiasi processo di misurazione implichi l'esistenza di una variabilità, che, nel caso di misure su matrici ambientali, riguarda tutte le fasi che vanno dal campionamento fino alla produzione strumentale dei dati. Tale variabilità va a sostanziarsi in quella che tecnicamente è definita '**incertezza**' e che fa sì che, nel 'leggere' il risultato di una misurazione, si debba considerare che esistono al di sopra e al di sotto di detto risultato altri valori dotati anch'essi di una variabile 'probabilità di esistenza'.

Va anche aggiunto che i risultati di sistemi di misura inglobano anche altri tipi di 'incertezza', collegati alle strategie di campionamento così come all'effettivo grado di 'rappresentatività' dei valori prodotti. In sostanza i valori, ancorché frutto di misure, vanno sempre e comunque guardati come 'stime' della 'realtà' e ciò (al di là di errori grossolani e di imperizie tecniche e procedurali) risulta tanto più vero quanto più le tecniche di campionamento e di analisi risultano 'deboli'. Basti pensare all'evoluzione strumentale, che, nel giro di pochi anni, ha portato a migliorare i *limiti di rilevabilità* e la *sensibilità* di alcuni metodi analitici, proprio nel campo della misurazione di microinquinanti in varie matrici.

Per restare nel campo della rappresentatività, vale comunque la pena sottolineare come le modalità di campionamento adottate nella presente indagine (mescolamento di quattro aliquote di terreno provenienti dai vertici di un quadrilatero) abbiano proprio avuto la finalità di migliorare la stessa, compensando in qualche modo la variabilità spaziale. Ciò nondimeno è stato ritenuto possibile che, in alcuni casi, un 'micro-inquinamento' puntuale particolarmente elevato (ma poco 'significativo' in termini di lettura di una complessiva situazione ambientale) andasse a 'distorcere' in modo sostanziale il risultato della rilevazione.

Al fine d'indagare, seppur sommariamente, tale ultima evenienza si è proceduto ad una **prima fase di studio preliminare** in cui sono state analizzate separatamente le aliquote provenienti da ciascuna area di campionamento (campioni '4 da 4'). L'ipotesi sopra indicata è in effetti risultata confermata (vedi **figura 3.2**).

Nella tabella in figura i singoli valori sono riportati in nero, mentre le relative medie e deviazioni standard sono rappresentate in **blu**. Va notato che, per poter effettuare i calcoli, i valori inferiori ai *limiti di rilevabilità* analitici sono stati sostituiti con la metà di detti limiti.

Ad un esame sommario si possono notare valori (trascritti in **rosso**) apparentemente disomogenei con gli altri per lo stesso parametro nello stesso sito; eliminando virtualmente tali valori si sono ottenute le medie parziali (trascritte in color **prugna** così come le conseguentemente calcolate variazioni percentuali delle medie complessive rispetto alle medie parziali). In ogni caso si sono applicati alcuni *test* statistici, adatti a campioni di ridotta numerosità, per l'individuazione di potenziali 'anomalie' (*test di Dixon* e *test di Grubbs*): quando con i *test* si sono ottenute significatività di rilievo ($p < 0.01$), si è provveduto a evidenziare in **grigio** i valori 'sospetti'.

La tabella può essere sommariamente commentata nel modo che segue.

Uno dei campioni del *sito 1* (C1-D) mostra, su qualche parametro, valori che si discostano sistematicamente (in più) rispetto agli altri tre campioni dello stesso sito: la mediazione dei valori dei quattro campioni corregge sostanzialmente il problema, generandosi così una modesta sovrastima (fra il +3 e il +11%). L'analisi statistica non individua comunque valori classificabili come 'anomali' per $p < 0.01$.

Uno dei campioni del *sito 2* (C2-C) mostra, su qualche parametro, valori che si discostano in più (se si esclude il *piombo*, che ha comportamento inverso) rispetto agli altri tre campioni dello stesso sito: a parte il *piombo*, la mediazione dei valori dei quattro campioni corregge sostanzialmente il problema, generando una modesta sottostima (fra il -10 e il -22%); per il *piombo* si ha invece una modesta sovrastima (+20%). L'analisi statistica non individua comunque valori classificabili come 'anomali' per $p < 0.01$.

codice	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo tot	Cromo VI	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Selenio	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
	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.
C1 A	0,60	5,50	0,70	<0,5	8,50	96,00	<0,5	<0,5	72,20	37,00	30,10	<2	1,90	<0,5	62,00	66,00
C1 B	0,50	5,70	0,70	<0,5	8,40	95,20	<0,5	<0,5	70,70	48,70	28,70	<2	2,50	<0,5	61,00	61,00
C1 C	0,70	6,70	0,80	<0,5	10,50	117,20	<0,5	<0,5	87,40	60,70	36,50	<2	2,10	<0,5	66,10	75,00
C1 D	0,50	8,20	0,80	0,50	12,00	130,00	<0,5	<0,5	100,50	71,00	34,50	<2	2,10	<0,5	74,00	76,00
media	0,58	6,53	0,75	0,31	9,85	109,60	0,25	0,25	82,70	54,35	32,45	1,00	2,15	0,25	65,78	69,50
dev.st	0,096	1,234	0,058	0,125	1,729	16,993	0,000	0,000	14,062	14,725	3,660	0,000	0,252	0,000	5,911	7,234
media parziale		5,97			9,13	102,80			76,77	48,80					63,03	67,33
variaz. stima		9%			8%	7%			8%	11%					4%	3%
C2 A	1,80	9,10	1,10	0,60	11,90	174,70	<0,5	<0,5	101,70	93,50	85,50	<2	20,60	<0,5	89,30	270,00
C2 B	2,90	9,50	1,00	0,90	11,90	202,30	<0,5	<0,5	97,50	145,50	103,00	<2	22,20	<0,5	85,50	322,00
C2 C	<0,5	4,50	0,60	<0,5	6,10	74,20	<0,5	<0,5	53,70	178,50	23,20	<2	2,20	<0,5	37,00	65,00
C2 D	1,20	7,30	1,00	<0,5	11,00	156,20	<0,5	<0,5	92,70	59,30	62,20	<2	9,50	<0,5	83,50	162,00
media	1,54	7,60	0,93	0,50	10,23	151,85	0,25	0,25	86,40	119,20	68,48	1,00	13,63	0,25	73,83	204,75
dev.st	1,110	2,277	0,222	0,314	2,783	55,123	0,000	0,000	22,108	53,093	34,501	0,000	9,482	0,000	24,668	114,547
media parziale	1,97	8,63	1,03		11,60	177,73			97,30	99,43	83,57		17,43		86,10	251,33
variaz. stima	-22%	-12%	-10%		-12%	-15%			-11%	20%	-18%		-22%		-14%	-19%
C3 A	0,70	17,90	1,20	<0,5	12,50	159,70	<0,5	<0,5	108,00	44,40	79,20	<2	3,70	<0,5	94,20	110,00
C3 B	0,70	17,00	1,10	<0,5	12,00	172,00	<0,5	<0,5	107,20	43,00	76,30	<2	3,70	<0,5	91,70	123,00
C3 C	0,60	10,30	1,10	<0,5	11,30	155,00	<0,5	<0,5	97,70	51,20	63,00	<2	2,80	<0,5	84,20	115,00
C3 D	0,60	10,50	1,20	<0,5	12,00	172,20	<0,5	<0,5	106,00	46,50	75,50	<2	3,50	<0,5	89,20	129,00
media	0,65	13,93	1,15	0,25	11,95	164,73	0,25	0,25	104,73	46,28	73,50	1,00	3,43	0,25	89,83	119,25
dev.st	0,058	4,088	0,058	0,000	0,493	8,730	0,000	0,000	4,755	3,585	7,178	0,000	0,427	0,000	4,270	8,421
media parziale																
variaz. stima																
C4 A	0,70	16,50	0,80	<0,5	10,50	133,70	<0,5	<0,5	97,00	57,50	64,50	<2	2,80	<0,5	72,10	114,00
C4 B	0,70	16,30	0,80	<0,5	10,50	130,70	<0,5	<0,5	94,50	56,50	67,70	<2	3,70	<0,5	76,60	111,00
C4 C	1,00	6,50	0,60	<0,5	7,40	91,00	<0,5	<0,5	65,00	48,00	39,80	<2	6,00	<0,5	50,10	132,00
C4 D	1,40	15,50	0,90	0,50	11,10	134,00	<0,5	<0,5	98,60	129,00	82,80	<2	10,00	<0,5	79,00	199,00
media	0,95	13,70	0,78	0,31	9,88	122,35	0,25	0,25	88,78	72,75	63,70	1,00	5,63	0,25	69,45	139,00
dev.st	0,332	4,819	0,126	0,125	1,674	20,953	0,000	0,000	15,940	37,741	17,820	0,000	3,213	0,000	13,213	41,061
media parziale		16,10				132,80			96,70	54,00	71,67		4,17		75,90	119,00
variaz. stima		-15%				-8%			-8%	35%	-11%		35%		-8%	17%
C5 A	0,60	8,30	0,80	<0,5	10,70	134,20	<0,5	<0,5	98,00	19,70	27,10	<2	2,10	<0,5	82,00	68,00
C5 B	0,50	9,00	1,00	<0,5	12,50	145,00	<0,5	<0,5	112,70	52,50	36,20	<2	2,20	<0,5	81,00	86,00
C5 C	0,50	9,00	1,00	<0,5	12,70	142,00	<0,5	<0,5	111,00	80,70	53,00	<2	2,40	<0,5	77,00	82,00
C5 D	1,60	15,70	0,90	0,70	11,50	134,50	<0,5	<0,5	101,50	130,00	85,40	<2	10,00	<0,5	69,50	202,00
media	0,80	10,50	0,93	0,36	11,85	138,93	0,25	0,25	105,80	70,73	50,43	1,00	4,18	0,25	77,38	109,50
dev.st	0,535	3,482	0,096	0,225	0,929	5,424	0,000	0,000	7,164	46,722	25,666	0,000	3,885	0,000	5,677	62,148
media parziale	0,53	8,77									38,77		2,23			78,67
variaz. stima	50%	20%									30%		87%			39%
C6 A	1,00	10,90	1,40	<0,5	14,50	177,00	<0,5	<0,5	128,50	35,70	50,50	<2	3,30	0,60	92,90	120,00
C6 B	1,00	11,50	1,50	<0,5	14,70	184,00	<0,5	<0,5	132,20	36,20	53,20	<2	3,50	0,60	96,20	123,00
C6 C	1,30	12,60	1,60	0,50	15,00	198,00	<0,5	<0,5	130,50	51,00	94,30	<2	5,50	0,60	99,50	209,00
C6 D	1,10	12,70	1,70	<0,5	17,00	205,50	<0,5	<0,5	147,00	45,30	55,50	<2	3,80	0,70	111,00	137,00
media	1,10	11,93	1,55	0,31	15,30	191,13	0,25	0,25	134,55	42,05	63,38	1,00	4,03	0,63	99,90	147,25
dev.st	0,141	0,873	0,129	0,125	1,152	12,964	0,000	0,000	8,437	7,421	20,718	0,000	1,005	0,050	7,875	41,828
media parziale											53,07					126,67
variaz. stima											19%					16%
C7 A	0,90	8,00	0,90	<0,5	10,80	117,70	<0,5	<0,5	95,20	22,10	29,50	<2	3,10	<0,5	55,00	81,00
C7 B	0,60	8,00	0,80	<0,5	10,70	137,50	<0,5	<0,5	95,30	44,00	34,00	<2	2,60	<0,5	50,70	81,00
C7 C	0,70	8,10	0,90	<0,5	11,50	141,60	<0,5	<0,5	101,50	23,00	30,80	<2	2,90	<0,5	56,70	82,00
C7 D	0,70	8,30	0,90	<0,5	10,70	129,20	<0,5	<0,5	94,40	28,70	31,00	<2	3,20	<0,5	53,70	85,00
media	0,73	8,10	0,88	0,25	10,93	131,50	0,25	0,25	96,60	29,45	31,33	1,00	2,95	0,25	54,03	82,25
dev.st	0,126	0,141	0,050	0,000	0,386	10,547	0,000	0,000	3,291	10,131	1,903	0,000	0,265	0,000	2,534	1,893
media parziale																
variaz. stima																
C8 A	1,50	5,10	0,60	<0,5	8,00	132,70	<0,5	<0,5	73,20	89,00	936,50	<2	12,20	<0,5	53,00	198,00
C8 B	1,20	3,80	<0,5	<0,5	6,60	73,50	<0,5	<0,5	55,80	46,00	35,50	<2	3,90	<0,5	44,00	103,00
C8 C	1,20	3,80	<0,5	<0,5	5,70	84,70	<0,5	<0,5	51,20	41,70	24,30	<2	3,50	<0,5	44,00	78,00
C8 D	1,80	5,30	0,60	<0,5	7,40	99,50	<0,5	<0,5	65,70	50,30	27,70	<2	3,40	<0,5	53,00	84,00
media	1,43	4,50	0,43	0,25	6,93	97,60	0,25	0,25	61,48	56,75	256,00	1,00	5,75	0,25	48,50	115,75
dev.st	0,287	0,812	0,202	0,000	0,998	25,709	0,000	0,000	9,884	21,785	453,691	0,000	4,305	0,000	5,196	55,859
media parziale						85,90				46,00	29,17		3,60			88,33
variaz. stima						14%				23%	778%		60%			31%
C9 A	0,60	7,70	0,90	<0,5	8,90	135,00	<0,5	<0,5	102,20	21,00	29,20	<2	2,20	<0,5	79,10	73,00
C9 B	0,60	8,40	0,80	<0,5	10,70	134,30	<0,5	<0,5	98,00	19,50	27,00	<2	2,10	<0,5	81,00	68,00
C9 C	0,60	7,50	0,90	<0,5	10,30	130,00	<0,5	<0,5	94,70	19,70	27,00	<2	2,10	<0,5	80,10	69,00
C9 D	0,50	7,70	0,80	<0,5	10,70	134,50	<0,5	<0,5	99,70	21,90	28,40	<2	2,10	<0,5	81,00	72,00
media	0,58	7,83	0,85	0,25	10,15	133,45	0,25	0,25	98,65	20,53	27,90	1,00	2,13	0,25	80,30	70,50
dev.st	0,050	0,395	0,058	0,000	0,854	2,319	0,000	0,000	3,148	1,132	1,089	0,000	0,050	0,000	0,906	2,380
media parziale																
variaz. stima																

Figura 3.2 Risultati dell'indagine preliminare sulla variabilità legata ai campionamenti 'puntuali' (vedi decodifica colori nel testo).

I campioni del *sito 4* mostrano, per diversi parametri, variabilità non sistematiche, comunque a carico di due campioni (C4-C e C4-D). L'analisi statistica non individua comunque valori classificabili come 'anomali' per $p < 0.01$.

Uno dei campioni del *sito 5* (C5-D) mostra, su alcuni parametri, valori che si discostano in più (se si esclude il *piombo*) rispetto agli altri tre campioni dello stesso sito: a parte il *piombo*, la mediazione dei valori dei quattro campioni corregge solo in parte il problema, generando una discreta sovrastima (fra il +20 e il +87%). L'analisi statistica individua comunque quattro valori potenzialmente 'anomali' (per $p < 0.01$).

Uno dei campioni del *sito 6* (C6-C), mostra, su un paio di parametri, valori che si discostano sistematicamente (in più) rispetto agli altri tre campioni dello stesso sito: la mediazione dei valori dei quattro campioni corregge sostanzialmente il problema, generando una modesta sovrastima (del +16 e del +19%). L'analisi statistica attribuisce comunque a detti valori un sospetto di 'anomalia' (per $p < 0.01$).

Uno dei campioni del *sito 8* (C8-A) mostra, su alcuni parametri, valori che si discostano in più (in maniera notevolissima il *rame*) rispetto agli altri tre campioni dello stesso sito: a parte il *rame*, la mediazione dei valori dei quattro campioni corregge solo in parte il problema, generando una moderata sovrastima (fra il +14 e il +60%). L'analisi statistica individua comunque valori di *rame* e di *stagno* come potenzialmente 'anomali' per $p < 0.01$.

I campioni dei *siti 3, 7 e 9* mostrano una buona omogeneità praticamente per tutti i parametri; le potenziali 'anomalie' statistiche degli ultimi due siti sono prive di significato sostanziale.

Volendo trarre una conclusione sintetica dall'indagine preliminare descritta, si può osservare che ***soprattutto per alcuni parametri le rilevazioni puntuali hanno mostrato una consistente variabilità, che riduce la rappresentatività delle misure, traducendosi più spesso in una sovrastima.*** Escludendo i parametri trovati assai spesso inferiori al corrispondente limite di quantificazione del metodo (vale a dire *cadmio*, *cromo esavalente*, *mercurio*, *selenio* e *tallio*), i coefficienti di variazione percentuali maggiori, mediamente del 30-40% o poco più, si sono avuti per *piombo*, *rame* e *stagno*, mentre i più bassi hanno riguardato *cromo totale*, *nicel* e *vanadio* (coefficienti medi del 10-15%); *antimonio*, *arsenico*, *berillio*, *cadmio*, *cobalto* e *zinco* hanno presentato coefficienti intermedi (mediamente fra il 15 e il 30%).

La citata variabilità si è comunque in genere dimostrata il frutto di singoli campioni, tendenzialmente più alti degli altri prelevati dalla stessa area. A parte l'onerosità dell'operazione, il suggerimento di effettuare correntemente ***misurazioni replicate*** nell'area indagata sembrerebbe (a questo punto dell'analisi dei dati raccolti con la presente limitata indagine) il migliore; in ogni caso andrebbe considerata l'opportunità di ri-campionare quando ci si trova in presenza di valori giudicabili 'elevati' e in assenza di altre informazioni sufficientemente giustificative di detti valori nel sito indagato.

Altre considerazioni possono essere fatte. In qualche raro caso ci si è trovati di fronte a ***valori chiaramente 'anomali'***, probabile frutto di micro-inquinamenti puntuali particolarmente elevati o di possibili 'errori grossolani' di campionamento o analitici, se non di altri elementi (es. granulometria dei suoli) non presi in considerazione in questa prima indagine. Ovviamente, per *rappresentare* correttamente un sito, tali valori non andrebbero tenuti in considerazione. Ai fini delle elaborazioni successive del presente studio, coadiuvati dall'indagine statistica e dai risultati di ri-campionamenti, si è provveduto a scartare (comunque con estrema prudenza, e quindi in rarissimi casi) quegli elementi che avrebbero distorto impropriamente dette elaborazioni (vedi dopo).

Seguendo la logica più sopra citata, dopo la prima è stata condotta una ***seconda indagine preliminare***, finalizzata a ri-campionare quelle aree in cui si sospettava l'esistenza di 'anomalie' o di potenziali 'superamenti' effettivi di limiti di legge vigenti. Si è potuto così operare un confronto tra i valori dei campioni '1 da 4' (campionamenti diffusi) o delle medie dei campioni '4 da 4' (campionamenti puntuali) con i risultati di nuovi campionamenti (tutti '1 da 4'). Va evidenziato

come, ritenendo assai probabile l'esistenza di una contaminazione locale diffusa, non si sia ritenuto opportuno ri-campionare attorno all'autostrada anche in presenza di apparenti 'superamenti'; si è invece proceduto a ri-campionamenti e a nuovi campionamenti multipli (a brevi distanze) nel caso della zona 13 (cioè 'Villa Fulvia', in cui si prevedeva di posizionare, dal 2008, una nuova stazione 'di fondo urbano' di rilevazione della qualità dell'aria) e in quello della zona 19 (cioè 'Gherardi', area in cui è da tempo installata stazione 'di fondo rurale remoto' di misurazione della qualità dell'aria e che, come già detto, è posta a poco più di 6 Km a SE rispetto alla rilevante e attiva discarica di Jolanda di Savoia) (vedi **Figure 3.3** e **3.4**).

Figura 3.3 Villa Fulvia - 2° campionamento (2007)

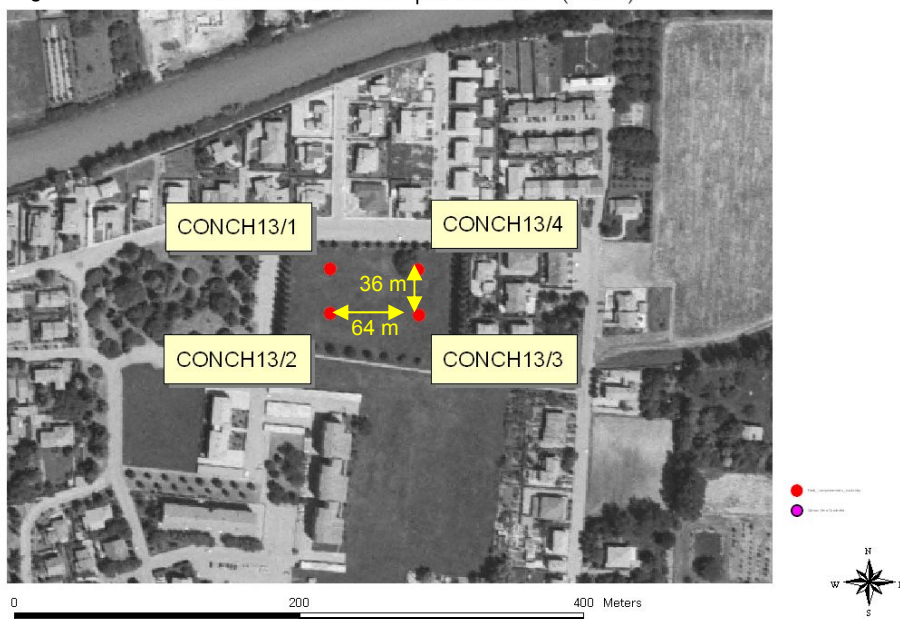
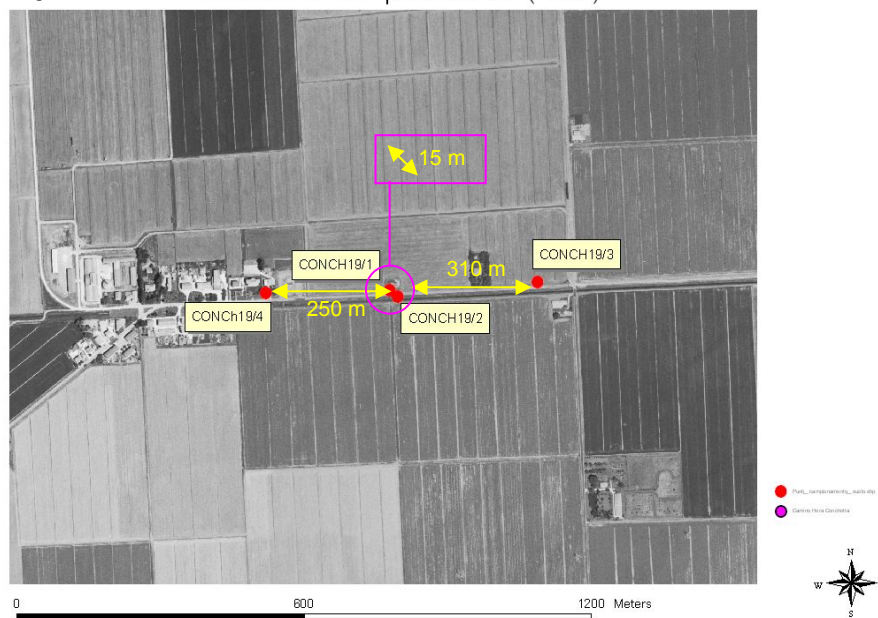


Figura 3.4 Gherardi - 2° campionamento (2007)



Nella tabella in **figura 3.5** i singoli valori dei risultati dei campionamenti '4 da 4' sono riportati in nero, mentre le relative medie sono rappresentate in **blu**, i valori dei ri-campionamenti '1 da 4' in **fucsia** e i valori dei nuovi campionamenti (sempre '1 da 4') in **verde**. Va notato che, per poter effettuare i calcoli, i valori inferiori ai *limiti di rilevabilità* analitici sono stati sostituiti con la metà di detti limiti. In **rosso** sono trascritti i valori apparentemente disomogenei con gli altri per lo stesso

parametro nello stesso sito; essendo stati applicati (ai gruppi di dati di numerosità superiore a 2) alcuni *test* statistici per l'individuazione di potenziali 'anomalie' (*test di Dixon* e *test di Grubbs*), si è provveduto a evidenziare in grigio i valori 'sospetti' con significatività di rilievo ($p < 0.01$).

	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo tot	Cromo VI	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Selenio	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
	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.
C4 A	0,70	16,50	0,80	<0,5	10,50	133,70	<0,5	<0,5	97,00	57,50	64,50	<2	2,80	<0,5	72,10	114,00
C4 B	0,70	16,30	0,80	<0,5	10,50	130,70	<0,5	<0,5	94,50	56,50	67,70	<2	3,70	<0,5	76,60	111,00
C4 C	1,00	6,50	0,60	<0,5	7,40	91,00	<0,5	<0,5	65,00	48,00	39,80	<2	6,00	<0,5	50,10	132,00
C4 D	1,40	15,50	0,90	0,50	11,10	134,00	<0,5	<0,5	98,60	129,00	82,80	<2	10,00	<0,5	79,00	199,00
media C4	0,95	13,70	0,78	<0,5	9,88	122,35	<0,5	<0,5	88,78	72,75	63,70	<2	5,63	<0,5	69,45	139,00
C4 rep	<0,5	19,60	0,91	<0,5	10,61	138,79	<0,5	<0,5	100,00	51,52	71,11	<2	2,93	<0,5	48,99	133,33
C8 A	1,50	5,10	0,60	<0,5	8,00	132,70	<0,5	<0,5	73,20	89,00	936,50	<2	12,20	<0,5	53,00	198,00
C8 B	1,20	3,80	<0,5	<0,5	6,60	73,50	<0,5	<0,5	55,80	46,00	35,50	<2	3,90	<0,5	44,00	103,00
C8 C	1,20	3,80	<0,5	<0,5	5,70	84,70	<0,5	<0,5	51,20	41,70	24,30	<2	3,50	<0,5	44,00	78,00
C8 D	1,80	5,30	0,60	<0,5	7,40	99,50	<0,5	<0,5	65,70	50,30	27,70	<2	3,40	<0,5	53,00	84,00
media C8	1,43	4,50	0,43	<0,5	6,93	97,60	<0,5	<0,5	61,48	56,75	256,00	<2	5,75	<0,5	48,50	115,75
C8 rep	2,25	10,07	0,83	<0,5	9,95	127,01	<0,5	1,18	89,10	546,92	52,01	<2	8,53	<0,5	43,84	158,77
C10	0,50	9,90	1,20	<0,5	12,30	161,50	<0,5	<0,5	107,20	20,20	30,80	<2	2,60	<0,5	92,70	81,00
C10 rep	<0,5	10,00	1,30	<0,5	12,00	161,80	<0,5	<0,5	109,30	20,00	30,90	<2	1,70	0,50	66,80	76,00
C13	3,50	9,00	1,10	0,90	11,60	182,30	<0,5	<0,5	98,50	150,20	99,80	<2	3,50	<0,5	63,00	342,00
C13 rep	<0,5	7,90	0,70	<0,5	9,20	123,60	<0,5	<0,5	85,00	13,40	26,80	<2	1,60	<0,5	35,00	84,00
C13 new1	<0,5	7,60	0,70	<0,5	8,90	126,60	<0,5	<0,5	84,00	14,00	20,40	<2	1,70	<0,5	38,70	69,00
C13 new2	<0,5	7,80	0,70	<0,5	8,80	126,60	<0,5	<0,5	80,80	13,40	25,50	<2	2,00	<0,5	38,90	79,00
C13 new3	<0,5	7,10	0,80	<0,5	8,80	112,40	<0,5	<0,5	76,40	18,80	28,90	<2	2,50	<0,5	45,60	81,00
C19	0,80	10,70	1,60	<0,5	13,70	185,30	<0,5	<0,5	132,20	27,30	42,70	<2	3,20	0,70	126,00	100,00
C19 rep	<0,5	11,20	2,30	<0,5	19,70	190,40	<0,5	<0,5	131,80	24,70	42,90	<2	3,50	0,80	85,40	98,00
C19 new1	0,81	7,88	1,16	<0,5	17,61	159,68	<0,5	<0,5	115,99	39,05	55,04	<2	4,98	<0,5	73,00	154,11
C19 new2	0,58	7,49	1,15	<0,5	14,86	133,64	<0,5	<0,5	92,51	45,62	33,87	<2	2,42	<0,5	64,98	101,38
C19 new3	0,60	9,10	1,10	<0,5	15,60	142,00	<0,5	<0,5	104,80	25,80	34,40	<2	2,30	<0,5	64,60	87,00

Figura 3.5 Risultati dell'indagine di ri-campionamento (vedi decodifica colori nel testo).

Come si può osservare dalla tabella, l'indagine di ri-campionamento, se da un lato conferma pienamente numerosi valori di numerosi parametri, dall'altro non scioglie la questione delle disomogeneità tra punti vicini, messe in luce nella prima indagine preliminare (*siti 4 e 8*); peraltro compare qualche nuovo dato abnormemente elevato e quindi potenzialmente 'anomalo'. Quanto ai campionamenti (tutti '1 da 4') effettuati nelle aree di 'Villa Fulvia' e di 'Gherardi' si è osservata difformità tra i due siti: a 'Villa Fulvia' (*sito 13*) i valori elevati, riscontrati nel precedente campionamento nella stessa area, non sono stati riconfermati e c'è stata piuttosto una buona omogeneità con i dati 'bassi' delle aree vicine di nuovo campionamento; invece a 'Gherardi' (*sito 19*) i valori 'alti' di *cromo totale* e di *nichel* sono risultati sostanzialmente riconfermati dal campionamento nella stessa area, mentre nelle aree vicine di nuovo campionamento si sono rinvenuti valori un po' più contenuti.

In sostanza, le due indagini preliminari appena descritte (finalizzate rispettivamente al confronto di campioni '4 da 4' con campioni '1 da 4' e al confronto fra campionamenti ripetuti nelle stesse aree o in aree molto vicine fra loro) depongono entrambe per una **disomogeneità di rappresentatività spaziale dei rilievi puntuali, valevole particolarmente per alcuni parametri**. Quanto osservato, se rende decisamente difficoltose e 'ambigue' analisi geografiche a più ampio raggio, non necessariamente va ad inficiarle sempre e ovunque, affidandosi l'onere della prova in tal senso all'impostazione delle strategie di campionamento, analisi e di elaborazione dei dati.

Elaborazioni e risultati

Prima di procedere all'esposizione delle elaborazioni effettuate circa i parametri 'metalli' va detto che si è dovuto decidere se, alla luce degli esiti delle indagini preliminari sopra descritte, alcuni valori/campioni con evidenti 'anomalie' andassero esclusi dalle elaborazioni stesse, pena un loro stravolgimento (decisamente improprio per le finalità dello studio effettuato).

Per evitare una disomogeneità di comportamento nei confronti dei campioni sottoposti alle indagini preliminari rispetto a quelli che non ne erano stati coinvolti (cioè tutti i campioni '1 da 4' non ri-campionati), si è deciso di lasciare comunque nelle elaborazioni quasi tutti i valori originari e quelli dei ri-campionamenti, escludendo soltanto:

- i campioni C5-D e C8-A, comportanti sia 'anomalie' evidenti su più parametri, supportate da *test statistici*, sia consistenti disomogeneità sistematiche rispetto agli altri tre campioni puntuali prelevati dalle stesse aree;
- il campione C13 prelevato in primo campionamento in sito 'Villa Fulvia' (in realtà lontano da pressioni emissive dirette locali) e manifestante consistenti disomogeneità sistematiche con gli altri campioni prelevati sia nello stesso sito che negli altri tre strettamente adiacenti;
- un valore puntuale 'estremo', relativo al *piombo* da ri-campionamento del *sito 8*.

Così facendo, le scelte hanno sicuramente comportato l'inclusione, nelle elaborazioni, di alcune 'anomalie minori', delle quali si è ritenuto comunque si dovesse tener conto solo dopo, in fase di riflessione sugli elaborati.

Un'altra operazione necessaria sul *database* ha riguardato il trattamento dei valori risultati inferiori ai *limiti di rilevabilità*. I parametri che hanno presentato costantemente valori inferiori a detti limiti, cioè *cromo esavalente* e *selenio*, e il *mercurio*, che è stato trovato in un solo campione in fase di ri-campionamento (nel *sito 8*), sono stati esclusi completamente dalle elaborazioni, mentre, per tutti gli altri parametri, per rendere possibili i calcoli, si è provveduto alla sostituzione dei valori inferiori ai limiti di rilevabilità analitica con valori pari alla loro metà.

Quanto ai valori 'multipli', riguardanti cioè lo stesso *sito*, si è provveduto a utilizzare la *media* degli stessi.

Nella tabella di **figura 3.6** sono comunque riportati tutti i valori utilizzati per le elaborazioni: quelli inferiori al relativo limite di quantificazione analitico sono stati posti in celle con fondo **verde**. Va notato che l'identificativo dei vari siti di campionamento include un codice 'C' seguito da una cifra ed il posizionamento geografico del sito stesso rispetto al camino di Via Conchetta (con la distanza); per i siti peri-autostradali il posizionamento si riferisce invece alla collocazione e distanza rispetto ai bordi della carreggiata stradale; in taluni casi si è utilizzata anche una dicitura breve a scopo d'identificazione più chiara del sito (esempi: 'P.Urb' per *Parco Urbano*, 'Malb' per *Malborghetto*).

In cima alla tabella sono i valori che la legge assegna come limiti accettabili in relazione ad alcune specifiche destinazioni d'uso del suolo: (A) 'uso verde pubblico, privato e residenziale' e (B) 'uso commerciale e industriale'. Premesso che nessun valore (escluso un paio di quelli classificabili come 'anomali') è risultato prossimo al limite più alto (B), tutti i valori (siano essi appartenenti a campioni '1 da 4' o, come medie, '4 da 4') sono stati comunque confrontati con il limite più basso (A) e, quando sono stati trovati ad esso superiori, sono stati comunque riportati in **rosso**; il fondo delle celle di siti classificati come a uso diverso da (A) è stato colorato in **giallo** (uso 'B') oppure in **grigio** (siti peri-autostradali).

Poiché esiste un'incertezza analitica da associarsi ad ogni valore, quando l'applicazione di essa ha 'riportato' il valore 'fuori limite A' al di sotto di detto limite, si è provveduto a colorare in **celeste** il fondo della cella. Ricordando che l'incertezza applicata non include una quota parte (probabilmente non irrilevante) da collegarsi alla variabilità del metodo di campionamento, va notato come i valori che non 'rientrano' rispetto al 'limite A' appartengano però tutti ad aree classificabili come di tipo 'B' (uso commerciale e industriale) con l'eccezione di un valore di *cromo*

totale (uno dei campioni prelevati a Gherardi) e della quasi totalità dei valori di *stagno*. Circa quest'ultimo parametro va però detto che recentemente un gruppo di lavoro nazionale, costituito da esperti di APAT, ISS, APPA e ARPA regionali, ha considerato il limite 'A' di 1 mg/Kg s.s. sostanzialmente inapplicabile, vista l'estrema diffusione di valori superiori a detto limite quasi ovunque.

Limiti D.Lgs. 152/06 SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale		10	20	2	2	20	150	120	100	120	1	1	90	150
Limiti D.Lgs. 152/06 SITO B: ad uso commerciale e industriale		30	50	10	15	250	800	500	1000	600	350	10	250	1500
Date campionamenti	Sito	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo tot	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
		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.
20/06/2006	C1 W 330 m	0,58	6,53	0,75	0,31	9,85	109,60	82,70	54,35	32,45	2,15	0,25	65,78	69,50
22/06/2006	C2 N 260 m	1,54	7,60	0,93	0,50	10,23	151,85	86,40	119,20	68,48	13,63	0,25	73,83	204,75
22/06/2006	C3 E 170 m	0,65	13,93	1,15	0,25	11,95	164,73	104,73	46,28	73,50	3,43	0,25	89,83	119,25
20/06/2006 e 24/01/2007	C4 S 220 m	0,60	16,65	0,84	0,28	10,24	130,57	94,39	62,13	67,41	4,28	0,25	59,22	136,17
20/06/2006	C5 NW 570 m	0,53	8,77	0,93	0,25	11,97	140,40	107,23	50,97	38,77	2,23	0,25	80,00	78,67
05/07/2006	C6 Disc WSW 1 Km	1,10	11,93	1,55	0,31	15,30	191,13	134,55	42,05	63,38	4,03	0,63	99,90	147,25
05/07/2006	C7 P.Urb. SW 1.4 Km	0,73	8,10	0,88	0,25	10,93	131,50	96,60	29,45	31,33	2,95	0,25	54,03	82,25
15/06/2006 e 24/01/2007	C8 perMaib E 800 m	1,83	7,19	0,60	0,25	8,26	106,46	73,33	46,00	40,59	6,07	0,25	45,42	123,55
13/06/2006	C9 Maib E 1.2 Km	0,58	7,83	0,85	0,25	10,15	133,45	98,65	20,53	27,90	2,13	0,25	80,30	70,50
22/06/2006 e 24/01/2007	C10 N 560 m	0,38	9,95	1,25	0,25	12,15	161,65	108,25	20,10	30,85	2,15	0,38	79,75	78,50
15/06/2006	C11 S 1 Km	0,25	6,90	0,70	0,25	10,00	121,70	92,00	17,00	27,30	1,80	0,25	62,00	64,00
05/07/2006	C12 Barco WSW 2 Km	0,80	5,20	1,60	0,90	13,70	110,70	72,50	38,20	36,30	2,40	0,60	96,50	103,00
23/01/2007	C13 V.Fulvia 5 Km	0,25	7,90	0,70	0,25	9,20	123,60	85,00	13,40	26,80	1,60	0,25	35,00	84,00
23/01/2007	C13b V.Fulvia 5 Km	0,25	7,60	0,70	0,25	8,90	126,60	84,00	14,00	20,40	1,70	0,25	38,70	69,00
23/01/2007	C13c V.Fulvia 5 Km	0,25	7,80	0,70	0,25	8,80	126,60	80,80	13,40	25,50	2,00	0,25	38,90	79,00
23/01/2007	C13d V.Fulvia 5 Km	0,25	7,10	0,80	0,25	8,80	112,40	76,40	18,80	28,90	2,50	0,25	45,60	81,00
06/07/2006	C14 Acq.Po 3.3 Km	0,60	9,00	1,30	1,10	16,30	165,50	125,00	37,00	36,10	2,30	0,50	84,20	86,00
19/07/2006	C15 A13 E 150 m	0,60	15,40	1,70	0,25	15,20	181,50	141,20	28,90	45,00	2,80	0,60	83,80	96,00
19/07/2006	C16 A13 E 50 m	0,50	11,90	1,40	0,25	14,20	170,00	133,70	32,50	38,70	2,50	0,50	73,00	107,00
19/07/2006	C17 A13 E 10 m	0,80	9,20	1,00	0,50	13,30	177,70	132,00	58,00	42,20	2,70	0,25	57,20	145,00
19/07/2006	C18 A13 W 10 m	0,80	12,60	1,40	0,25	13,50	159,80	124,50	55,50	39,00	2,80	0,50	73,20	132,00
16/07/2006 e 13/02/2007	C19 Gherardi	0,53	10,95	1,95	0,25	16,70	187,85	132,00	26,00	42,80	3,35	0,75	105,70	99,00
13/02/2007	C19b Gherardi	0,81	7,88	1,16	0,25	17,61	159,68	115,99	39,05	55,04	4,98	0,25	73,00	154,11
13/02/2007	C19c Gherardi	0,58	7,49	1,15	0,25	14,86	133,64	92,51	45,62	33,87	2,42	0,25	64,98	101,38
13/02/2007	C19d Gherardi	0,60	9,10	1,10	0,25	15,60	142,00	104,80	25,80	34,40	2,30	0,25	64,60	87,00
19/07/2006	C20 A13 W 50 m	0,60	19,30	1,50	0,25	15,20	176,50	137,50	31,60	40,10	2,60	0,50	82,00	99,00
20/07/2006	C21 A13 W 150 m	0,60	26,10	1,70	0,25	15,70	190,00	149,50	27,50	42,70	2,70	0,60	85,00	101,00

Figura 3.6 Tabella dei valori utilizzati nelle elaborazioni.

La tabella di **figura 3.7** fornisce una rappresentazione d'insieme dei dati dell'indagine, poco significativa ai fini di un'analisi locale ma in qualche modo utile a raffronti di carattere generale, di necessità approssimati, con dati di letteratura. Interessante è anche notare come siano evidenti alcune differenze di variabilità campionaria tra i metalli considerati.

Indagine 'Conchetta' (mg/Kg s.s.)	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo tot	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Tallio	Vanadio	Zinco
media	0,65	10,37	1,12	0,33	12,54	147,67	106,16	37,53	40,36	3,20	0,36	70,05	103,63
dev.st	0,36	4,60	0,37	0,21	2,87	26,83	23,27	21,81	13,89	2,32	0,16	19,03	32,73
cv%	56%	44%	33%	63%	23%	18%	22%	58%	34%	72%	45%	27%	32%
min	0,25	5,20	0,60	0,25	8,26	106,46	72,50	13,40	20,40	1,60	0,25	35,00	64,00
max	1,83	26,10	1,95	1,10	17,61	191,13	149,50	119,20	73,50	13,63	0,75	105,70	204,75

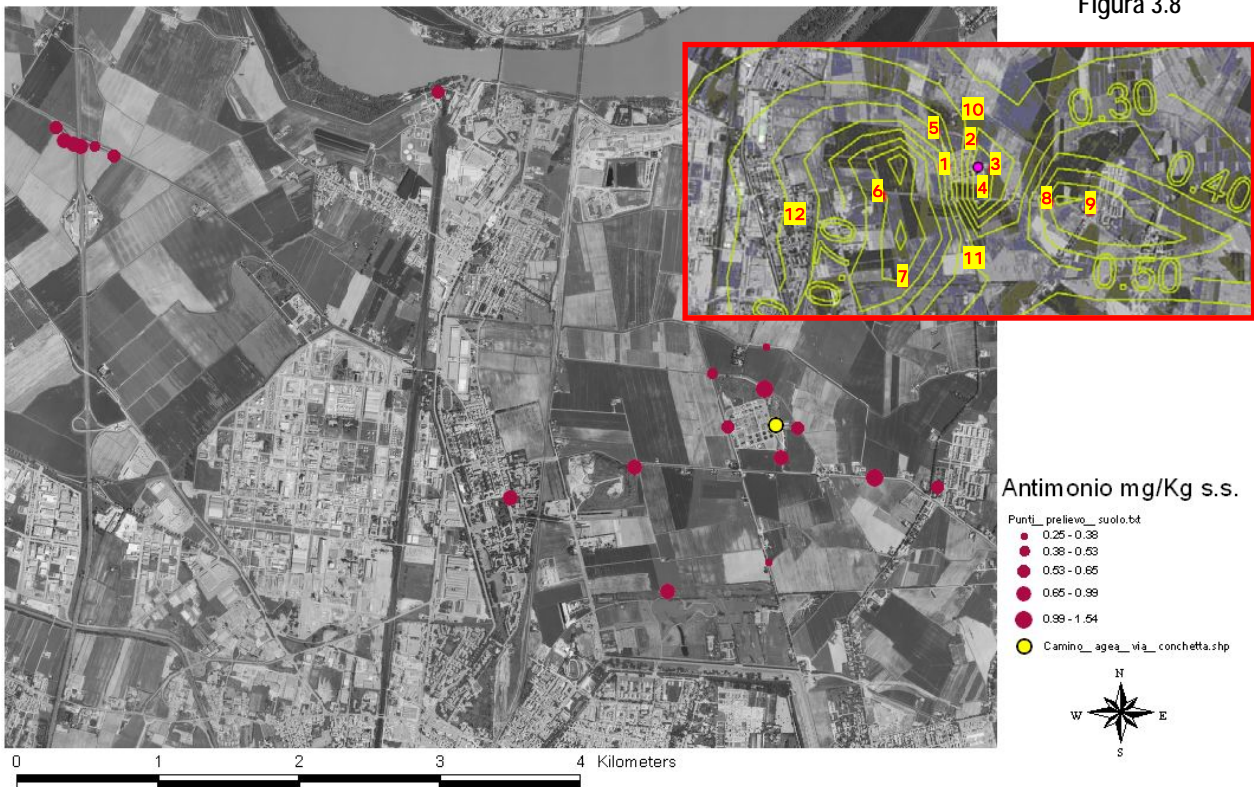
Figura 3.7 Statistica descrittiva dell'indagine.

Una prima, molto approssimativa, esplorazione ‘di tipo cartografico’ dei dati è stata effettuata con l’ausilio di mappe tematiche, costruite sovrapponendo ad *ortofoto* alcune piccole aree circolari di grandezza proporzionata alla concentrazione rinvenuta di ciascun metallo in ciascun sito.

Le **figure da 3.8 a 3.19** riportano tali rappresentazioni cartografiche; si può rilevare come alcune di esse evidenzino, per qualche metallo, comportamenti, somiglianze e differenze fra tipologie di siti. Per esempio, i punti intorno all’autostrada sembrano avere valori più consistenti di *arsenico*, *cromo totale* e *nicel*, mentre per le zone intorno all’inceneritore (per ragionare sulle quali si è aggiunta accanto alle figure la rappresentazione della simulazione modellistica riportata in premessa) un gradiente spaziale di un qualche senso e rilievo sembra apprezzarsi solo per alcuni dei metalli considerati. Va comunque rilevato che la classificazione dei dati è stata molto ‘spinta’, portando talora a tenere distinti valori tra loro assai vicini.

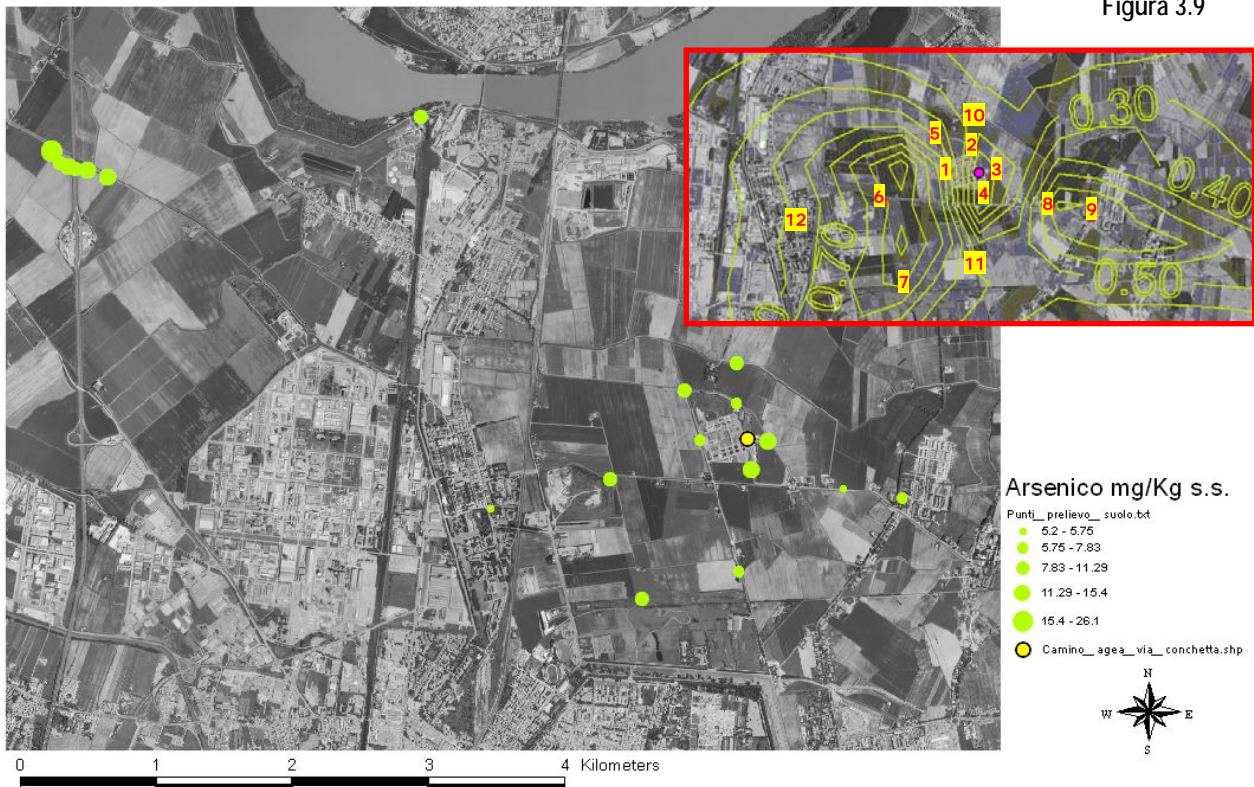
Antimonio

Figura 3.8



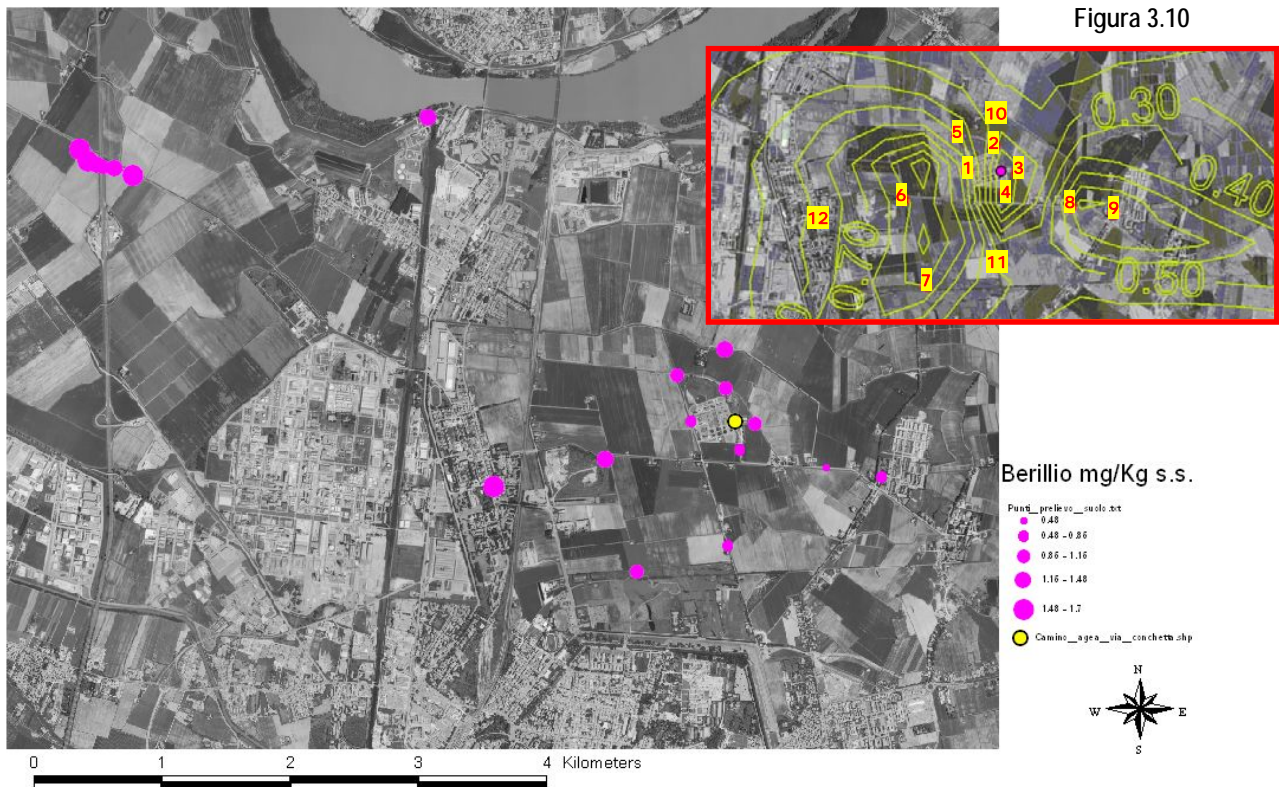
Arsenico

Figura 3.9



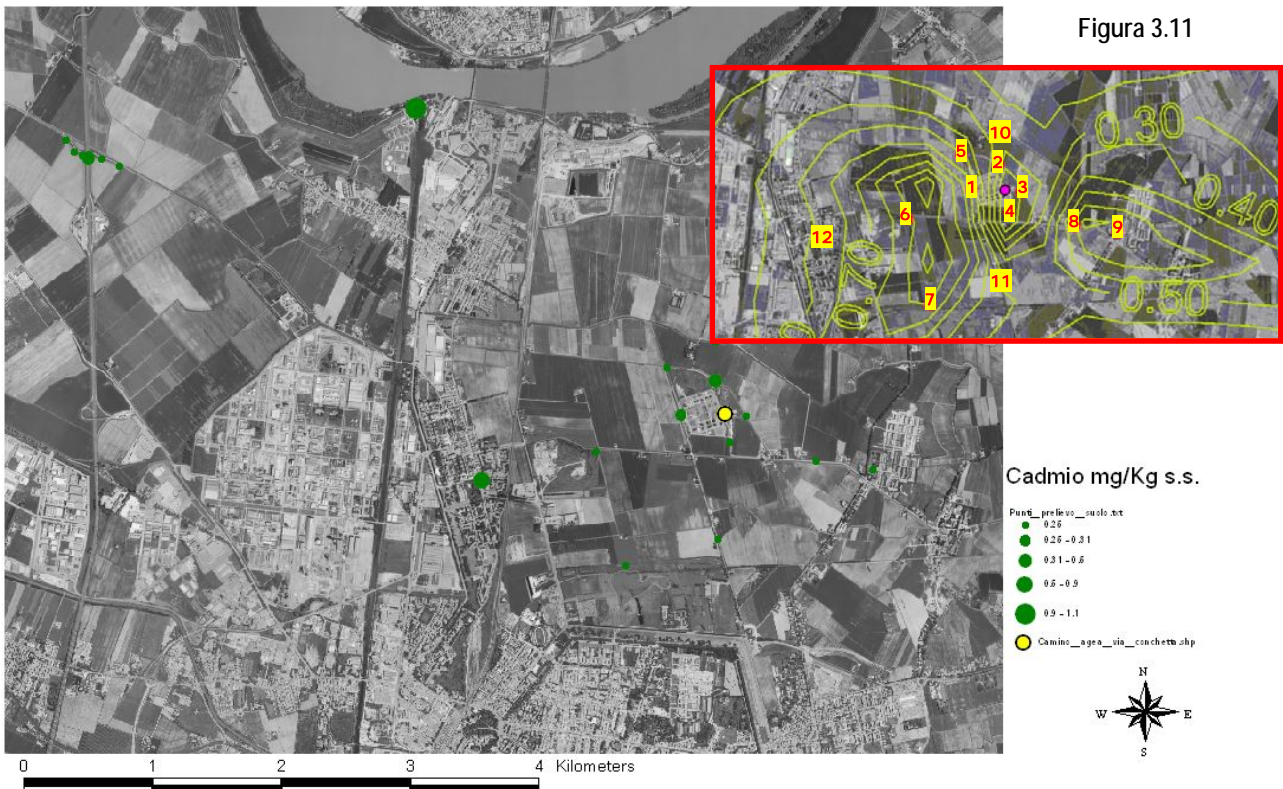
Berillio

Figura 3.10



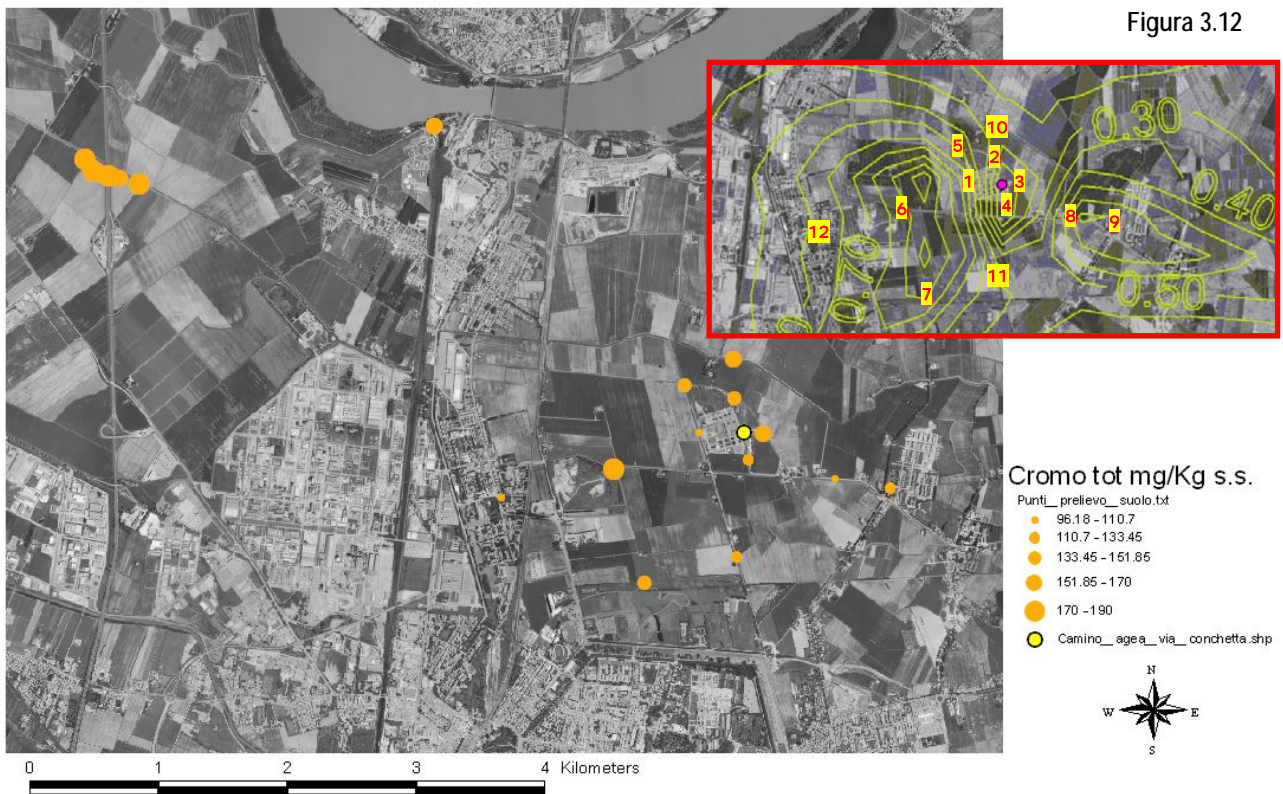
Cadmio

Figura 3.11



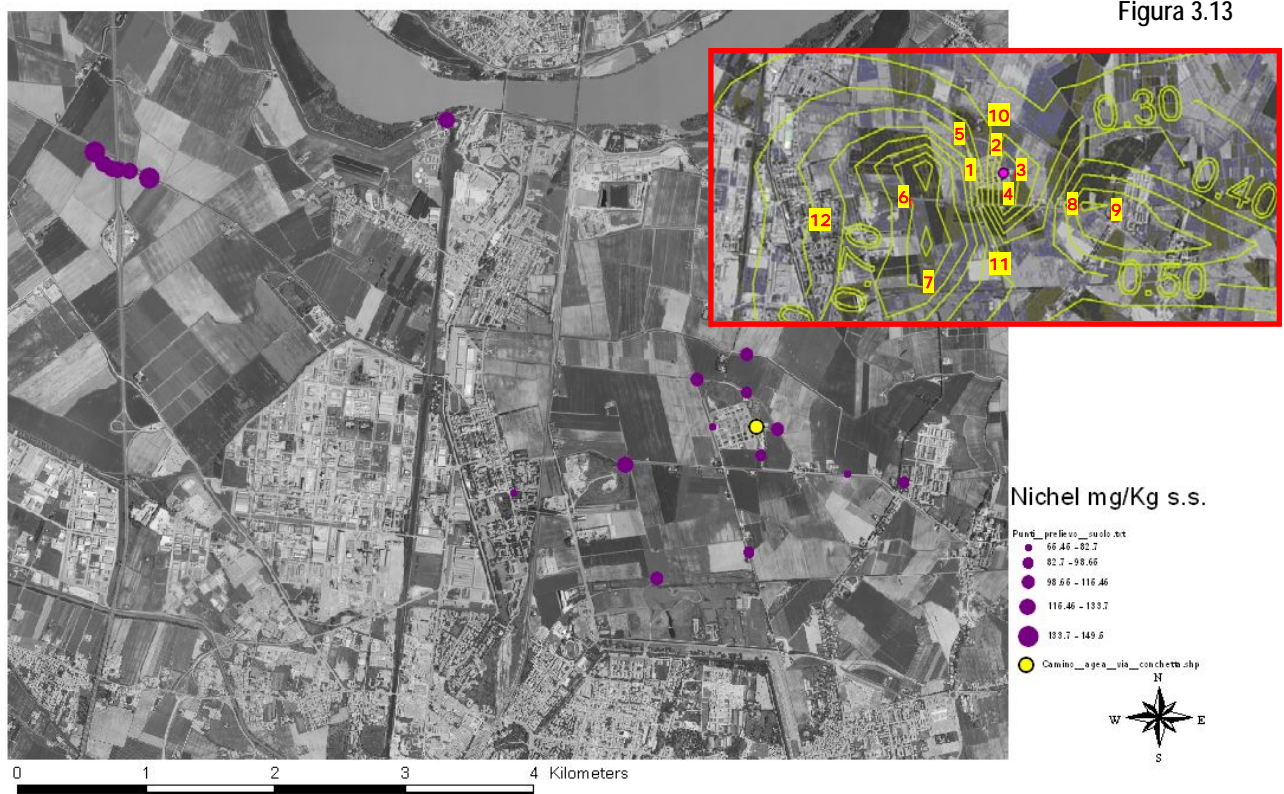
Cromo tot

Figura 3.12



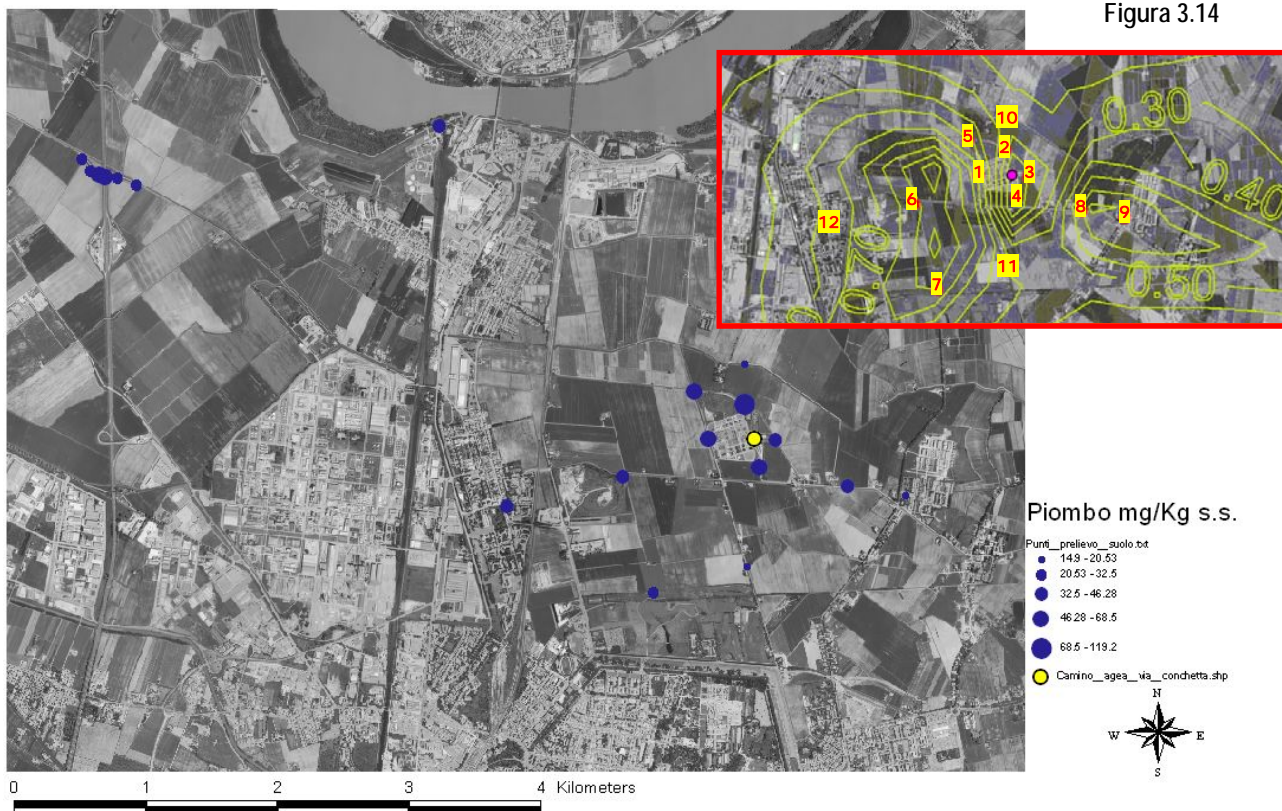
Nichel

Figura 3.13



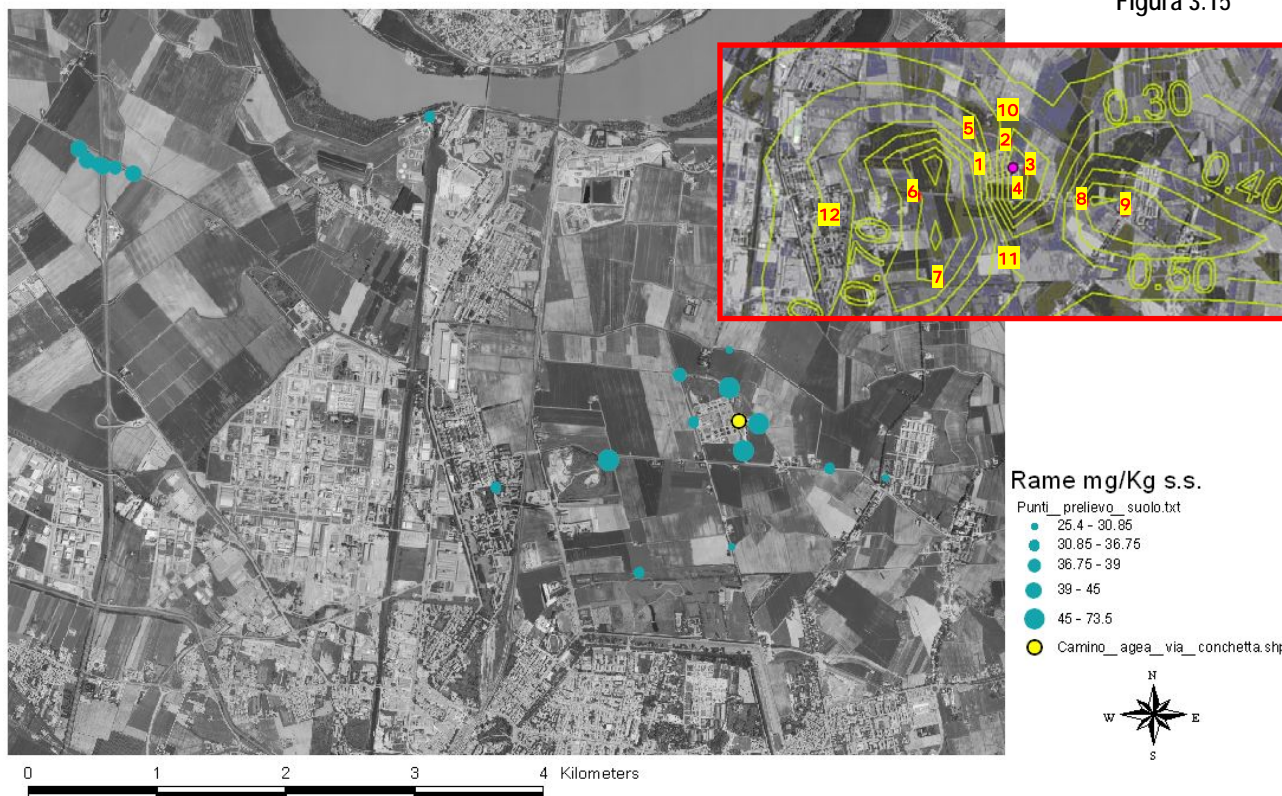
Piombo

Figura 3.14



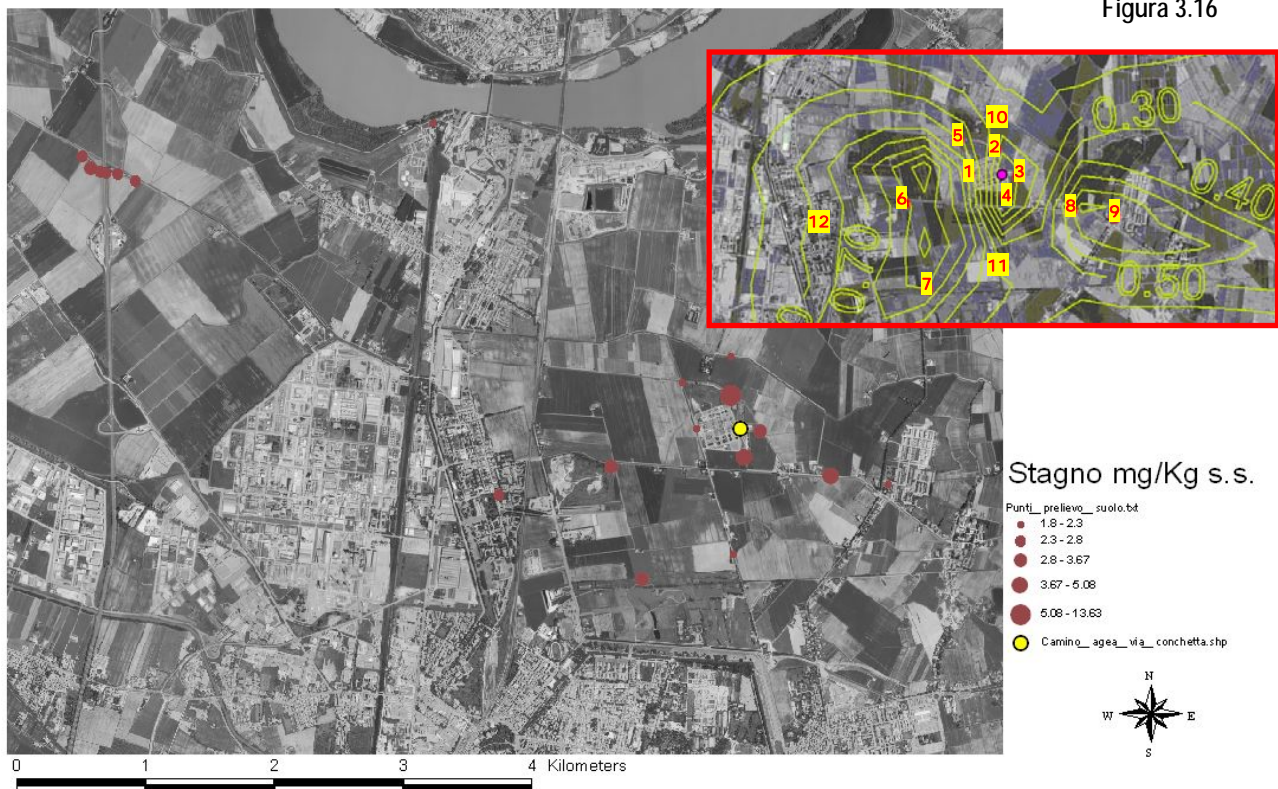
Rame

Figura 3.15



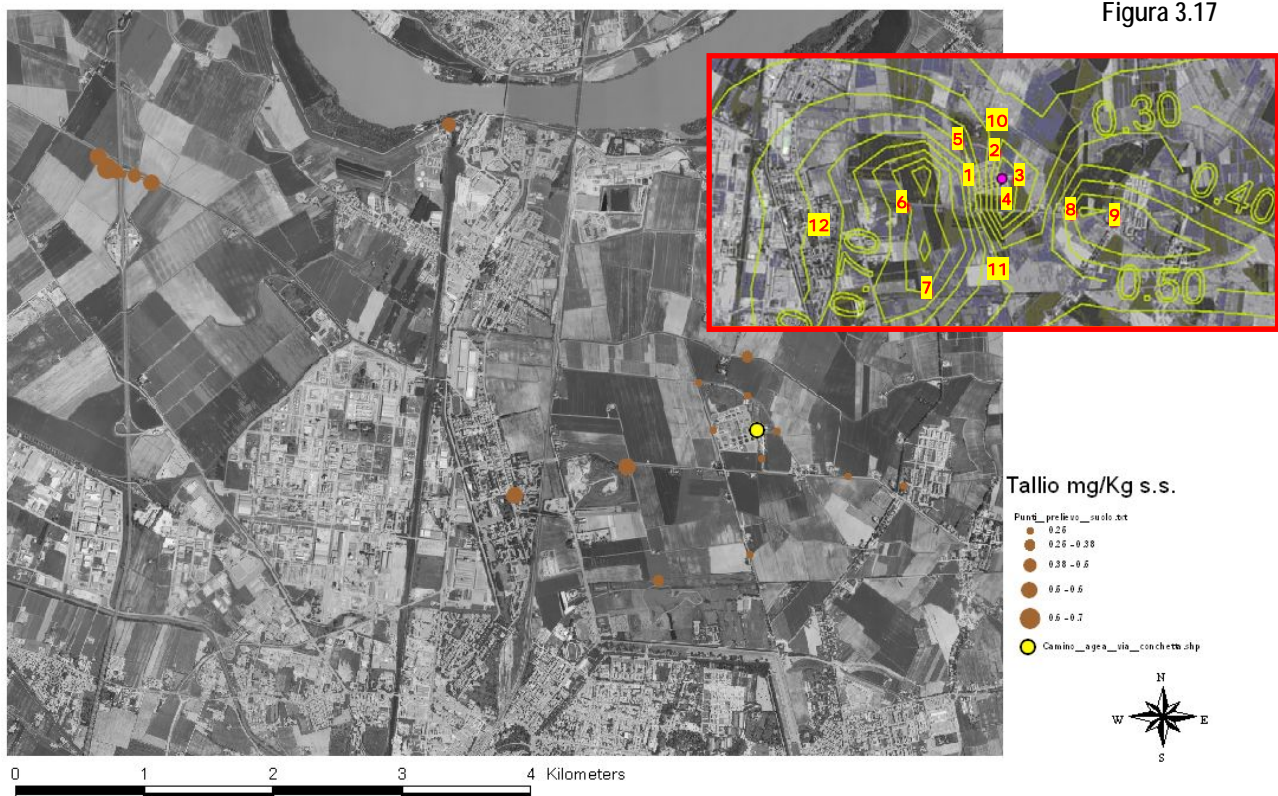
Stagno

Figura 3.16



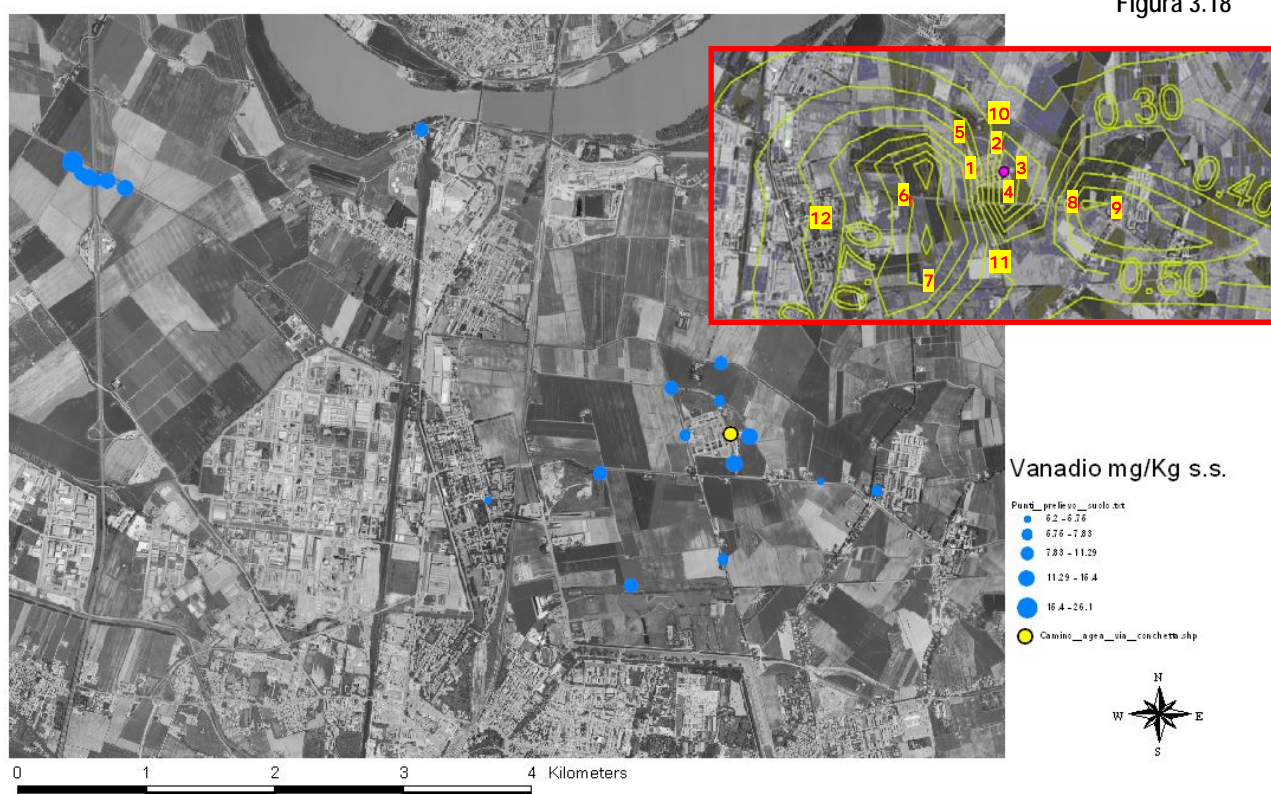
Tallio

Figura 3.17



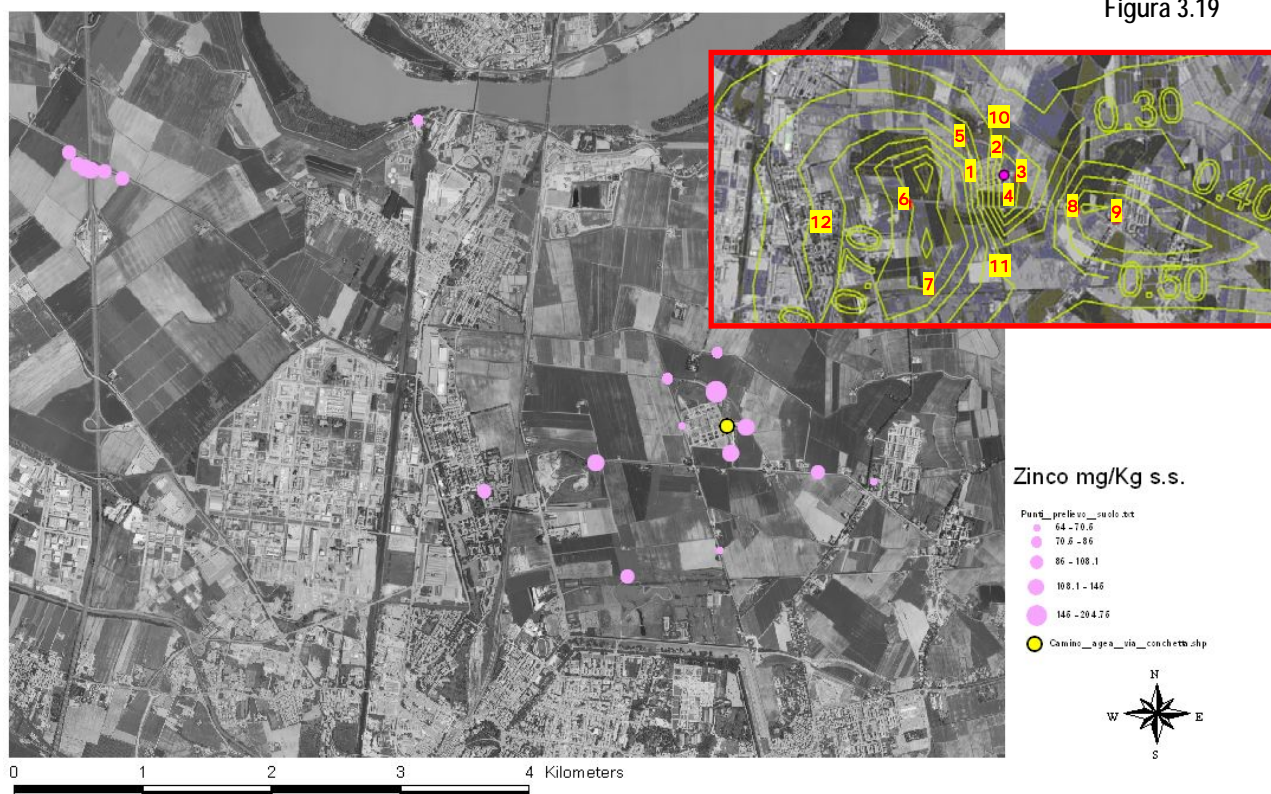
Vanadio

Figura 3.18



Zinco

Figura 3.19



Per effettuare una migliore elaborazione *esplorativa* dei risultati dei rilievi ci si è affidati poi alla tecnica della **cluster analysis**, la quale ha consentito di raggruppare i vari campioni in base alle loro similarità/dissimilarità relative ai profili di composizione in metalli dei campioni stessi. La limitatezza numerica dei dati insieme con quelle che sono state più sopra citate come ‘anomalie minori’ relative ad alcuni di essi hanno ovviamente condizionato l’analisi.

Se la rappresentazione matriciale della **figura 3.20** consente di apprezzare in modo simultaneo le eventuali correlazioni fra parametri, il *dendrogramma* della successiva **figura 3.21** evidenzia il loro raggruppamento, che ha costituito la base per la successiva indagine sui siti (*dendrogramma* in **figura 3.22**). Vale la pena notare che l’uso di criteri diversi nell’effettuazione dell’analisi specifica statistica (grafici qui non riportati) è esitato in rappresentazioni tra loro sostanzialmente concordanti.

Figura 3.20 *Matrix plot.*

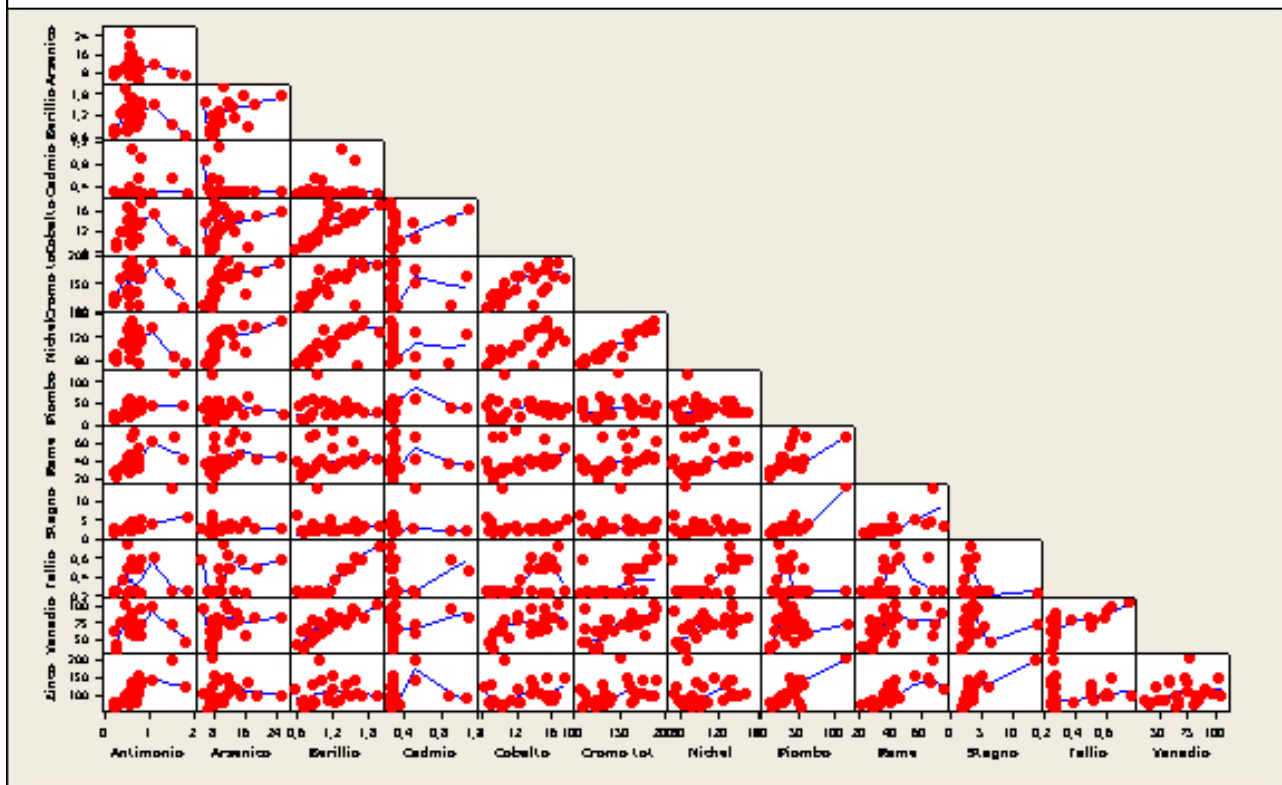


Figura 3.21 Cluster analysis effettuata su variabili standardizzate.
Dendrogram: average linkage, correlation coefficient distance.

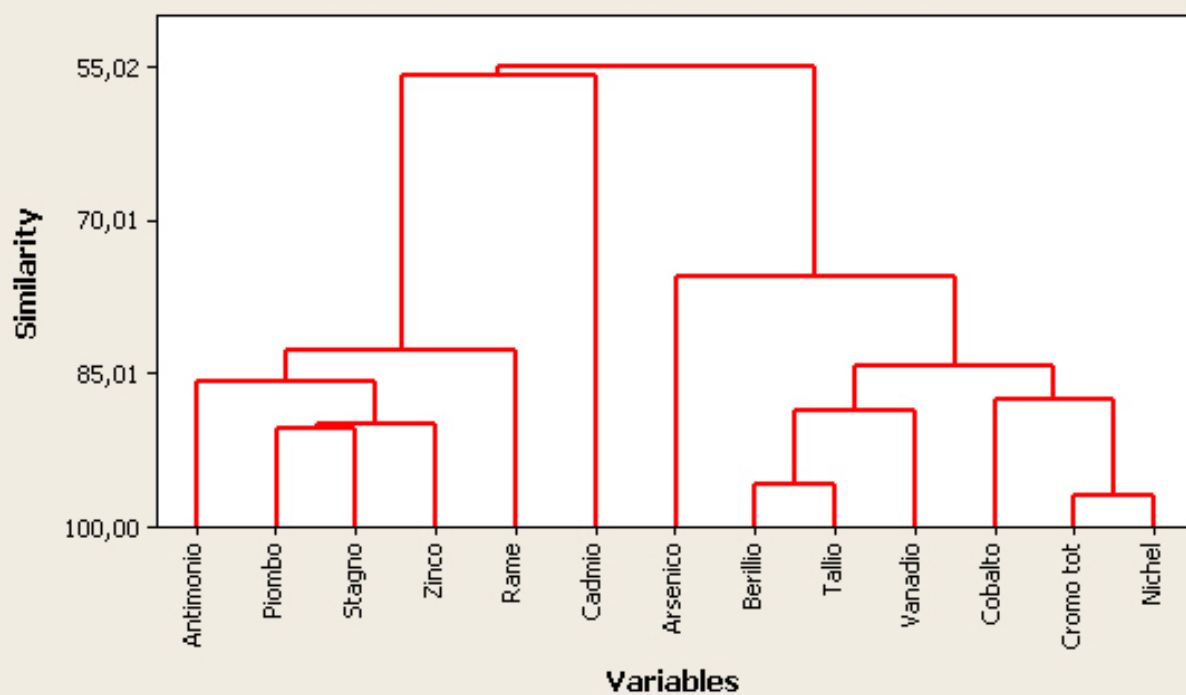
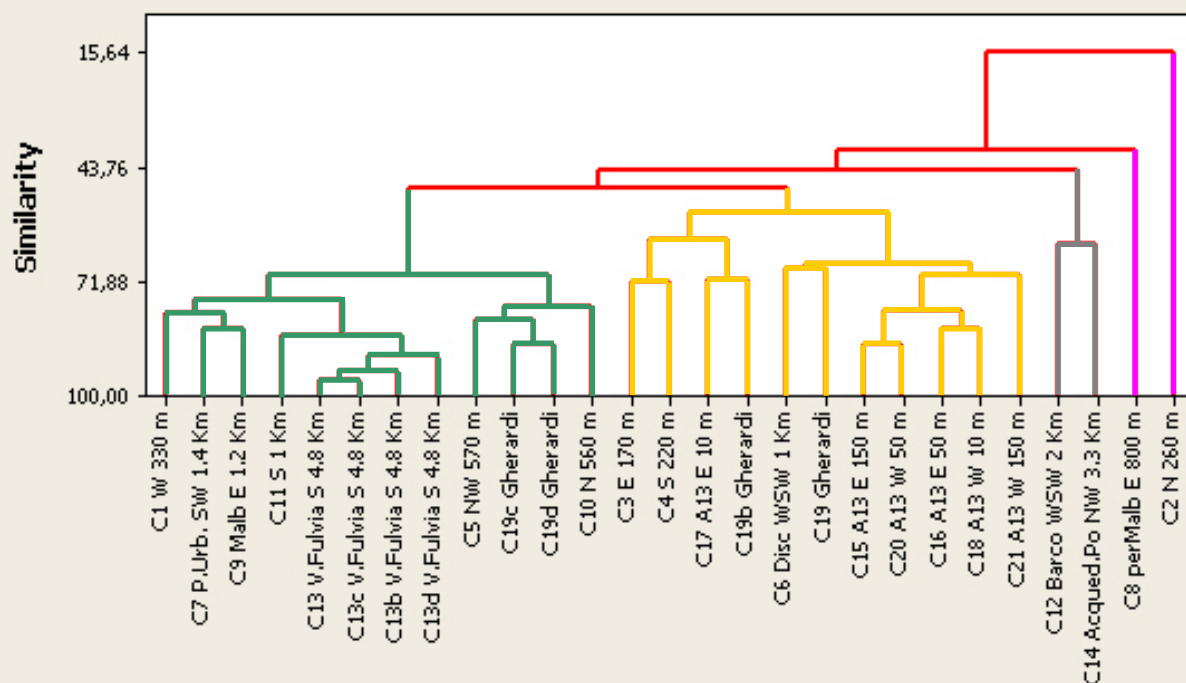


Figura 3.22 Cluster analysis effettuata su dati standardizzati.
Dendrogram: average linkage, Pearson distance.



L'analisi rappresentata nel *dendrogramma* con i siti di campionamento merita qualche osservazione. In un primo grosso *cluster*, a presumibile minore 'contaminazione', s'individua il gruppo di 'Villa Fulvia' (*siti C13*) cui si aggiunge buona parte dei siti a 'media' distanza dall'inceneritore (il *sito C11* a 1 Km a S, i *siti C7* 'Parco urbano' a 1.4 Km a SW e *C9* 'Malborghetto' a 1.2 Km a ESE, il *sito C1* a 330 a W), quindi i *siti C10* a 560 m a N, *C5* a 570 m a NW e due siti di 'Gherardi' (*C19c* e *C19d*). Il secondo grosso *cluster*, a presumibile maggiore 'contaminazione', raggruppa i rimanenti siti di 'Gherardi' (*C19* e *C19b*), il *sito C6* 'discarica' (a 1 Km a WSW), tutti i punti peri-autostradali (*C15*, *C16*, *C17*, *C18*, *C20* e *C21*) e i due siti più vicini all'inceneritore (*C3* a 170 m a E e *C4* a 220 m a S). Si aggiungono quindi i *siti C12* 'Barco' e *C14* 'Acquedotto sul Po', poi il *sito C8* 'via per Malborghetto', infine il *sito C2* a 260 a N dell'inceneritore.

Le *figure da 3.23 a 3.35* riportano gli istogrammi che dettagliano l'analisi dei siti in funzione dei singoli metalli. Nelle rappresentazioni si è cercato di privilegiare l'aspetto comunicativo: i colori di base delle barre sono stati utilizzati per evidenziare i *cluster* come sopra indicati (es.: il verde per il *cluster* con 'Villa Fulvia'), i segni interni alle barre sono stati scelti in modo da facilitare l'identificazione dei siti e, insieme con la collocazione relativa delle barre, per rimarcare la distanza dei campionamenti rispetto ad alcune sorgenti potenziali d'inquinamento in studio (es.: l'inceneritore o l'asse autostradale). Nella maggioranza dei grafici è poi inserita, come spunto di riflessione, una riga blu orizzontale, corrispondente al limite che la norma indica per i siti di tipo A (a uso verde pubblico, privato e residenziale), mentre laddove la riga blu manca è da intendersi che il limite è al di sopra della scala rappresentata; come già evidenziato in precedenza, va opportunamente ricordato che l'incertezza di misura associata a ogni valore fa sì che quasi tutti i 'superamenti' abbiano probabilità di esistenza anche al di sotto del limite 'A'.

Dall'analisi le suggestioni per una 'accettabile' leggibilità dei dati appaiono rafforzate. Va però detto che i valori di alcuni siti potrebbero essere influenzati anche da fattori ben diversi dalle pressioni che si è inteso indagare: qualche sito ha infatti probabilmente coinvolto terreno di riporto o è andato soggetto a 'minute' e/o occasionali attività antropiche (es.: aree a verde pubblico come quelle sedi di stazioni MAIA, punti a ridosso di argini e discariche, punti del tutto adiacenti a strade pur a traffico scarso). Anche differenze di granulometria dei terreni, qui non indagata, potrebbe spiegare la differenza tra i siti.

D'altronde la difficoltà di selezionare i siti 'più adatti' a discriminare le pressioni influenti è insita nei campionamenti di suolo così come, in territori fortemente antropizzati, è in genere relativamente basso il numero di siti utilmente campionabili: si ricordi che per fini come quelli del presente studio andrebbero evitati punti direttamente soggetti a operazioni sul suolo legate ad attività antropiche 'maggiori' quali pratiche agricole, movimentazione frequente di mezzi, operazioni di risistemazione di terreni, aree di deposito, ed altro ancora. Va anche detto dell'esistenza di altri elementi di 'confondimento', di tipo naturale, collegati alle variazioni di composizione dei suoli e alle dinamiche chimiche, fisiche e biologiche. Va infine sottolineato come, essendo in Ferrara presente una commistione di tipologie differenti di sorgenti emmissive (industrie, riscaldamento civile, traffico, ecc., oltre agli inceneritori cessati e a quello attuale), potrebbe essere facile, per questo oltre che per gli altri motivi più sopra trattati, cedere a suggestioni interpretative in realtà ingannevoli.

Figura 3.23

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Piombo (Pb) nel suolo

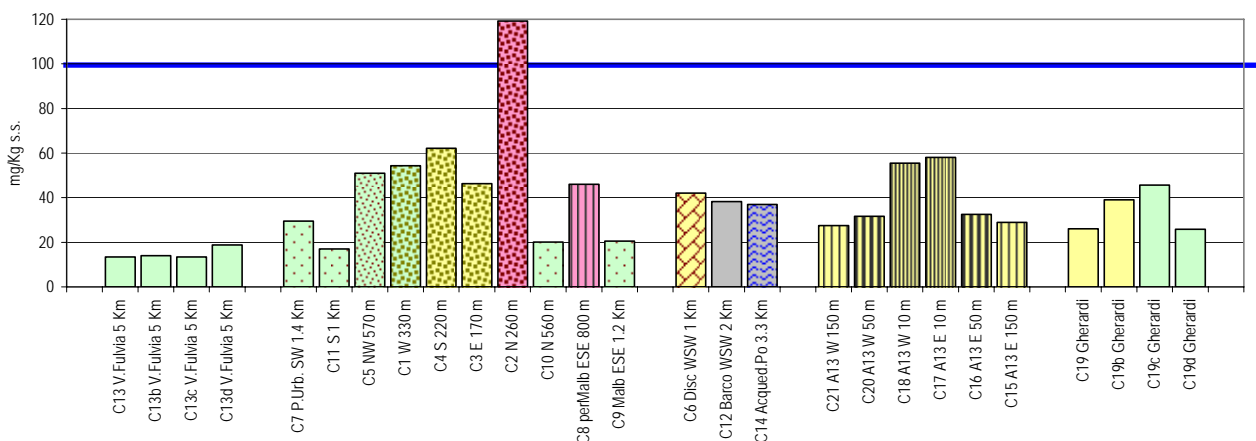


Figura 3.24

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Rame (Cu) nel suolo

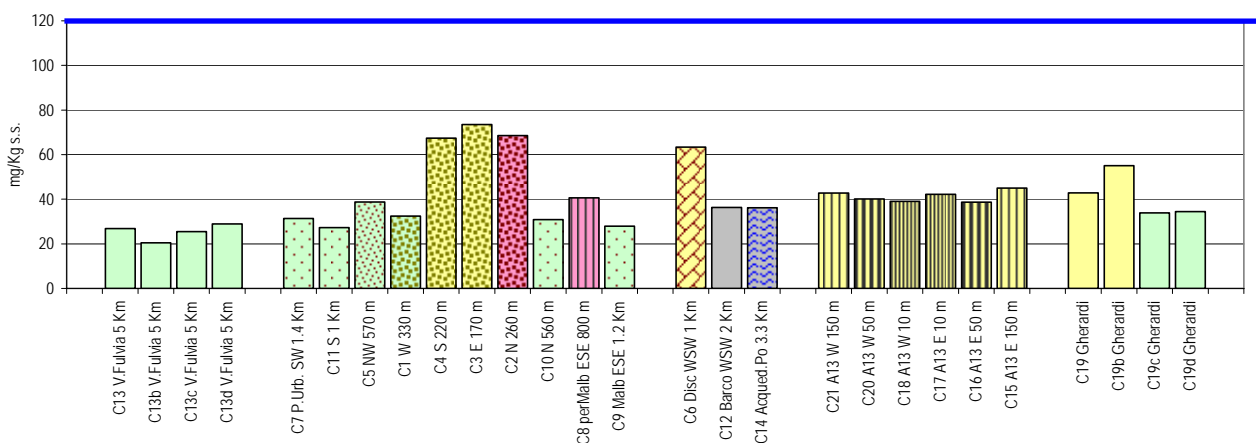


Figura 3.25

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Zinco (Zn) nel suolo

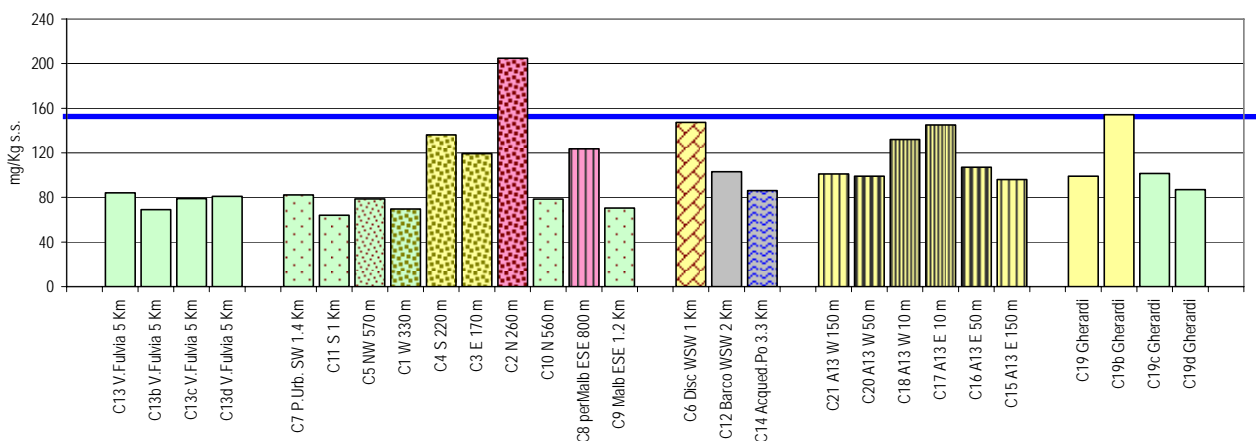


Figura 3.26

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Stagno (Sn) nel suolo

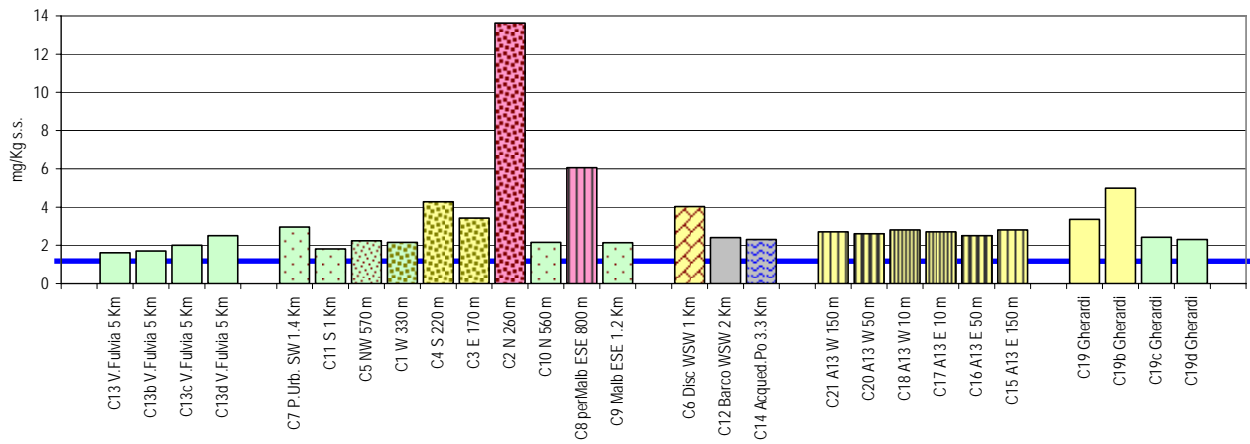


Figura 3.27

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Antimonio (Sb) nel suolo

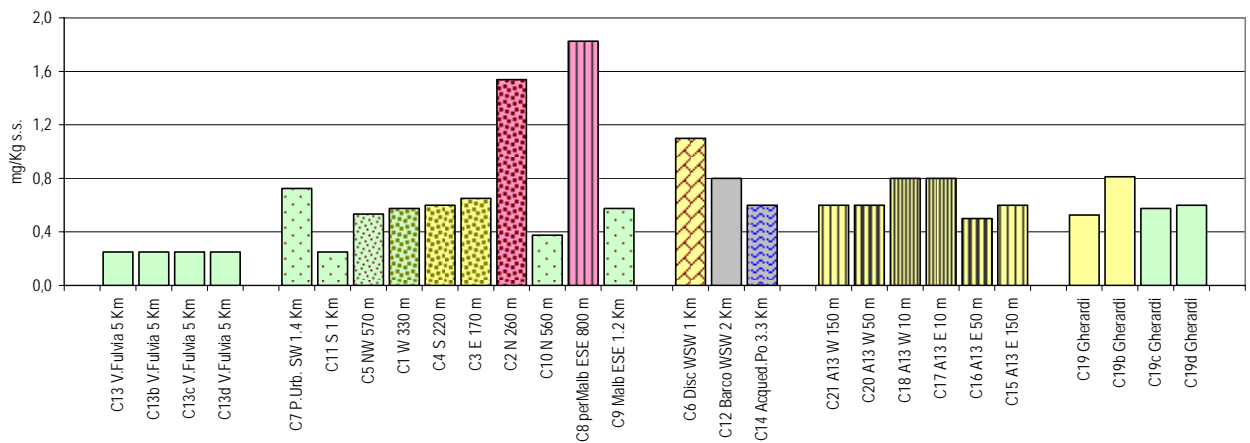


Figura 3.28

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Cadmio (Cd) nel suolo

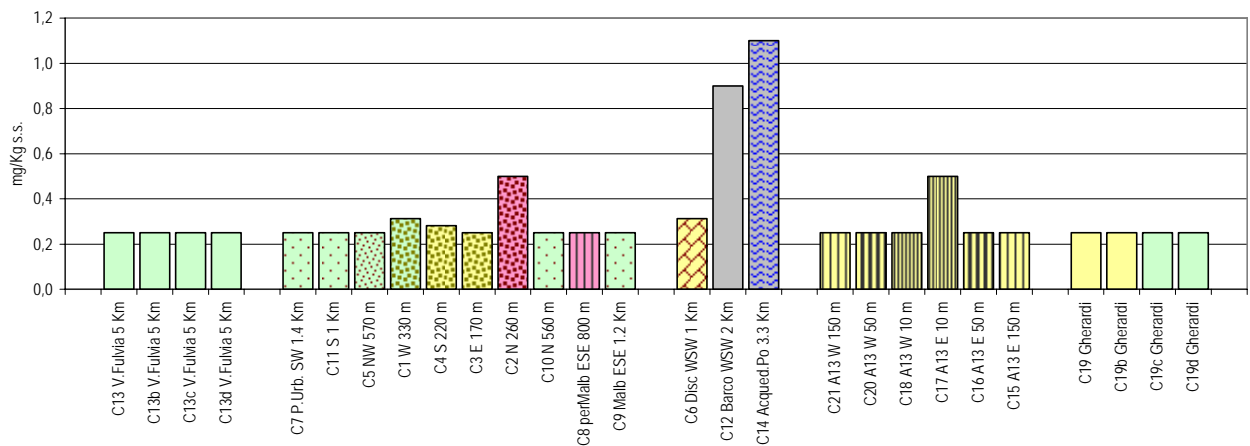


Figura 3.29

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Arsenico (As) nel suolo

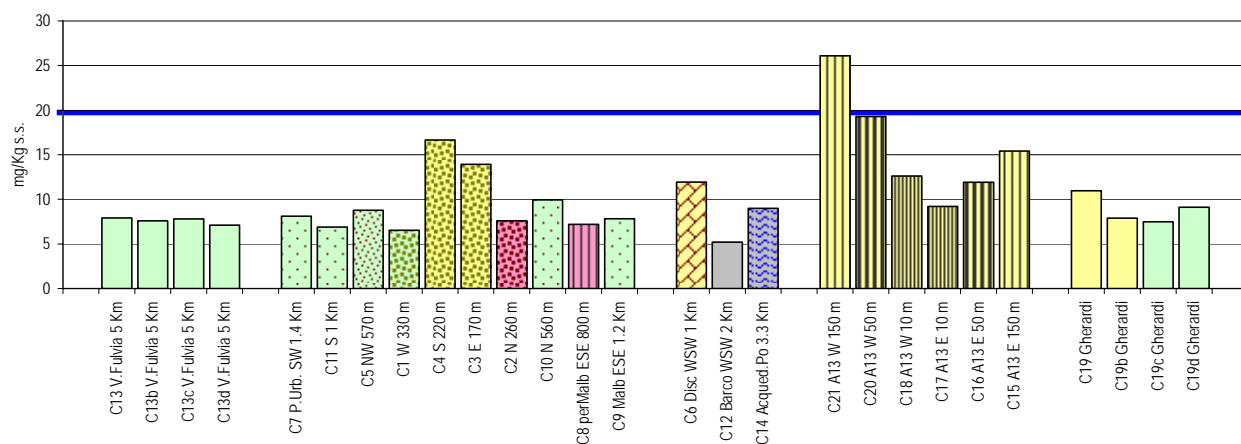


Figura 3.30

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Cromo totale (Cr) nel suolo

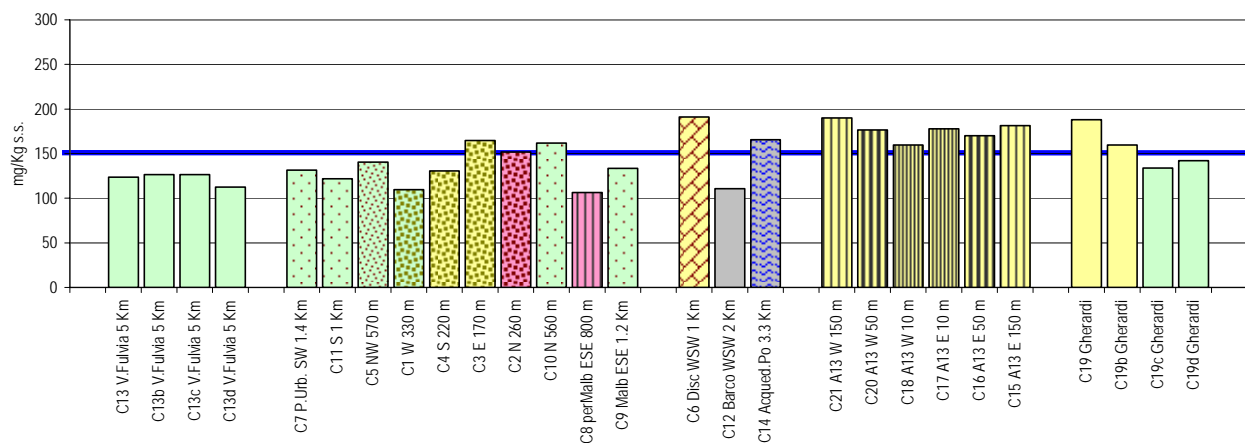


Figura 3.31

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Nichel (Ni) nel suolo

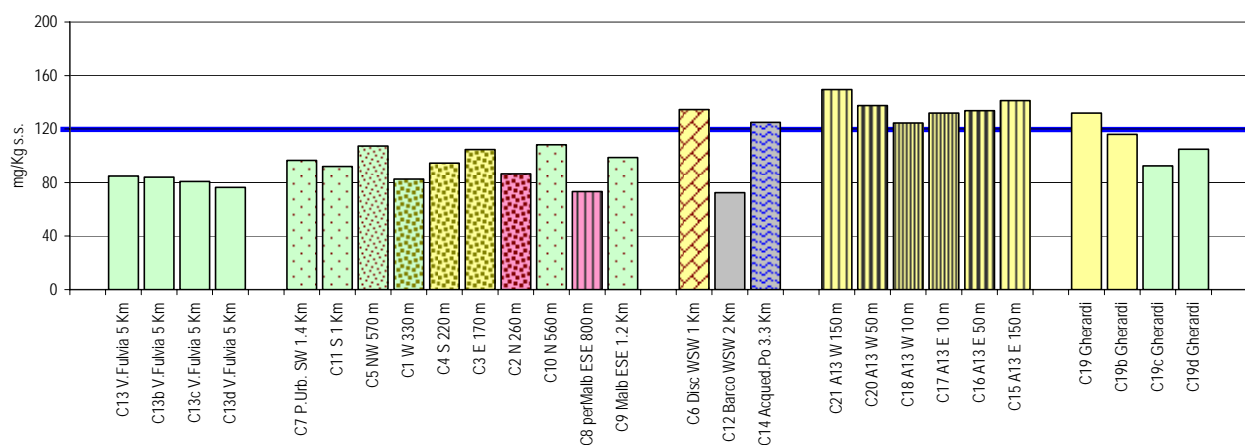


Figura 3.32

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Berillio (Be) nel suolo

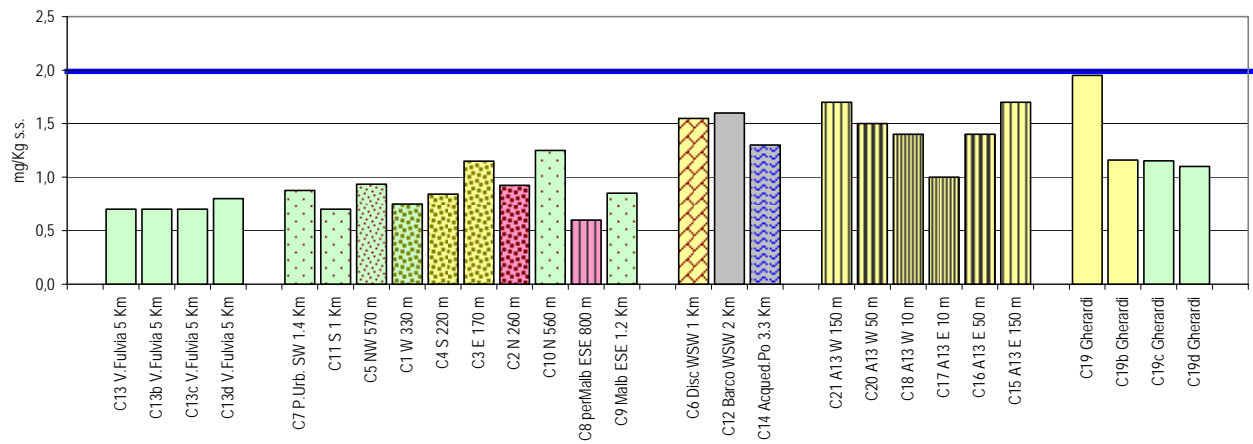


Figura 3.33

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Cobalto (Co) nel suolo

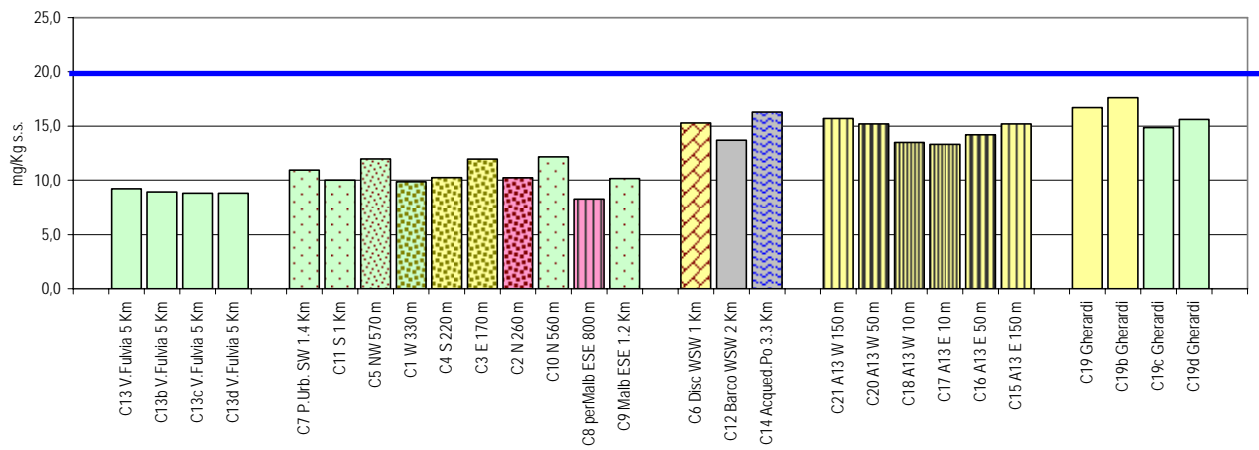


Figura 3.34

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Tallio (Tl) nel suolo

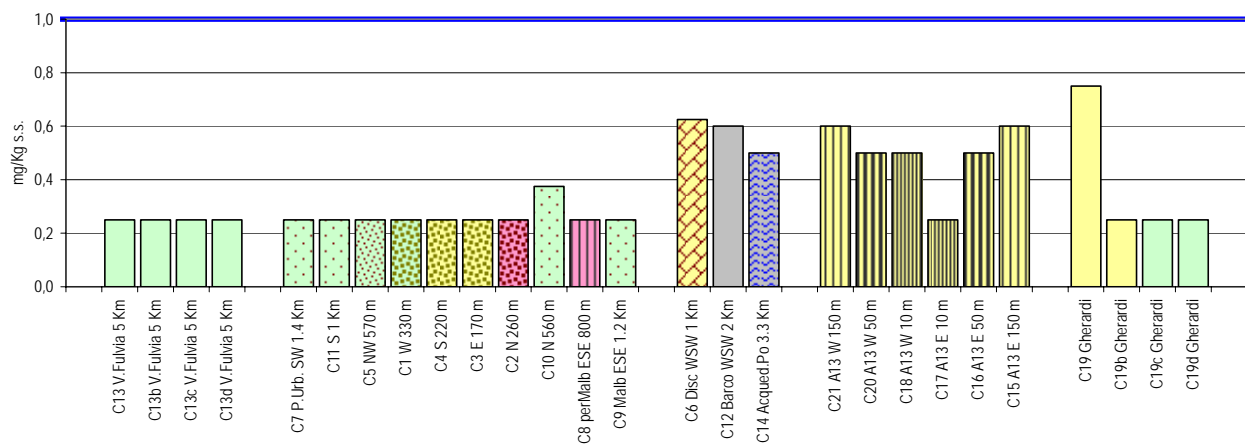
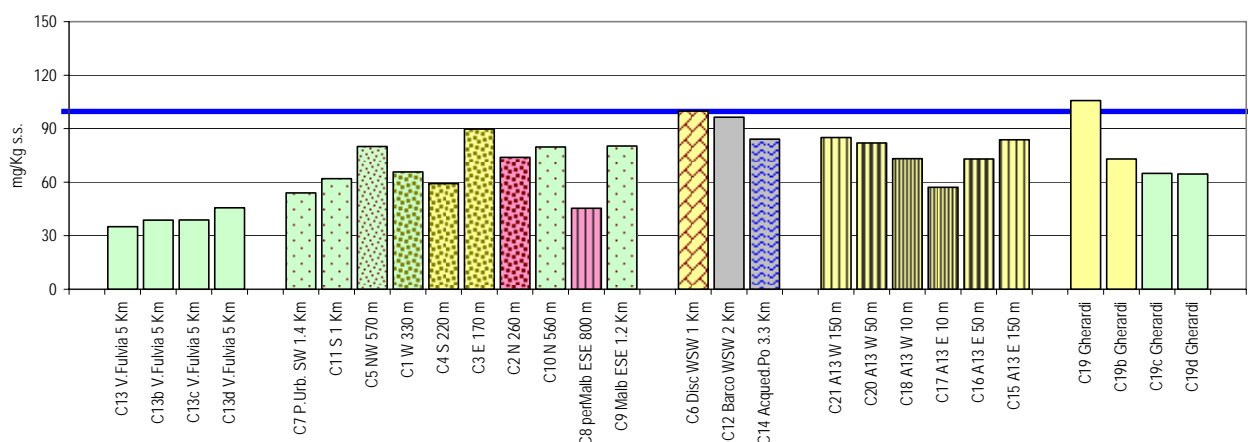


Figura 3.35

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Vanadio (V) nel suolo



Va ricordato a questo punto quali fossero le **linee principali d'impostazione dell'indagine**. Prima di tutto s'intendeva vedere se esistesse una variazione spaziale in funzione della distanza dei campionamenti dall'inceneritore, pur in presenza di fattori confondenti dovuti ad altre pressioni emissive.

Altro intendimento dell'indagine era di comparare i risultati delle aree (segnatamente quelle a potenziale maggior ricaduta dall'inceneritore) con gli esiti di rilievi su altri siti, alcuni dei quali supposti classificabili come 'di riferimento basso sotto il profilo emissivo', altri come 'potenzialmente particolarmente inquinati'.

Per quel che riguarda quest'ultima situazione, la scelta, in fase di progettazione dell'indagine, era caduta sulle immediate vicinanze dell'autostrada, mentre, circa il confronto col 'riferimento basso' si era ritenuto di poter contare su tre differenti situazioni: il sito di 'Villa Fulvia' (molto distante sia dagli inceneritori sia dal polo chimico e dalla PMI e attività artigianali circostanti), quello in zona 'Acquedotto' sul Po (supposto relativamente meno coinvolto, rispetto ad altre aree, da influenze emissive, in relazione alle ventilazioni medie annue prevalenti) e quello di 'Gherardi' nel territorio del Comune di Jolanda di Savoia, sede della stazione di monitoraggio della qualità dell'aria con carattere 'di fondo rurale remoto'. Purtroppo, gli ultimi due siti citati ('Gherardi' e 'Acquedotto') non si sono rivelati utili allo scopo, mostrando valori in qualche modo 'consistenti' di alcuni metalli per motivi che non sono stati al momento sufficientemente approfonditi. Quanto a 'Villa Fulvia', il primo campionamento effettuato aveva mostrato alcuni valori 'alti' per svariati parametri: *cromo totale*, *piombo*, *rame*, *stagno*, *zinco* e, meno, *vanadio*. Come già sottolineato in precedenza, però, il ri-campionamento nella stessa area non confermava per nulla le 'anomalie', da considerarsi allora assolutamente puntuali; infatti, il ri-campionamento nella stessa area e i nuovi campionamenti in aree vicine dello stesso sito (a qualche decina di metri) portavano anch'essi a valori decisamente 'bassi', fra loro del tutto equivalenti. Escludendo il campione 'anomalo' e mediando tutti i valori frutto dei quattro campioni restanti si è potuto allora presumere di avere gli sperati valori 'di riferimento basso', da utilizzarsi per il progettato confronto.

Al fine di rendere efficiente l'analisi di tutto quanto sopra, si è deciso di raggruppare i siti in gruppi d'influenza, considerati in qualche modo omogenei al loro interno sulla base sia delle elaborazioni fin qui esposte sia di ulteriori valutazioni di merito. Sono stati così individuati i seguenti gruppi di siti:

- l'area a meno di 400 m dall'inceneritore (interessata da 4 campionamenti);
- un'area fra 0.5 e 1.5 Km dall'inceneritore, ma con l'esclusione del sito presso la discarica per inerti (6 campionamenti);
- l'area peri-autostradale (6 campionamenti, fra 10 e 150 m a est e a ovest dell'asse stradale);

d) l'area di Villa Fulvia (4 campionamenti, con funzione di riferimento urbano quanto a ridotte influenze emmissive);

e) il complesso dei tre rimanenti siti urbani (la zona dell'Acquedotto sul Po, il sito adiacente alla discarica per inerti e il sito di Barco in prossimità del *Petrochimico*) (3 campionamenti);

f) l'area di Gherardi-Jolanda di Savoia (4 campionamenti).

La **figura 3.36** riporta una sintesi tabellare dei dati (*medie e deviazioni standard*) relativi alle aree citate, parametro per parametro, mentre la **figura 3.37** è una rappresentazione degli esiti dell'applicazione di analisi statistica (*analisi della varianza e test di Scheffé*), con la quale si è cercato di far emergere l'esistenza eventuale di differenze significative tra le aree (in nero $p < 0.05$; in rosso $p < 0.01$).

Seguono le **figure 3.38-3.41**, dalle quale si ricava una rappresentazione dell'analisi condotta tale da evidenziare più chiaramente alcune ipotizzabili 'impronte' dell'inceneritore.

		V.Fulvia	a 0.5-1.5 Km da Conch.	entro 0.4 Km da Conch.	Barco, Disc.inerti, Acq.Po	intorno ad A13	Gherardi
	num.dat	4	6	4	3	6	4
Antimonio	media	0,25	0,71	0,84	0,83	0,65	0,63
	dev.st	0,000	0,569	0,466	0,252	0,122	0,126
Arsenico	media	7,60	8,12	11,17	8,71	15,75	8,85
	dev.st	0,356	1,115	4,896	3,372	6,124	1,556
Berillio	media	0,73	0,87	0,92	1,48	1,45	1,34
	dev.st	0,050	0,224	0,171	0,161	0,259	0,407
Cadmio	media	0,25	0,25	0,34	0,77	0,29	0,25
	dev.st	0,000	0,000	0,112	0,409	0,102	0,000
Cobalto	media	8,93	10,58	10,57	15,10	14,52	16,19
	dev.st	0,189	1,443	0,940	1,311	0,995	1,211
Cromo tot	media	122,30	132,53	139,19	155,78	175,92	155,79
	dev.st	6,750	18,487	24,236	41,085	10,274	23,970
Nichel	media	81,55	96,01	92,05	110,68	136,40	111,33
	dev.st	3,873	12,755	9,755	33,411	8,534	16,790
Piombo	media	14,90	30,67	70,49	39,08	39,00	34,12
	dev.st	2,615	14,491	33,113	2,638	13,889	9,862
Rame	media	25,40	32,79	60,46	45,26	41,28	41,53
	dev.st	3,616	5,595	18,860	15,690	2,447	9,894
Stagno	media	1,95	2,89	5,87	2,91	2,68	3,26
	dev.st	0,404	1,602	5,244	0,968	0,117	1,239
Tallio	media	0,25	0,27	0,25	0,58	0,49	0,38
	dev.st	0,000	0,051	0,000	0,066	0,128	0,250
Vanadio	media	39,55	66,92	72,16	93,53	75,70	77,07
	dev.st	4,414	15,281	13,204	8,260	10,465	19,476
Zinco	media	78,25	82,91	132,42	112,08	113,33	110,37
	dev.st	6,500	20,982	55,911	31,619	20,245	29,831

Figura 3.36

Figura 3.37

	V.Fulvia	entro 0.4 Km da Conch.	a 0.5-1.5 Km da Conch.	intorno ad A13	Barco, Disc.inerti, Acq.Po	Gherardi
V.Fulvia						
entro 0.4 Km da Conch.	Cu, Pb					
a 0.5-1.5 Km da Conch.	Co, Cr, Ni, V	Co, Ni				
intorno ad A13	As, Be, Co, Cu, Cr, Ni, Ti, V	As, Be, Co, Cr, Ni, V	Be, Co, Ni			
Barco, Disc.inerti, Acq.Po			Co, Cr, Ni	As, Be, Co, Cr, Ni, V		
Gherardi	Co	Co		As, Be, Co, Cr, Ni	Co	

Figura 3.38

Indagine 'Conchetta 2006-07'. Metalli nel suolo per aree.

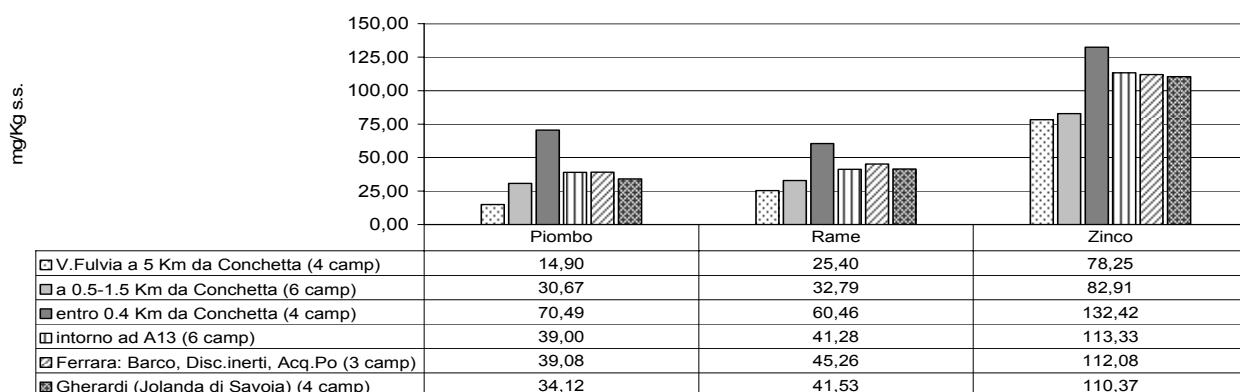


Figura 3.39

Indagine 'Conchetta 2006-07'. Metalli nel suolo per aree.

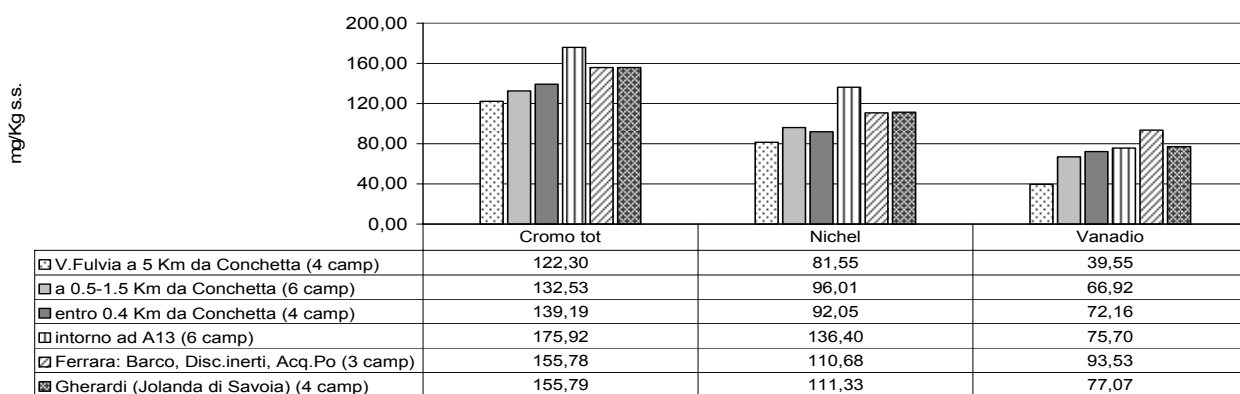


Figura 3.40

Indagine 'Conchetta 2006-07'. Metalli nel suolo per aree.

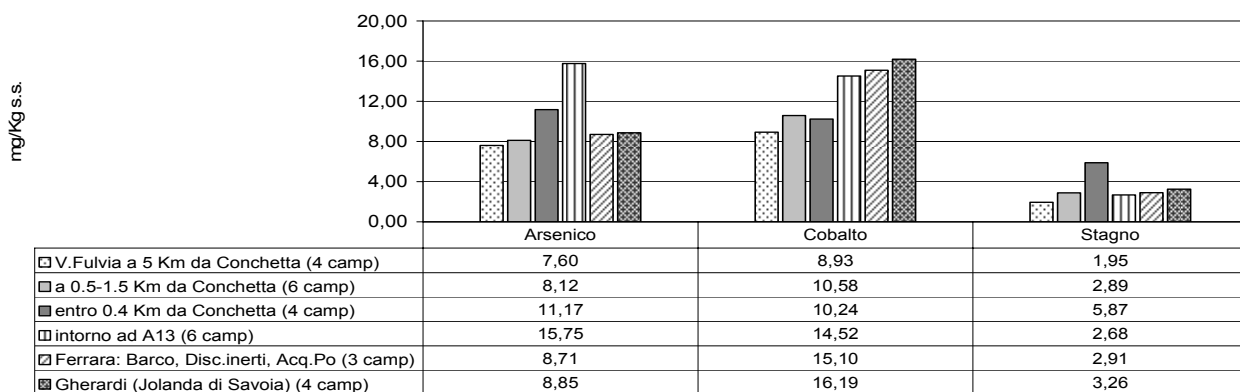
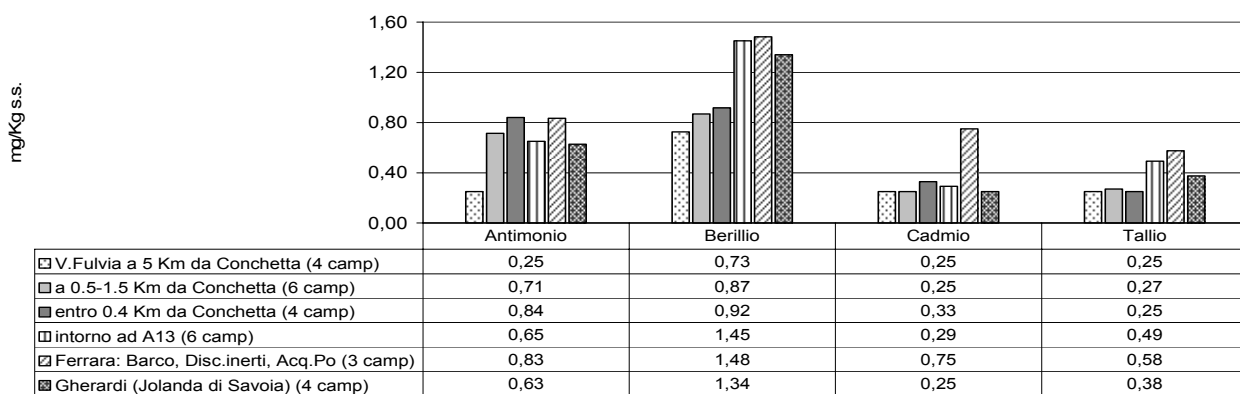


Figura 3.41

Indagine 'Conchetta 2006-07'. Metalli nel suolo per aree.



Il discorso che segue è basato su tutte le analisi condotte sui siti e sulle aree come sopra definite.

L'area di **Villa Fulvia** (barre con punteggiatura fine) è quella che mostra i valori più bassi (ancorché variamente) per tutti i metalli.

Per quel che riguarda l'**area più prossima all'inceneritore** di Via Conchetta, invece, essa (rappresentata con barre piene in grigio scuro) risulta con valori più alti rispetto a tutte le altre aree per il *piombo*, il *rame*, lo *zinco*, lo *stagno* e, meno, l'*antimonio*, mentre per altri metalli (più marcatamente per *arsenico* e *vanadio*) si apprezza comunque una differenza (in più) rispetto al 'riferimento basso' di Villa Fulvia. L'analisi statistica comunque rileva una significatività di differenze (in più) rispetto a Villa Fulvia solo per *piombo* e *rame*.

Se si considera l'**area fra 0.5 e 1.5 Km circa all'intorno dell'inceneritore**, quindi ad esso meno prossima (barre piene in grigio chiaro), le maggiori differenze (nel senso di valori più alti) rispetto a Villa Fulvia sono per *piombo* e *antimonio*.

L'analisi dei valori puntuali mostra qualche altro aspetto interessante, che rinforza l'impressione di cogliere l'impronta dell'inceneritore nel territorio campionato. Per il *piombo* e l'*antimonio* è possibile apprezzare un gradiente spaziale tra i punti delle aree sopra citate. Per il *piombo*, lo *zinco*, lo *stagno*, il *rame* e l'*arsenico*, i valori più alti (sempre riferendosi alle tre aree sopra citate) sono forniti proprio dai campionamenti più vicini al camino, cioè da quello a 220 m a S e da quello a 170 m a E dell'inceneritore.

Circa l'**area intorno all'autostrada** (barre con righe verticali) va notato come in essa si riscontrino i valori più alti (rispetto a tutte le altre aree) di *cromo totale*, *nicel* e, soprattutto, *arsenico*. L'area ha anche valori sensibilmente diversi dal 'riferimento basso' di Villa Fulvia per svariati altri metalli (*piombo*, *zinco*, *vanadio*, *berillio*, *cobalto*, *antimonio* e *tallio*). Quanto questi valori siano da imputarsi al traffico autostradale e quanto ad una situazione ambientale a più ampio raggio è più difficile a dirsi: valori comparabili di svariati metalli sono stati trovati anche in altre aree.

L'analisi puntuale, comunque, pone qualche interrogativo: se per *piombo*, *zinco* e, meno, *antimonio* i campionamenti a 10 metri dalla carreggiata stradale hanno portato a valori più alti, per altri metalli (*arsenico*, *berillio* e, meno, *cobalto* e *vanadio*) si riscontra un aumento nei campionamenti più distanti (a 50 e anche a 150 m); chiara costanza spaziale di valori si ha invece per *rame*, *stagno*, *cromo totale* e *nicel*. Si è ritenuto che il fenomeno andasse approfondito in un secondo momento anche effettuando ulteriori determinazioni (es. granulometria dei suoli).

Quanto alle **altre aree** (Gherardi nel territorio comunale di Jolanda di Savoia, rappresentata con barre a righe oblique, e l'area 'mista' di Ferrara, rappresentata con barre a punteggiatura densa e comprendente i siti presso la discarica per inerti, l'argine del Po e il sito vicino a strade di traffico e al *Petrolchimico*), è difficile al momento effettuare considerazioni. Tali aree, comunque si discostano (in più) dal 'riferimento basso' di Villa Fulvia per svariati parametri (sensibilmente per quanto riguarda *zinco*, *cobalto*, *berillio* e *antimonio*); dall'analisi dei singoli siti emerge, al contempo, una sostanziale omogeneità con i punti peri-autostradali: costituisce eccezione il *cadmio*, per il quale Barco e Acquedotto hanno fornito gli unici valori sensibilmente diversi dal limite di quantificazione analitico.

Alla luce di tutto quanto sopra esposto sembra potersi pervenire alla seguente conclusione: le analisi sui metalli nei primi 10 cm di suolo hanno consentito di far emergere alcune tracce della presenza dell'inceneritore di Via Conchetta, cessato circa 6 mesi prima dei primi campionamenti. Svariati metalli costituiscono la base tale tipo di 'lettura': fra essi, i segnali maggiori (ma non esclusivi) appaiono provenire da *piombo*, *rame*, *zinco*, *antimonio*, *arsenico* e, forse, *stagno*. Va comunque rilevato come, se si esclude lo *stagno*, per nessun parametro e, se si applica l'incertezza analitica, praticamente in nessuno dei campioni all'intorno dell'inceneritore è stato trovato superato il limite più basso previsto dalla normativa (cioè quello per suoli di 'tipo A', a uso verde pubblico, privato e residenziale). Unica eccezione è costituita da un valore di *cromo totale* prelevato a Gherardi (Jolanda di Savoia). In ogni caso, per detti superamenti, esistendo segnalazioni analoghe

per altri siti in pianura padana, si può forse ipotizzare una base comune non irrilevante fra tutti i suoli esaminati dovuta ad una distribuzione naturale di alcuni metalli: secondo recenti studi condotti su suoli della piana costiera ferrarese e ravennate pianura romagnola (Amorosi & Sammartino, 2005; 2007) e, più in generale, per il sottosuolo dell'intera Pianura Padana sud-orientale (Amorosi et al., 2002; 2007), gli elevati tenori in *cromo* e *nicel* relativi a sedimenti riferibili al Po vengono interpretati come il risultato dello smantellamento dei complessi ofiolitici delle Alpi occidentali.

I segnali ascrivibili alla presenza dell'inceneritore appaiono forse deboli, ma ci sono, ed è comunque opportuno che essi vengano considerati all'interno dell'articolazione così come emersa nel corso di tutta la disamina dei risultati delle elaborazioni, certamente non esaustive, dei limitati dati disponibili.

Prima di chiudere il discorso sui metalli qualche altra considerazione va spesa circa altri confronti effettuabili fra l'indagine presente ed altre indagini, sia locali che di letteratura.

Recentemente, in relazione all'attuazione del *Decreto di VIA* sul futuro impianto di produzione energia a ciclo combinato (comunemente noto come *turbogas*), è stata condotta per conto della SEF dal *Consorzio Ferrara Ricerche* di Ferrara (segnatamente dal Laboratorio di Ecologia vegetale – Resp. Prof. Renato Gerdol - del Dipartimento di Biologia ed Evoluzione dell'Università di Ferrara) una prima indagine ad ampio raggio, *ante operam*, di bioaccumulo di metalli in muschi (specificamente *Tortula muralis*). Detta indagine, che ha coperto anche le aree oggetto del presente studio, aveva in realtà obiettivi e strategie di campionamento diverse da quelle della presente indagine. In ogni caso si ritiene utile riportare, con le *figure da 3.42 a 3.52*, un estratto-rielaborazione Arpa di quella indagine affiancata ad elaborazioni sulla distribuzione territoriale dei dati sul suolo fin qui illustrati. Senza entrare nel dettaglio vale la pena osservare come, per alcuni metalli (*piombo*, *vanadio*, *antimonio* e *tallio*), si abbia un qualche parallelismo di gradiente spaziale in relazione alla presenza dell'inceneritore, nonostante i punti di campionamento nei suoli e quelli nei muschi differiscano nella numerosità e, soprattutto, nel criterio utilizzato per la distribuzione territoriale dei campionamenti. Indagini più approfondite e su territorio più vasto potrebbero ovviamente generare un quadro da cui far emergere migliori concordanze o discordanze e altre ipotesi di valutazione.

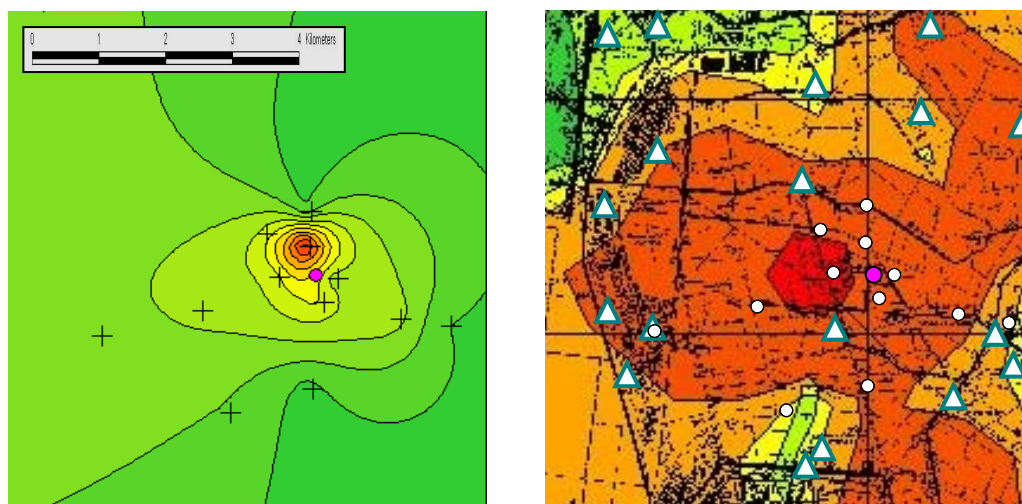


Figura 3.42 Piombo: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●).
Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (Δ) a destra [UniFe 2006].

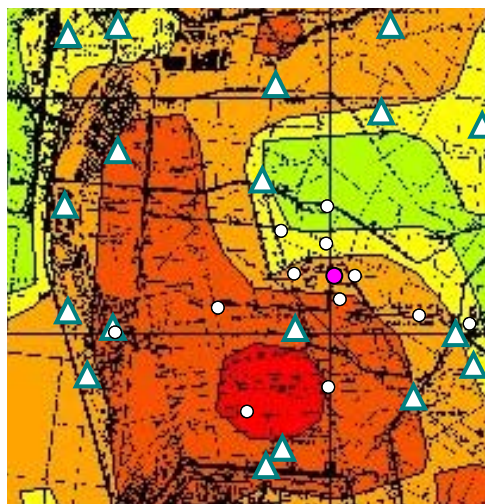
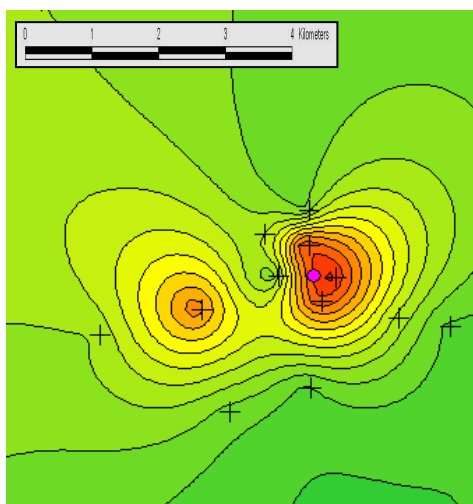


Figura 3.43 Rame: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●).
Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

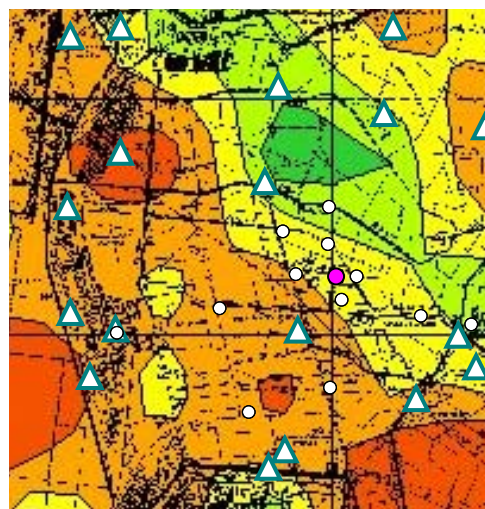
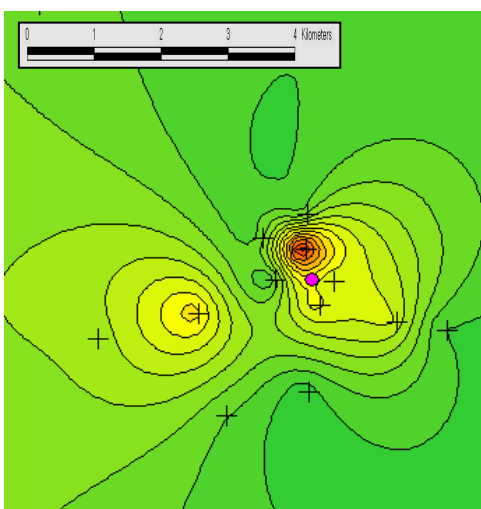


Figura 3.44 Zinco: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●).
Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

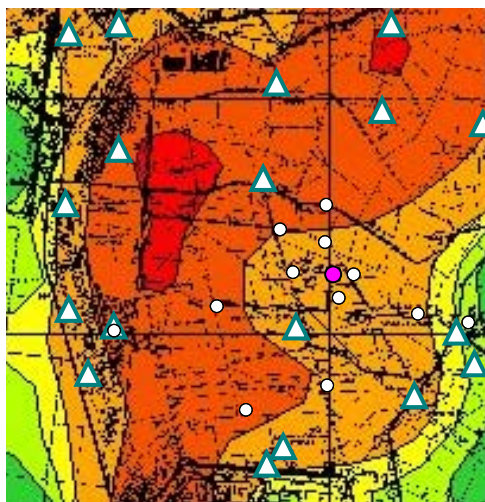
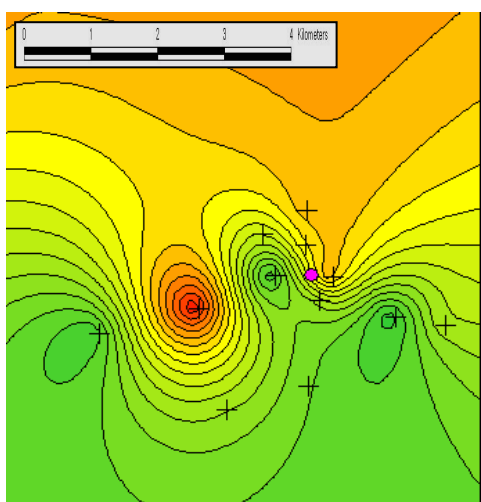


Figura 3.45 Cromo tot: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●).
Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

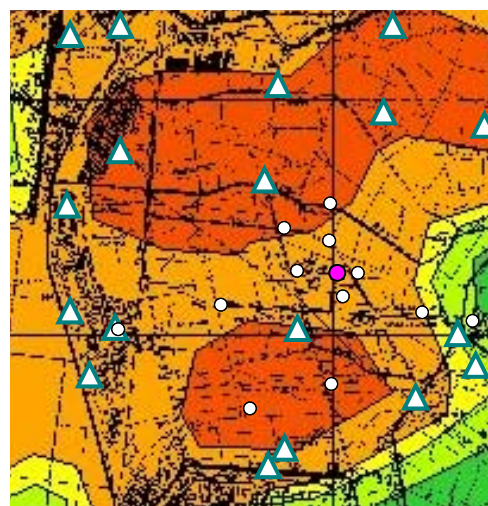
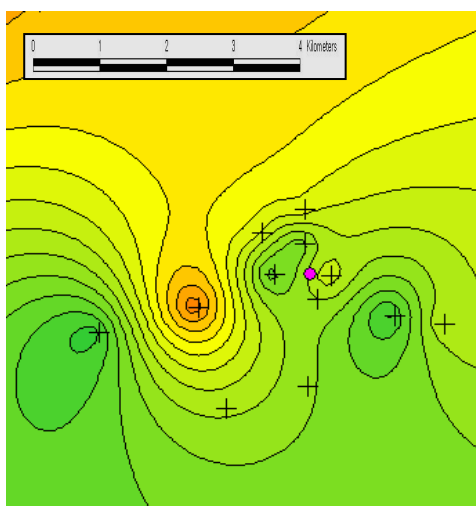


Figura 3.46 Nichel: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●). Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

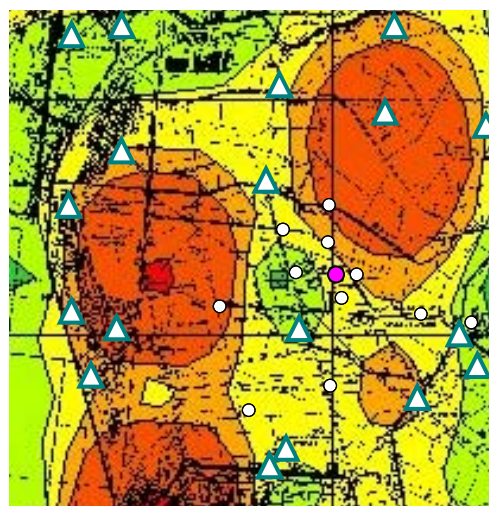
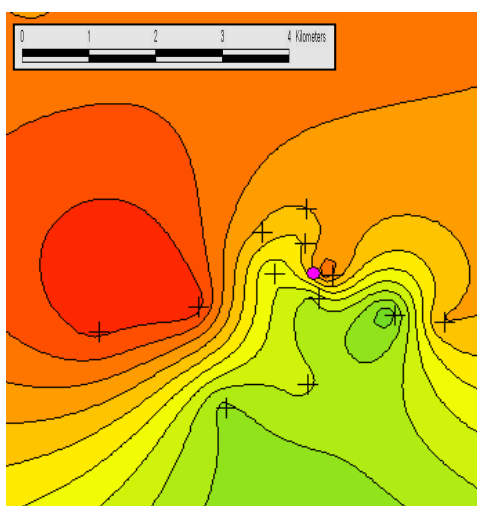


Figura 3.47 Vanadio: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●). Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

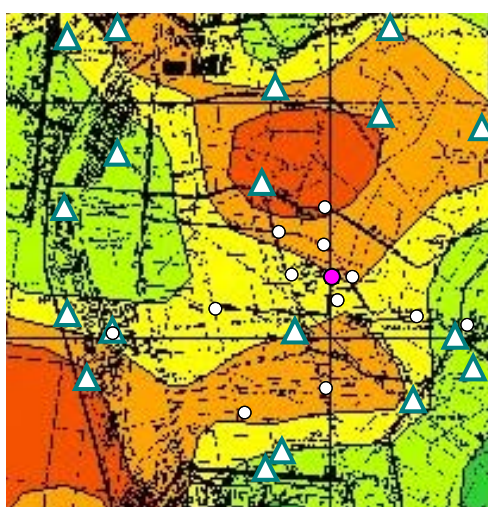
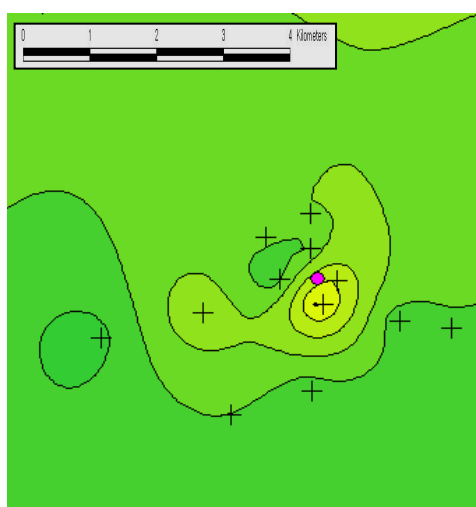


Figura 3.48 Arsenico: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●). Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

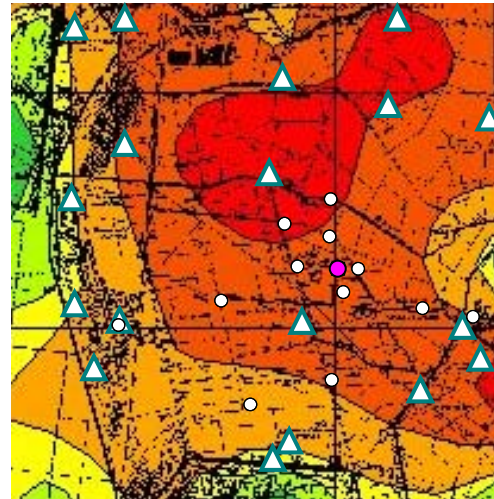
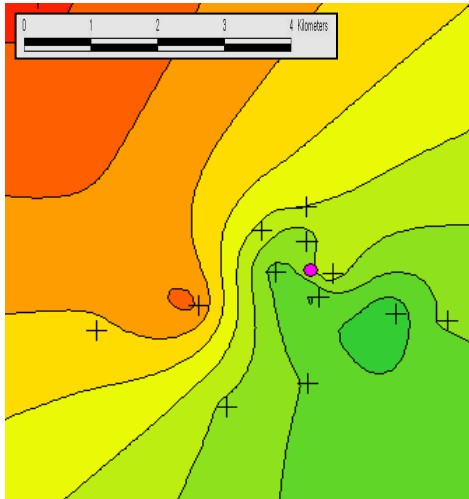


Figura 3.49 Cobalto: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●). Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

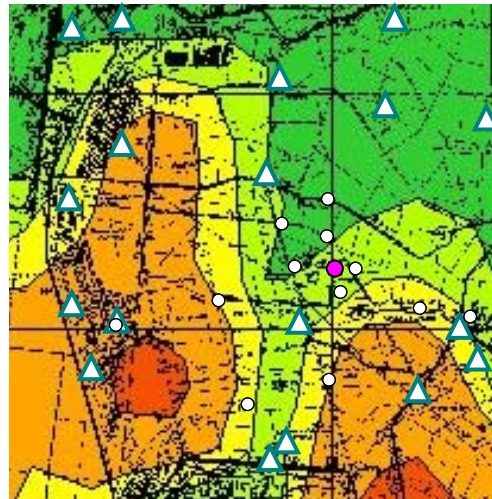
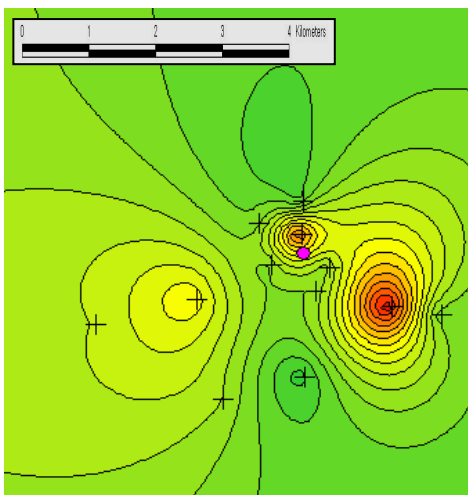


Figura 3.50 Antimonio: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●). Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].

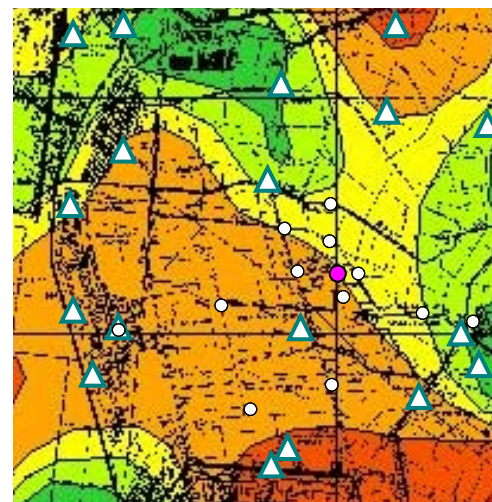
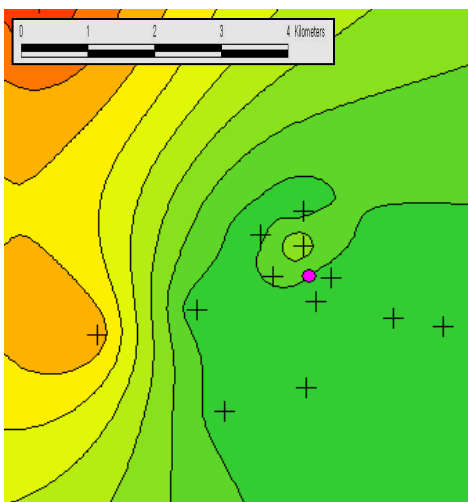
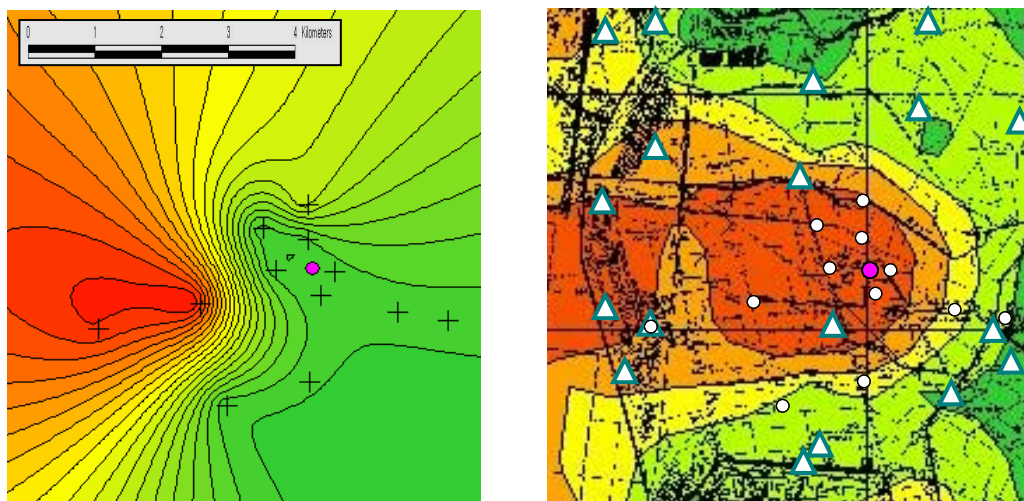


Figura 3.51 Cadmio: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●). Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (▲) a destra [UniFe 2006].



**Figura 3.52 Taliano: modellizzazioni intorno all'inceneritore di Via Conchetta (●).
Campionamenti di suolo (+) a sinistra [Arpa 2006-07], di muschi (Δ) a destra [UniFe 2006].**

Un ulteriore interessante confronto potrebbe essere effettuato con dati di numerose analoghe indagini condotte altrove. Nel presente studio si rinuncia a un tale confronto: questo non potrebbe infatti che essere estremamente sommario, poiché, in tale tipo d'indagini, si ha a che fare con situazioni molto diversificate, con dati variamente elaborati e frutto di rilievi eseguiti con metodi di campionamento e di analisi anche diversi e comunque caratterizzati da variabilità tra loro non omogenee.

4. PCDD (diossine) e PCDF (furani)

Premessa

Per affrontare in modo adeguato un tema così delicato e complesso come quello dell'inquinamento ambientale da *policlorodibenzodiossine* (PCDD) e *policlorodibenzofurani* (PCDF), conviene partire da un inquadramento di carattere generale. L'APAT, la nazionale *Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici*, tratta con sistematicità e chiarezza il tema in una recente pubblicazione (*Diossine Furani e PCB*, edizione febbraio 2006), cui si rinvia per un'esauritiva disamina delle informazioni di base di natura tecnica, scientifica e giuridica in merito ai detti inquinanti. Si ritiene comunque far cosa utile richiamando qui, anche integralmente, ampie parti della citata pubblicazione.

Il testo recita in apertura: "Diossine, furani e policlorobifenili costituiscono tre delle dodici classi di inquinanti organici persistenti riconosciute a livello internazionale" (definite POP, cioè *Persistent Organic Pollutants*, dall'UNEP, *United Nations Environment Programme*): "si tratta di prodotti particolarmente stabili e riconosciuti come tossici sia per l'ambiente che per l'uomo. Le diossine sono sostanze che vengono immesse nell'ambiente da numerose sorgenti, presentano una certa mobilità nei confronti delle diverse matrici ambientali, hanno una struttura chimica stabile ed una considerevole vita media. Le diossine possono determinare un inquinamento cronico, pressoché ubiquitario e possono dar luogo ad eventi che, con una nuova accezione del termine, potremmo definire «emergenze ambientali»...". La gestione di queste situazioni richiede studi ambientali, anche complessi, che consentano di individuare particolari pratiche/abitudini antropiche e eventuali catene alimentari critiche per l'uomo, o gli animali, ed infine l'adozione di strumenti conoscitivi quali l'analisi di rischio per valutare la necessità e la tipologia delle possibili azioni mitigative o contenitive."

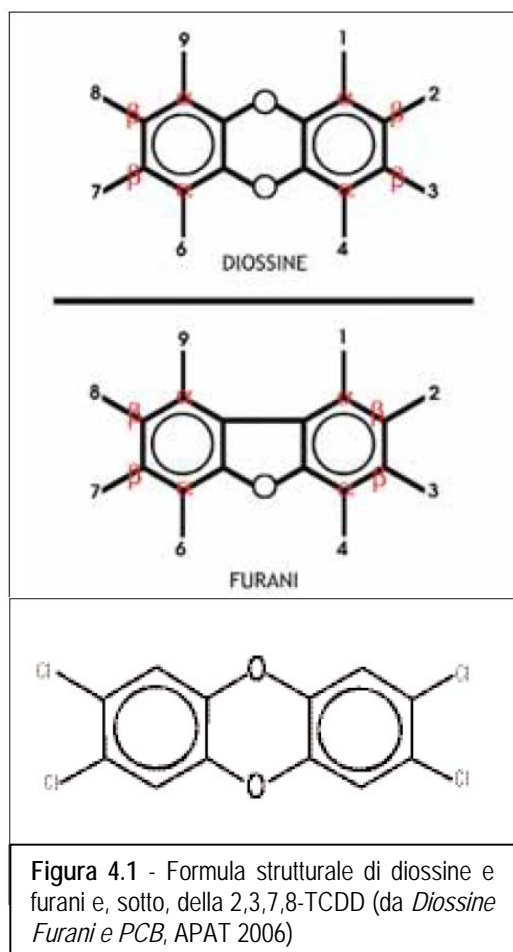


Figura 4.1 - Formula strutturale di diossine e furani e, sotto, della 2,3,7,8-TCDD (da *Diossine Furani e PCB*, APAT 2006)

Ciò premesso, è opportuno ricordare che quello di *diossine* è un termine generico, forse poco adeguato a rappresentare il numero e la varietà di sostanze di cui s'intende parlare. Le PCDD e i PCDF costituiscono un insieme di 210 *idrocarburi aromatici policlorurati* per lo più di origine antropica. La pericolosità delle sostanze in questione è legata sia alla loro stabilità e persistenza nell'ambiente sia alla loro tossicità. Per dirla con APAT, esistono complessivamente 75 *congeneri* (cioè specie chimiche) di *diossine* e 135 di *furani*, di cui "però solo 17, 7 PCDD e 10 PCDF rispettivamente, destano particolare preoccupazione dal punto di vista tossicologico".

Nello specifico (vedi **figura 4.1**) "la tossicità delle diossine dipende dal numero e dalla posizione degli atomi di cloro sull'anello aromatico, le più tossiche possiedono 4 atomi di cloro legati agli atomi di carbonio β dell'anello aromatico e pochi o nessun atomo di cloro legato agli atomi di carbonio α dell'anello aromatico...". Nella terminologia corrente il termine "diossina", al singolare questa volta, è talora usato come sinonimo della 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p-diossina (TCDD), ossia del congenere maggiormente tossico (unico riconosciuto possibile cancerogeno per l'uomo) che ha 4 atomi di cloro nelle posizioni β e nessuno in α ... Di converso la diossina con maggior grado di clorurazione, vale a dire la ottaclorodibenzo-p-diossina (OCDD) presenta una

tossicità bassa, comparata con quella degli altri congeneri, poiché gli atomi di cloro occupano tutte le posizioni α ".

Le diossine sono sostanze semivolatili e termostabili, insolubili in acqua ma altamente solubili nei grassi ed estremamente resistenti alla degradazione chimica e biologica. "Nel suolo si legano alla frazione organica presente e, una volta adsorbite (ovvero "legate" e concentrate su una superficie, rappresentata, ad esempio, dalla fase solida del suolo), rimangono relativamente immobili: a causa della loro insolubilità in acqua non tendono a migrare in profondità. Pur essendo scarsamente idrosolubili, trovano nell'acqua un'ottima via di diffusione una volta adsorbite sulle particelle minerali ed organiche presenti in sospensione. Le caratteristiche chimico-fisiche sopra richiamate, fanno diventare tali sostanze facilmente trasportabili dalle correnti atmosferiche, e, in misura minore, dai fiumi e dalle correnti marine, rendendo così possibile la contaminazione di luoghi lontani dalle sorgenti di emissione. A causa della loro presenza ubiquitaria nell'ambiente, persistenza e liposolubilità, le diossine tendono, nel tempo, ad accumularsi negli organismi viventi, si accumulano cioè nei tessuti ed organi dell'uomo e degli animali. Inoltre, salendo nella catena trofica (alimentare), la concentrazione di tali sostanze può aumentare (biomagnificazione), giungendo ad esporre a rischio maggiore il vertice di detta catena." (APAT, 2006)

Sempre seguendo il discorso di APAT: "Dalle considerazioni sopra esposte si può quindi concludere che le diossine sono contaminanti ubiquitari; in conseguenza di ciò tutti noi abbiamo accumulato una quantità di diossine più o meno significativa che varia in funzione delle abitudini alimentari, delle caratteristiche dell'ambiente che ci circonda, delle caratteristiche fisiche. Occorre però ricordare che non tutte le diossine presenti nell'ambiente risultano essere "biodisponibili", ovvero essere in forma tale da "passare" nella catena alimentare e provocare un impatto sulla salute. La biodisponibilità dipende dalle caratteristiche ambientali (suolo, acque, sedimenti) e dalle caratteristiche del contaminante (le sostanze appartenenti alla categoria "diossine" hanno diverse caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche)."

Inoltre, l'esposizione ambientale "può interessare ampie fasce della popolazione e può avvenire, per lo più, attraverso l'alimentazione con cibo contaminato, anche se vi possono essere altre vie di esposizione quali l'inalazione di polvere o il contatto. Recenti studi hanno stimato che circa il 95% dell'esposizione alle diossine avviene attraverso cibi contaminati ed, in particolare, di grassi animali ... I prodotti di origine vegetale contribuiscono in piccola percentuale."

La compresenza di più congeneri a differente tossicità nelle stesse matrici impone che si trovi un sistema di espressione 'complessivo' dei valori frutto delle misurazioni. Nel merito si esprime, ancora una volta con chiarezza, il testo di APAT: "Generalmente le diossine non vengono rilevate nelle diverse matrici come singoli composti, ma come miscele complesse dei diversi congeneri; si ribadisce, inoltre, che non tutti i congeneri sono tossici o lo sono alla stessa maniera. Per riuscire a esprimere la tossicità dei singoli congeneri, è stato introdotto il concetto di fattore di tossicità equivalente (TEF). I fattori di tossicità equivalente si basano sulla considerazione che i PCDD e i PCDF sono composti strutturalmente simili che presentano il medesimo meccanismo strutturale di azione (attivazione del recettore Ah) e producono effetti tossici simili: proprio il legame tra le diossine e il recettore Ah è il passo chiave per il successivo innescarsi degli effetti tossici. I TEF vengono calcolati confrontando l'affinità di legame dei vari composti organoclorurati con il recettore Ah, rispetto a quella della 2,3,7,8-TCDD, considerando l'affinità di questa molecola come il valore unitario di riferimento. Per esprimere la concentrazione complessiva di diossine nelle diverse matrici si è introdotto il concetto di tossicità equivalente (TEQ) che si ottiene sommando i prodotti tra i valori TEF dei singoli congeneri e le rispettive concentrazioni, espresse con l'unità di misura della matrice in cui vengono riscontrate ...".

La tabella di **figura 4.2** (anch'essa tratta dal citato volume APAT, ma aggiornata sulla base del rapporto *The 2005 WHO re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds*, Van den Berg et al., 2006) riporta "due schemi di classificazione: quello degli International TEFs e quello del World Health Organization (WHO)

WHOTEFs”; il secondo (OMS) differisce dal primo in quanto assegna alla 1,2,3,7,8-pentaclorodibenzodiossina una tossicità equivalente a quella della 2,3,7,8-TCDD (valore ‘1’), mentre considera meno tossici i composti OCDD, 1,2,3,7,8-PeCDF, 2,3,4,7,8-PeCDF e OCDF.

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 secondo NATO e WHO (da: Van den Berg et al. 2006).

Procedendo ora a dettagliare il tema della presenza di *diossine* e *furani* nella matrice che qui interessa, il suolo, si possono citare come fonti di contaminazione differenti meccanismi naturali o a partenza da attività antropiche, come la deposizione atmosferica, l’erosione di terreni limitrofi contaminati, gli spandimenti di fanghi e *compost*, il depositarsi di sedimenti provenienti da esondazioni. Comunque, nel suolo la TCDD “non presenta mobilità significativa in quanto è adsorbita dal carbonio organico del suolo stesso; una volta adsorbita, rimane relativamente immobile ed a causa della bassa solubilità in acqua non mostra tendenza alla migrazione in profondità. La via di fuga più probabile della TCDD presente sulla superficie del suolo umido è la volatilizzazione, l’adsorbimento può attenuare questo processo. La persistenza di TCDD negli strati superficiali del suolo è stimata con un’emivita pari a 9-15 anni, mentre l’emivita stimata per gli strati più profondi è di 25-100 anni I suoli costituiscono, quindi, dei recettori naturali per le diossine e, a causa della limitata rimozione e del lungo periodo di emivita, rappresentano una tipica matrice accumulatrice.” (APAT, 2006)

Il volume APAT riporta anche un elenco di attività (*macrosettori* ‘SNAP 97’) responsabili di emissione e quindi di potenziale contaminazione, fornendo al contempo alcune stime di quantità emesse e la loro evoluzione nel tempo.

E’ interessante notare come si siano determinati cambiamenti del profilo delle responsabilità emissive stimate (vedi **figura 4.3**): proprio il “trattamento smaltimento rifiuti” appare dai dati APAT il macrosettore che ha migliorato di più la propria *performance* nel corso degli anni considerati (dal 1990 al 2002), beninteso in termini emissivi complessivi. Dice APAT: “In passato, l’individuazione di elevate concentrazioni di PCDD/F nei gas combusti dei processi di incenerimento dei rifiuti, ha indotto le diverse autorità nazionali ad una maggiore cautela nei riguardi delle tecnologie adottate; tale fatto e l’individuazione ed adozione di nuove soluzioni tecnologiche ha progressivamente ridotto l’importanza di questa sorgente. Infatti misurazioni recenti sui livelli di diossine prodotte dagli inceneritori di RSU hanno confermato il trend positivo di abbattimento delle concentrazioni a seguito di processi di combustione. In particolare, dati UNEP dimostrano come a partire dagli anni ‘70 i livelli di concentrazione siano diminuiti del 99,8% grazie

proprio al fatto che gli inceneritori di nuova concezione adottano delle metodologie di incenerimento più efficienti.”

Va al contempo notato come, nel 2002, la stragrande responsabilità emissiva di *diossine* e *furani* sia attribuita all'insieme dei due macrosettori 'combustioni industriali' e 'processi produttivi', circa il 68%, a fronte del 13% del 'trattamento smaltimento rifiuti' (comprendente incenerimento, interrimento di rifiuti solidi o agricoli, cremazione e altri trattamenti di rifiuti), del 10% della 'combustione non industriale', dell'8% della 'combustione energia e industria di trasformazione' e dell'1% circa dei 'trasporti stradali'; anche in questo caso si tratta di stime di emissioni complessive, che vanno sicuramente a mostrare variazioni, anche sensibili, quando declinate a livello locale.

Dice ancora APAT: “In conclusione i processi di combustione rappresentano le attività macrosettoriali maggiormente responsabili delle emissioni in atmosfera di diossine e furani.

Figura 4.3 - Emissioni nazionali di diossine e furani per macrosettori SNAP 97 (da *Diossine Furani e PCB*, APAT 2006).

Diossine e Furani	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
g I-TEQ/a									
A	24,73	28,42	27,27	26,59	25,02	21,94	21,97	20,77	22,63
B	24,59	27,48	26,63	28,97	28,79	32,47	33,30	33,99	29,44
C	117,47	121,20	110,07	121,75	121,44	119,97	130,14	124,49	119,63
D	67,20	71,68	62,68	66,51	67,92	63,41	71,08	73,89	74,67
G	7,41	7,48	7,03	6,35	5,57	4,91	4,19	3,80	3,27
I	199,11	193,16	148,95	132,84	126,19	110,13	57,39	37,12	36,06
M	2,15	0,45	0,24	0,72	0,95	0,61	0,93	0,73	0,33
Totale	442,67	449,87	382,87	383,71	375,88	353,43	319,00	294,80	286,03

Fonte: APAT, 2005

Legenda: A: Combustione Energia e Industria di Trasformazione; B: Combustione non Industriale; C: Combustione Industriale; D: Processi Produttivi; G: Trasporti Stradali; I: Trattamento Smaltimento Rifiuti; M: Altre sorgenti Emissioni e Assorbimenti

Venendo ora ad un tema specifico si riporta ... una stima effettuata dall'Unione Europea sul rilascio di diossine e furani sulla matrice suolo, dalla quale risulta che l'apporto maggiore della contaminazione è attribuibile alla produzione di pesticidi e agli incendi incontrollati (accidentali/dolosi). I valori riportati si riferiscono alla stima della quantità di diossine presente nei rifiuti derivanti dalle sopra citate attività e conferiti direttamente sul suolo e quindi solo potenzialmente biodisponibile e si riferiscono all'anno 1994.” (vedi **figura 4.4**)

Figura 4.4 - Rilascio di diossine e furani sul suolo dovuti ad attività antropica e naturale – Fonte UE 2001. (da *Diossine Furani e PCB*, APAT 2006).

Sorgente	g I-TEQ/anno (1994)	% Totale
Produzione pesticidi	13000	34
Incendi accidentali	7950	21
Incenerimento di rifiuti solidi urbani	7200	19
Interrimento di rifiuti solidi	4000	10
Uso di pesticidi	1600	4,2
Fusione secondaria del piombo	1200	3,2
Combustione di legno domestico	650	1,7
Fusione secondaria del rame (recupero)	390	1
Produzione acciaio (forno elettrico)	350	0,9
Fusione secondaria dell'alluminio (recupero)	310	0,8

Un altro importante riferimento bibliografico sul tema si può rinvenire in un recente studio condotto a Mantova dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'Azienda Sanitaria Locale di quella provincia, pubblicato nel *Rapporto Istisan 06/43* (ISS, *Microinquinanti organici e inorganici nell'area di Mantova: studio dei livelli ambientali*, 2006). In quella pubblicazione si riporta una tabella (vedi **figura 4.5**) sull'evoluzione dei fattori di emissione (in termini di microgrammi di I-TEQ/t) attribuibili alle combustioni presenti in diversi cicli tecnologici italiani. Le elaborazioni sono a cura dell'AIDIC (*Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica*) in collaborazione con l'ISS e mostrano una rilevanza maggiore dei contributi emissivi complessivi in Italia da parte dei processi di combustione di carbone e di coke nel terziario e nell'agricoltura, della combustione nelle produzioni di piombo e rame secondari e dell'incenerimento di rifiuti agricoli.

Senza comunque addentrarsi in ulteriori informazioni sui meccanismi che portano alla formazione degli inquinanti d'interesse, per le quali ci si può riferire a numerosa bibliografia, vale la pena concludere il discorso, preliminare alla disamina dei risultati dell'indagine qui presentata, con un'ulteriore notazione, sempre ripresa dal citato volume APAT. In esso è riportata una sommaria tabella (vedi **figura 4.6**) che “propone un quadro sinottico

delle principali sorgenti termiche suddivise in puntuali, più facilmente misurabili e controllabili, e diffuse, difficilmente misurabili e controllabili.”. Il concetto è chiaro e condivisibile, ma ciò non toglie valore ad un concetto più generale, secondo cui gli sforzi di riduzione della contaminazione ambientale (e alimentare) di diossine vadano comunque perseguiti con tenacia (in relazione alla stabilità delle molecole), vadano sempre rivolti contemporaneamente in più direzioni, siano in termini il più possibile ‘preventivi’ e vadano collegati (in modo il più possibile documentato) alle singole realtà territoriali in cui si ritiene opportuno/doveroso operare detti sforzi.

Figura 4.5 – Fattori di emissione di PCDD/F relativi a diversi cicli tecnologici in Italia (da *Microinquinanti organici e inorganici nell'area di*

PCDD/F (µg I-TEQ/t)	1990	1995	2000	2005	2010
Centrali elettriche					
Carbone	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lignite	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Olio combustibile	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasolio	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Legna	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Petcoke	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Combustione (terziario e agricoltura)					
Carbone	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Olio combustibile	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Legna	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Gpl	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasolio	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Kerosene	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Coke	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Combustione nell'industria					
Impianti di combustione					
Carbone	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Lignite	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Olio combustibile	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Legna	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Coke	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Gpl	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nafta	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Kerosene	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasolio	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Petcoke	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Cemento	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Impianti di sinterizzazione acciaio	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Piombo secondario	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
rame secondario	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Alluminio secondario	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Processi produttivi: forni elettrici	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Trasporti stradali	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Trattamento e smaltimento rifiuti					
Incenerimento rifiuti solidi urbani	115,0	100,0	10,0	2,5	0,5
Incenerimento rifiuti solidi industriali	256,0	256,0	25,6	5,0	0,8
Incenerimento rifiuti ospedalieri	256,0	256,0	25,6	5,0	0,8
fanghi di depurazione di impianti civili	480,0	480,0	48,0	4,8	0,6
Incenerimento rifiuti agricoli	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Figura 4.6 - Sorgenti di PCDD/F da combustione (da *Diossine Furani e PCB*, APAT 2006).

Sorgenti puntuali

- **Incenerimento rifiuti:** Rifiuti solidi urbani, ospedalieri, combustione di residui plastici generati da pratiche agricole, combustione di gomme o pneumatici, rifiuti incontrollati, fanghi da acque reflue
- **Industria dell'acciaio:** Acciaierie, impianti di sintesi, produzione lastre d'acciaio
- **Impianti di riciclaggio:** Metalli non ferrosi (fusione; Al, Cu, Pb, Zn, Sn)
- **Produzione di energia:** Impianti alimentati con combustibili fossili, legno, biogas da discarica

Sorgenti diffuse

- **Traffico:** Automobili e mezzi pesanti
- **Riscaldamento domestico:** Carbone, olio, gas, legno
- **Casuali:** Combustione PCB, incendi negli edifici, incendi boschivi, incendi di materiali vari all'aperto, eruzioni vulcaniche

Metodologia e risultati dell'indagine

Anche a proposito dei rilievi di *diossine* e *furani* occorre richiamare quanto esplicitato estesamente nel capitolo 'metalli' circa l'esistenza di un'*incertezza analitica* (eventualmente integrata da una quota parte legata al campionamento) da associarsi con i risultati dei rilievi stessi. Ancor più che per i metalli, per i parametri qui considerati pesa in modo sostanziale il discorso sull'evoluzione strumentale che, nel giro di pochi anni, ha portato a migliorare i *limiti di rilevabilità* e la *sensibilità* dei metodi analitici, avendo ciò conseguenze sull'espressione stessa dei risultati e sulle successive valutazioni.

Per le caratteristiche chimico-ambientali e tossicologiche delle sostanze in questione, infatti, i legislatori, segnatamente là dove le implicazioni sanitarie appaiono più pregnanti (l'ambito delle contaminazioni alimentari), hanno deciso di sostenere criteri di trattamento dei valori analitici particolarmente cautelativi: si è allora deciso d'includere per legge nel calcolo del TEQ anche i valori inferiori ai limiti di quantificazione, peraltro facendoli uguali ai limiti stessi. Ovviamente ciò comporta una volontaria sovrastima dell'effettiva contaminazione, che, quando ci si sposta nel campo dell'analisi ambientale, non aiuta a cogliere eventuali gradienti spaziali come richiederebbe una ricerca di responsabilità emissive da parte delle varie potenziali sorgenti di contaminazione.

Ai fini del presente lavoro appare quindi necessario operare una sorta di divaricazione delle elaborazioni dei dati: laddove si vuole valutare a fini di protezione della salute pubblica l'entità delle contaminazioni locali dei suoli è d'obbligo massimizzare la trattazione 'precauzionale' dei dati, mentre laddove si vuole tentare di correlare il livello di contaminazione ambientale con le possibili sorgenti emissive (ad esempio l'inceneritore) è necessario avere un quadro il più accurato possibile della qualità ambientale (evitando quindi le citate sovrastime a fini sanitari).

Nella tabella in **figura 4.7** sono riportati i dati presi tal quali; in essa cioè sono indicati tutti i valori analitici (inclusi quelli trovati inferiori ai limiti di quantificazione analitica, posti in celle a fondo **giallo** o, per l'unico campione replicato, su fondo **verde**) e sono riportati individualmente anche i risultati dei campionamenti '4 da 4' (per i quali le aliquote sono state analizzate in modo separato). Le ultime colonne della tabella si riferiscono agli esiti dei calcoli di entrambe le tipologie di TEQ citate in premessa ('WHO-TEQ 1998' e 'I-TEQ 1988').

Osservando la tabella si rileva che:

- in nessun campione si è riscontrata la presenza del 'noto' composto 2,3,7,8-tetracloro dibenzodiossina a valori superiori al limite di quantificazione analitico;
- in un solo campione si è trovata, a valore superiore al limite di quantificazione analitico, la 1,2,3,7,8-pentaclorodibenzodiossina (non ritrovata però negli altri tre campionamenti sullo stesso sito);
- nessun valore è risultato superiore al limite di 10 pg TEQ/g s.s. definito dalla legge per siti di tipo 'A' (uso verde pubblico, privato e residenziale) poiché i due sistemi di calcolo dei TEQ, cioè WHO-TEQ e I-TEQ, hanno avuto, rispettivamente, massimi di 7.33 e 6.09 pg/g s.s., con medie di 3.56 e 3.12 pg/g s.s. e minimi di 1.65 e 1.44 pg/g s.s.

Limiti D.Lgs. 152/06 - SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale																		10	10
Limiti D.Lgs. 152/06 - SITO B: ad uso commerciale e industriale																		100	100
	2.3.7.8-T4CDD (tetraclorodibenzo diossina)	1.2.3.7.8-P5CDD	1.2.3.4.7.8-H6CDD	1.2.3.6.7.8-H6CDD	1.2.3.7.8.9-H6CDD	1.2.3.4.6.7.8-H7CDD	O8CDD	2.3.7.8-T4CDF	1.2.3.7.8-P5CDF	2.3.4.7.8-P5CDF	1.2.3.4.7.8-H6CDF	1.2.3.6.7.8-H6CDF	2.3.4.6.7.8-H6CDF	1.2.3.7.8.9-H6CDF	1.2.3.4.6.7.8-H7CDF	1.2.3.4.7.8.9-H7CDF	O8CDF	Equivalenti di Tossicità (WHO-TEQ)	Equivalenti di Tossicità (I-TEQ)
Sito	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.
C1 A	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	9,80	43,80	<0,8	<0,8	<0,8	3,00	<0,8	<0,8	<0,8	5,30	<0,8	8,10	2,90	2,71
C1 B	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	6,90	42,80	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	4,20	1,30	10,70	2,64	2,46
C1 C	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	8,90	49,70	1,40	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1,80	<0,8	4,80	1,60	9,70	2,83	2,65
C1 D	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	7,50	43,00	0,90	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1,20	<0,8	4,40	1,90	10,70	2,71	2,52
C2 A	<0,8	<0,8	<1,1	<1,1	<1,1	10,80	40,30	<0,8	<0,8	<0,8	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	14,70	2,70	19,90	3,13	2,95
C2 B	<0,7	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	4,00	36,20	<0,7	<0,7	0,90	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	7,20	1,90	8,30	2,49	2,36
C2 C	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	2,00	6,00	33,20	<0,8	<0,8	<0,8	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	5,00	<1,0	9,80	2,84	2,64
C2 D	<0,9	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0	7,70	39,90	<0,9	<0,9	<0,9	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	7,00	1,30	13,60	3,10	2,89
C3 A	<0,9	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0	9,40	36,60	<0,9	<0,9	<0,9	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	6,90	<1,2	10,50	3,16	2,94
C3 B	<1,2	<1,2	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	36,50	<0,1	<0,1	<0,1	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	8,70	<0,8	19,30	3,12	2,58
C3 C	<1,3	<1,3	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	67,40	<1,1	<1,1	<1,1	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	6,30	<0,8	15,30	3,67	3,32
C3 D	<1,3	<1,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,8	<1,1	<1,1	<1,1	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	9,30	<0,7	<0,8	3,61	3,20
C4 A	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	12,50	60,20	1,80	<0,8	<0,8	2,40	<0,8	2,80	<0,8	11,50	1,30	18,60	3,24	3,07
C4 B	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	19,70	119,60	1,10	2,10	2,10	2,90	2,50	2,20	<0,8	13,30	1,80	21,60	3,87	4,03
C4 C	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	31,10	88,20	<0,8	<0,8	3,20	4,30	4,70	7,80	<0,8	23,70	4,00	17,40	5,28	5,61
C4 D	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	57,40	171,50	2,20	<0,8	2,90	4,90	5,60	5,60	<0,8	28,70	3,90	31,10	5,60	5,94
C4 rep	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1,10	59,50	<0,7	<0,7	1,80	1,20	1,00	<0,8	<0,8	8,30	2,70	11,1	2,99	3,02
C5 A	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	8,70	42,70	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	6,00	1,90	15,70	2,89	2,50
C5 B	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	7,20	39,00	1,10	<0,8	<0,8	1,40	1,30	<0,8	<0,8	5,30	2,60	12,50	2,81	2,62
C5 C	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	8,10	34,40	0,80	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	4,40	<0,8	16,40	2,65	2,46
C5 D	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	4,60	35,80	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1,00	1,00	3,40	1,20	14,80	2,65	2,46
C6 A	<1,1	<1,1	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<1,1	<1,2	<1,2	<1,2	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	4,10	4,30	<1,1	3,37	3,08
C6 B	<1,1	<1,1	<0,8	<0,8	<0,8	4,40	<1,1	<1,3	<1,3	<1,3	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	5,20	<0,9	<1,1	3,46	3,20
C6 C	<1,2	<1,2	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<1,3	<1,4	<1,4	<1,4	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<1,3	3,56	3,27
C6 D	<1,1	<1,1	<0,5	<0,5	<0,5	10,10	65,70	<0,9	<0,9	<0,9	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	11,00	<0,7	<0,8	3,25	2,95
C7 A	<1,6	<1,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,7	<1,3	<1,3	<1,3	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,7	4,25	3,74
C7 B	<1,3	<1,3	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	3,63	3,20
C7 C	<1,4	<1,4	<0,7	<0,7	<0,7	15,20	79,50	<1,0	<1,0	<1,0	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	9,00	<0,8	<0,7	4,03	3,61
C7 D	<1,2	<1,2	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,8	<1,0	<1,0	<1,0	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	5,10	<0,9	<0,8	3,44	3,06
C8 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	24,40	135,10	2,20	<0,3	<0,3	4,10	<0,3	<0,3	<0,3	13,50	1,30	28,40	1,95	1,98
C8 B	<0,6	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	27,20	106,40	1,60	2,20	1,20	2,90	2,10	<0,5	1,60	21,10	6,00	29,00	3,23	3,31
C8 C	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<0,4	24,60	8,10	<0,4	<0,4	<0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	33,10	<0,3	78,50	2,02	1,92
C8 D	<0,8	<0,8	<0,5	<0,5	<0,5	33,70	67,90	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	45,30	<0,5	35,40	3,03	2,84
C9 A	<0,7	4,80	<0,6	<0,6	<0,6	8,50	24,50	1,10	<0,6	1,80	<0,4	1,30	2,40	<0,4	5,00	1,60	16,40	6,96	4,96
C9 B	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<0,4	4,70	30,20	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	5,10	0,90	14,00	1,57	1,44
C9 C	<0,9	<0,9	<0,5	<0,5	<0,5	6,10	29,40	<0,4	<0,4	0,60	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	6,20	1,70	16,80	2,50	2,21
C9 D	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<0,4	4,50	32,80	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	7,60	0,90	18,20	1,60	1,47
C10	<0,9	<0,9	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	37,70	<0,9	<0,9	<0,9	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	5,60	<1,8	23,10	3,46	3,25
C11	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	8,60	<0,4	<0,4	2,60	1,00	<0,3	0,90	1,00	5,60	<0,3	8,30	2,34	2,63
C12	<1,0	<1,0	<0,6	<0,6	<0,6	5,60	32,10	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	5,50	<0,8	1,70	2,97	2,67
C13	<1,1	<1,1	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<1,1	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<1,1	3,28	2,99
C14	<1,3	<1,3	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,9	<1,0	<1,0	<1,0	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	3,66	3,23
C15	<0,8	<0,8	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	120,50	<1,4	<1,4	<1,4	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	5,50	<0,8	<1,0	2,90	2,89
C16	<0,8	<0,8	<1,2	<1,2	<1,2	86,10	398,90	<0,8	<0,8	<0,8	<0,9	<0,9	14,50	<0,9	77,00	15,20	109,20	5,96	6,09
C17	<1,5	<1,5	<1,7	<1,7	<1,7	32,40	143,70	<1,6	<1,6	<1,6	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	18,90	5,60	30,90	5,42	5,14
C18	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	114,40	<1,5	<1,5	<1,5	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	10,40	3,50	27,50	3,27	3,24
C19	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	5,80	34,50	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	5,90	1,20	15,70	2,65	2,46
C20	<0,7	<0,7	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<1,0	<0,7	<0,7	<0,7	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	8,70	<0,8	35,50	2,41	2,24
C21	<1,6	<1,6	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	100,6	<1,7	<1,7	<1,7	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	16,00	<1,4	10,90	5,26	4,91

Figura 4.7 PCDD e PCDF. Risultati dei rilievi.

Come già detto, i dati tal quali non sono utilizzabili per l'altro tipo di valutazioni, quello cioè relativo all'individuazione di eventuale gradiente spaziale rispetto all'inceneritore (o ad altra sorgente quale l'autostrada), causa la presenza di una variabilità fra i dati dello stesso sito di campionamento, che è legata alle caratteristiche dei campioni, è talora consistente (vedi i siti 6, 'Discarica inerti' e 7 'Parco urbano') e che si estende anche agli stessi *valori-limite di quantificazione*.

Ancor meno utilizzabile ai fini dell'obiettivo citato è il TEQ, che contribuisce a mascherare, con i calcoli sottesi, le differenze tra i siti (vedi, in proposito, le **figure 4.8 e 4.9**, riportate solo per volontà di completezza e di trasparenza e contenente i grafici relativi alla distribuzione dei due tipi di TEQ nei vari siti indagati). Da notare che i siti sono 'raggruppati' così come operato per i metalli.

Figura 4.8

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Diossine e Furani I-TEQ

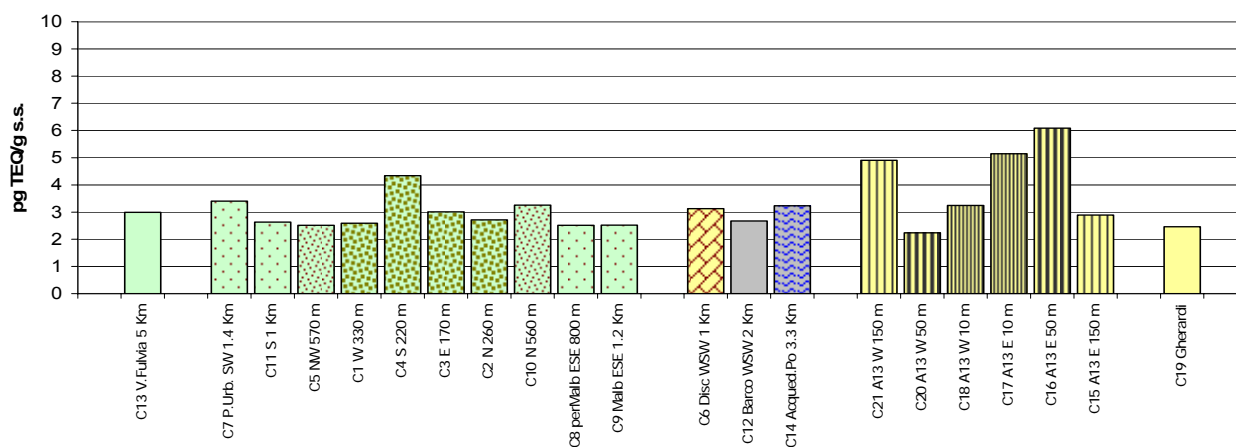
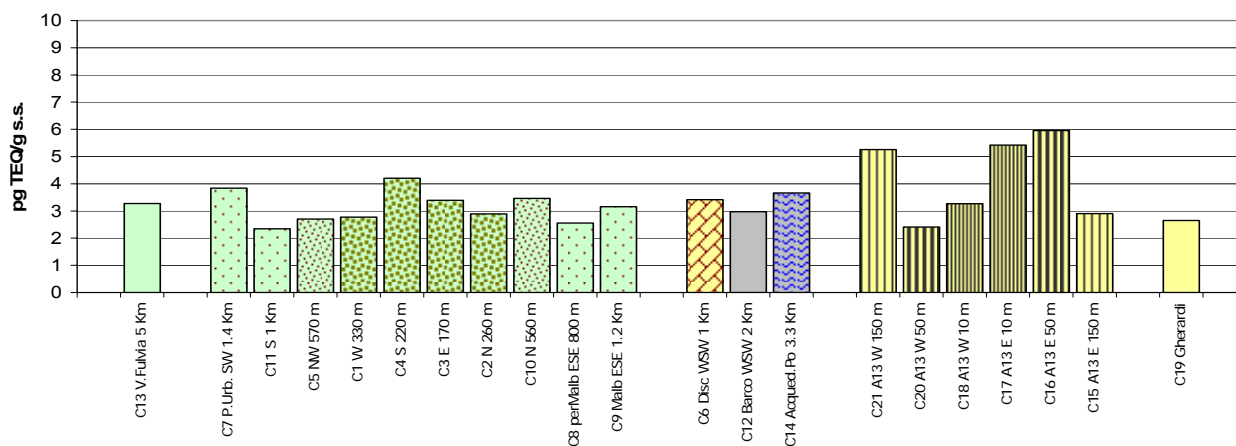


Figura 4.9

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Diossine e Furani WHO-TEQ



Sotto il profilo investigativo ambientale appaiono invece più validi altri strumenti di elaborazione. Quelli qui applicati sono basati sui criteri che seguono:

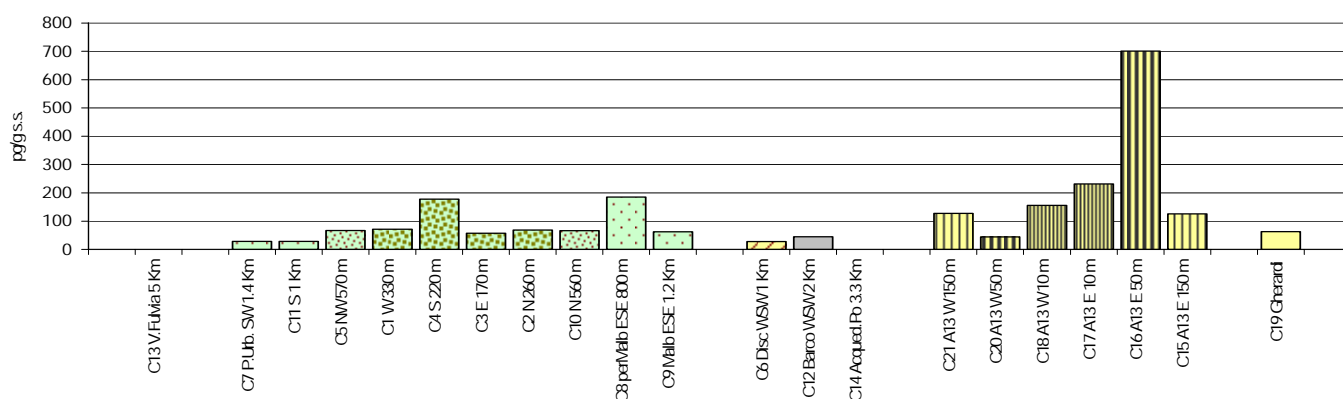
- si è deciso di utilizzare le concentrazioni misurate delle diossine e dei furani non moltiplicate per il corrispondente TEF; altresì non viene espressa la concentrazione complessiva in TEQ;
- si è operata una trasformazione dei valori risultati inferiori ai limiti di quantificazione in valori pari a metà degli stessi, in analogia con la metodologia impiegata in molti studi di tipo ambientale e consigliata dall'ISS (*Rapporto ISTISAN 04/15*);
- si è effettuata una mediazione delle quattro concentrazioni relative ad ognuno dei siti campionati con sistema '4 da 4' al fine di rendere omogenea l'interpretazione dei risultati;
- nessun valore inferiore al limite di quantificazione è stato eliminato, ancorché l'analisi statistica adatta a piccole serie di dati (*test di Dixon e test di Grubbs*) avesse rilevato alcune potenziali 'anomalie';
- si è optato per l'utilizzo, in veste di puri indicatori di distribuzione spaziale, soltanto di quelle specifiche sostanze i cui *set* di dati mostravano una decisa 'abbondanza' di valori superiori ai limiti di quantificazione;
- si è deciso di esplorare anche la potenzialità informativa delle somme dei valori analitici (sempre non TEQ) relativi a tutti i parametri utilizzando però, in questo caso, ad evitare eccessiva sovrastima, i valori inferiori ai limiti di quantificazione (considerati uguali a metà del limite) solo per il calcolo delle medie dei campioni '4 da 4'.

La tabella in **figura 4.10** riporta i dati utilizzati come base per le elaborazioni di cui a tale ultimo punto f); in **figura 4.11** è il grafico corrispondente, da cui si ricavano suggestioni 'forti' per una lettura possibile dei dati: i valori complessivi più elevati di diossine e furani appaiono concentrati intorno all'autostrada e anche nei pressi dell'inceneritore di Via Conchetta, mentre a Villa Fulvia e nel sito dell'Acquedotto sul Po tutti i valori dei singoli parametri sono risultati inferiori ai limiti di quantificazione.

Sommatoria dei valori analitici (non espressi come TEQ)	Totali
	pg/g s.s.
C13 V.Fulvia 5 Km	valori <l.q.
C7 P.Urb. SW 1.4 Km	28,46
C11 S 1 Km	28,00
C5 NW 570 m	66,78
C1 W 330 m	71,65
C4 S 220 m	177,68
C3 E 170 m	56,99
C2 N 260 m	68,88
C10 N 560 m	66,40
C8 perMalb ESE 800 m	185,15
C9 Malb ESE 1.2 Km	62,56
C6 Disc WSW 1 Km	27,85
C12 Barco WSW 2 Km	44,90
C14 Acqued.Po 3.3 Km	valori <l.q.
C21 A13 W 150 m	127,50
C20 A13 W 50 m	44,20
C18 A13 W 10 m	155,80
C17 A13 E 10 m	231,50
C16 A13 E 50 m	700,90
C15 A13 E 150 m	126,00
C19 Gherardi	63,10

Figura 4.10

Figura 4.11 2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Diossine e Furani:
sommatoria dei valori analitici (non espressi come TEQ)



L'indagine di maggior dettaglio, secondo quanto più sopra indicato al punto e) è rappresentata in modo tabellare nella **figura 4.12** e in modo grafico nelle **figure da 4.13 a 4.17**.

Come si può osservare, tutti i congeneri rappresentati (eptacloro e octacloro sostituiti) mostrano, pur con variazioni tra loro, una prevalenza di concentrazione attorno all'autostrada A13 (soprattutto in alcuni punti più vicini alla carreggiata stradale) e, di meno, nei punti più prossimi all'inceneritore e sulla via per Malborghetto (Via Conchetta).

Quanto agli altri congeneri, va segnalato che la loro presenza è risultata limitata solo ad alcuni siti. Nella **figura 4.18** è graficamente rappresentata la distribuzione della somma dei valori analitici ad essi relativi, mentre nella **figura 4.19** è riportata la corrispondente tabella dei dati. Va notato che, data la stragrande prevalenza, per tali parametri, di valori inferiori ai limiti di quantificazione, per la costruzione di tali due ultime figure i valori inferiori ai limiti di quantificazione non sono stati considerati (tranne che per il calcolo delle medie dei campioni '4 da 4', in cui sono stati considerati pari a metà del limite di quantificazione).

Congeneri Diossine - Furani (valori < l.q. = 1/2 l.q.)	1.2.3.4.6.7.8-H7CDD	O8CDD	1.2.3.4.6.7.8-H7CDF	1.2.3.4.7.8.9-H7CDF	O8CDF
	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.	pg/g s.s.
C13 V.Fulvia 5 Km	0,35	0,55	0,35	0,35	0,55
C7 P.Urb. SW 1.4 Km	4,25	20,48	3,74	0,43	0,39
C11 S 1 Km	0,20	8,60	5,60	0,15	8,30
C5 NW 570 m	7,15	37,98	4,11	1,20	13,29
C1 W 330 m	8,28	44,83	4,68	1,30	9,80
C4 S 220 m	24,36	99,80	17,10	2,74	19,96
C3 E 170 m	2,59	35,23	7,80	0,44	11,38
C2 N 260 m	7,13	37,40	8,48	1,60	12,90
C10 N 560 m	0,75	37,70	5,60	0,90	23,10
C8 perMalb ESE 800 m	27,48	79,38	28,25	1,93	42,83
C9 Malb ESE 1.2 Km	5,95	29,23	5,98	1,28	16,35
C6 Disc WSW 1 Km	4,00	17,30	5,18	1,38	0,54
C12 Barco WSW 2 Km	5,60	32,10	5,50	0,40	1,70
C14 Acqued.Po 3.3 Km	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45
C21 A13 W 150 m	0,90	100,60	16,00	0,70	10,90
C20 A13 W 50 m	0,45	0,50	8,70	0,40	35,50
C18 A13 W 10 m	0,45	114,40	10,40	3,50	27,50
C17 A13 E 10 m	32,40	143,70	18,90	5,60	30,90
C16 A13 E 50 m	86,10	398,90	77,00	15,20	109,20
C15 A13 E 150 m	0,45	120,50	5,50	0,40	0,50
C19 Gherardi	5,80	34,50	5,90	1,20	15,70

Figura 4.12

Figura 4.13

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - 1.2.3.4.6.7.8-H7CDD (non uso diTEF)

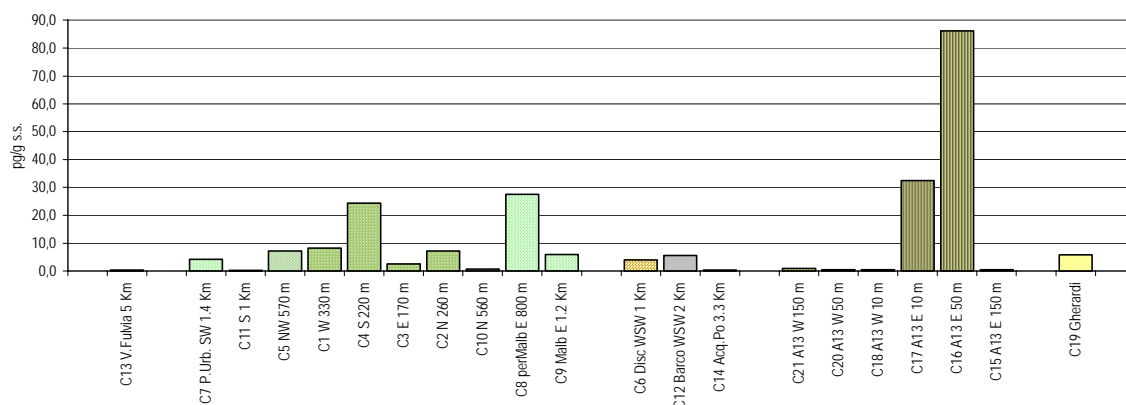


Figura 4.14

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - O8CDD (nonuso di TEF)

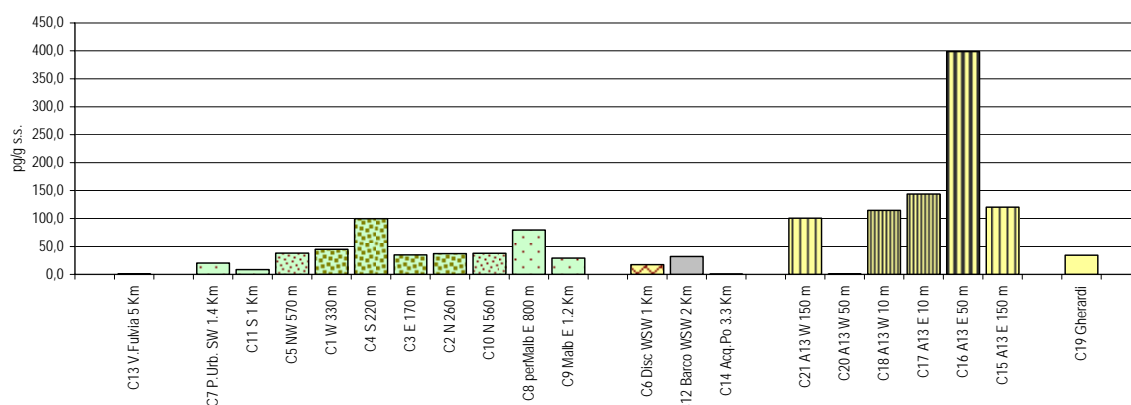


Figura 4.15

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - 1.2.3.4.6.7.8-H7CDF (nonuso di TEF)

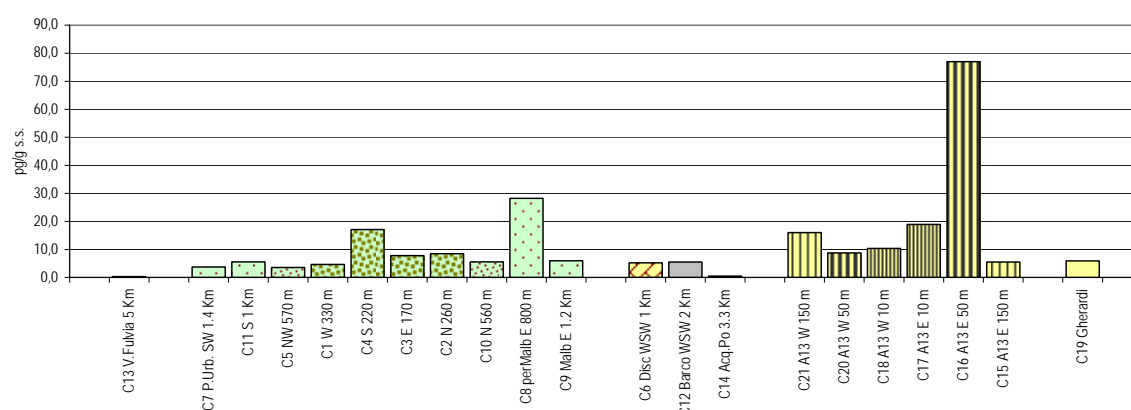


Figura 4.16

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - 1.2.3.4.7.8.9-H7CDF (nonuso di TEF)

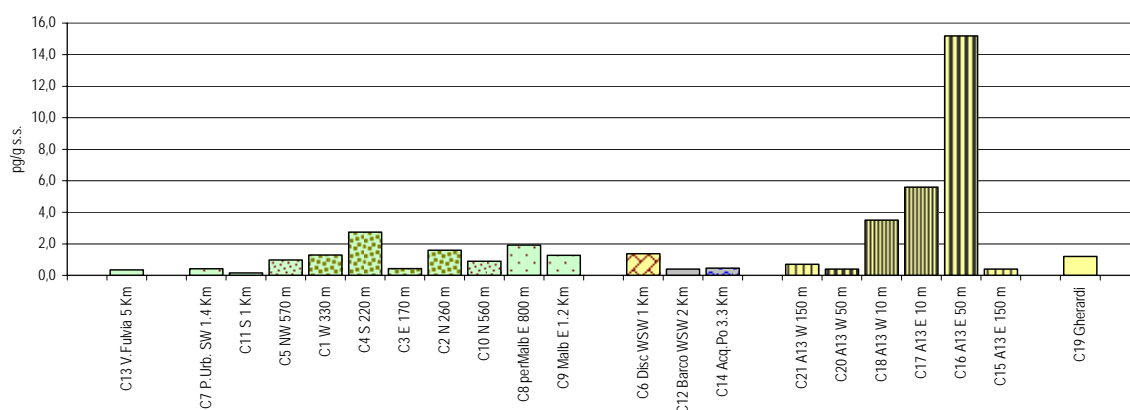


Figura 4.17

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - O8CDF (nonuso di TEF)

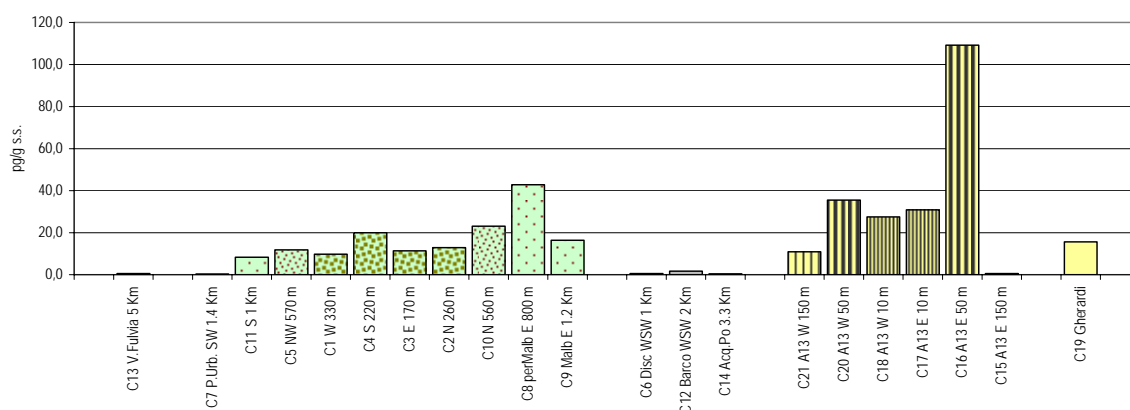
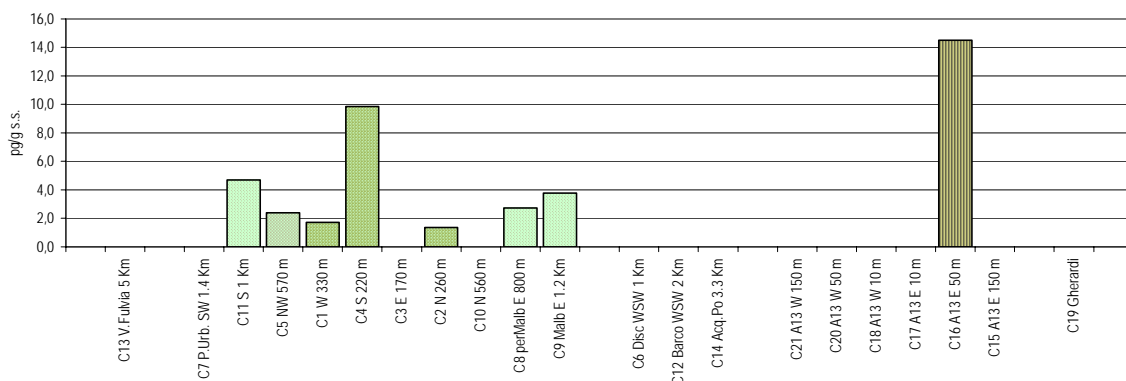


Figura 4.18

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Somma di alcuni congeneri (non come TEF):
1.2.3.7.8-P5CDD; 1.2.3.7.8.9-H6CDD; 2.3.7.8-T4CDF; 2.3.4.7.8-P5CDD; 1.2.3.6.7.8-H6CDF; 2.3.4.6.7.8-H6CDF; 1.2.3.7.8.9-H6CDF



Congeneri Diossine - Furani (non uso di TEF)	1.2.3.7.8-P5CDD	1.2.3.7.8.9-H6CDD	2.3.7.8-T4CDF	2.3.4.7.8-P5CDF	1.2.3.6.7.8-H6CDF	2.3.4.6.7.8-H6CDF	1.2.3.7.8.9-H6CDF
	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.
C13 V. Fulvia 5 Km							
C7 P. Urb. SW 1.4 Km							
C11 S 1 Km				2,60		0,90	1,00
C5 NW 570 m			0,68		0,63	0,55	0,55
C1 W 330 m			0,78			0,95	
C4 S 220 m			1,17	2,08	2,84	3,76	
C3 E 170 m							
C2 N 260 m		0,84		0,54			
C10 N 560 m							
C8 perMalb ESE 800 m			1,08	0,46	0,66		0,54
C9 Malb ESE 1.2 Km	1,44	0,00	0,43	0,70	0,48	0,75	
C6 Disc WSW 1 Km							
C12 Barco WSW 2 Km							
C14 Acqued. Po 3.3 Km							
C21 A13 W 150 m							
C20 A13 W 50 m							
C18 A13 W 10 m							
C17 A13 E 10 m							
C16 A13 E 50 m						14,50	
C15 A13 E 150 m							
C19 Gherardi							

Figura 4.19

Come ultima elaborazione si è deciso, in analogia a quanto fatto con i metalli, di accorpare i siti campionati disponendoli in gruppi di potenziale ‘influenza’ dell’inceneritore (e di altre sorgenti); tali gruppi s’identificano con le aree di seguito elencate:

- l’area a meno di 400 m dall’inceneritore;
- un’area fra 0.5 e 1.5 Km dall’inceneritore, ma con l’esclusione del sito presso la discarica per inerti (trovata peculiare nell’analisi per i metalli);
- l’area peri-autostradale (fra 10 e 150 m a est e a ovest dell’asse stradale);
- l’area di Villa Fulvia;
- il complesso dei tre rimanenti siti urbani (la zona dell’Acquedotto sul Po, il sito adiacente alla discarica per inerti e il sito di Barco in prossimità del *Petrolchimico*);
- l’area di Gherardi-Jolanda di Savoia (4 campionamenti).

Le **figure 4.20 e 4.21** mostrano, rispettivamente, la distribuzione delle somme dei valori analitici (non TEQ, con valori inferiori ai limiti di quantificazione fatti uguali a metà degli stessi) e dei WHO-TEQ nelle aree di cui sopra. Va ancora una volta notato come questi ultimi vadano a mascherare le potenziali differenze tra le aree.

Figura 4.20

Diossine e furani. Indagine 'Conchetta 2006-07'.
Medie delle somme dei valori analitici non TEQ (valori < l.q. fatti uguali a 1/2 l.q.)

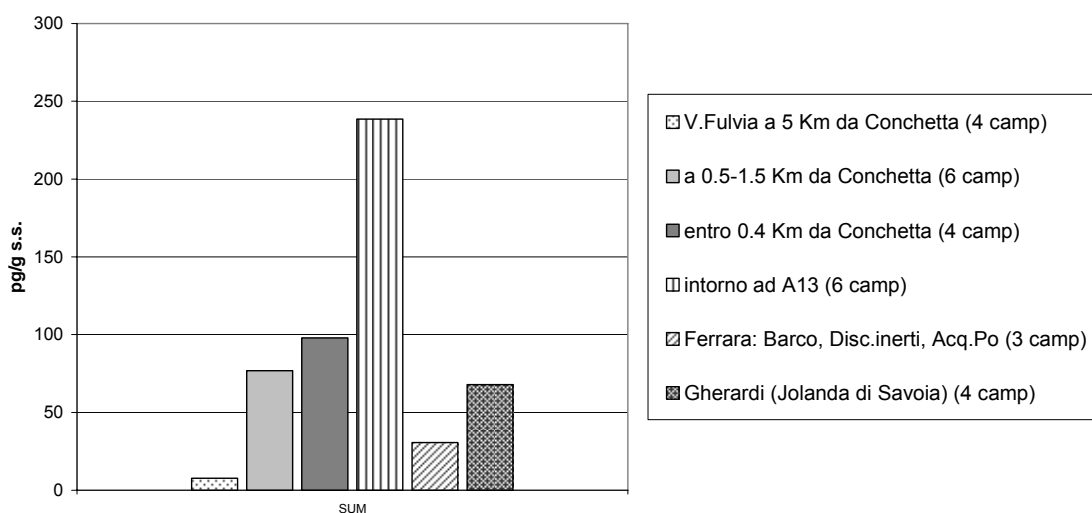
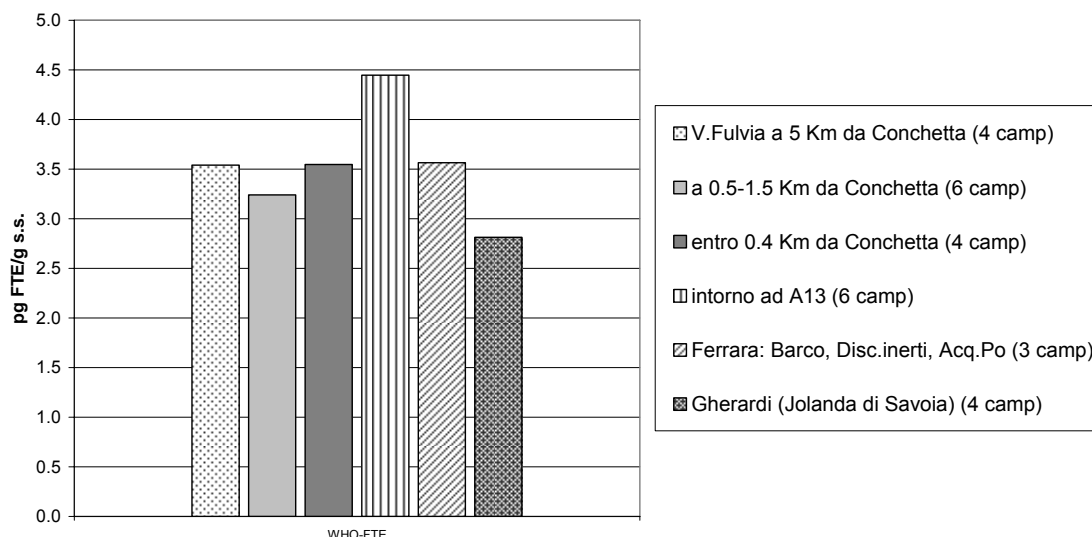


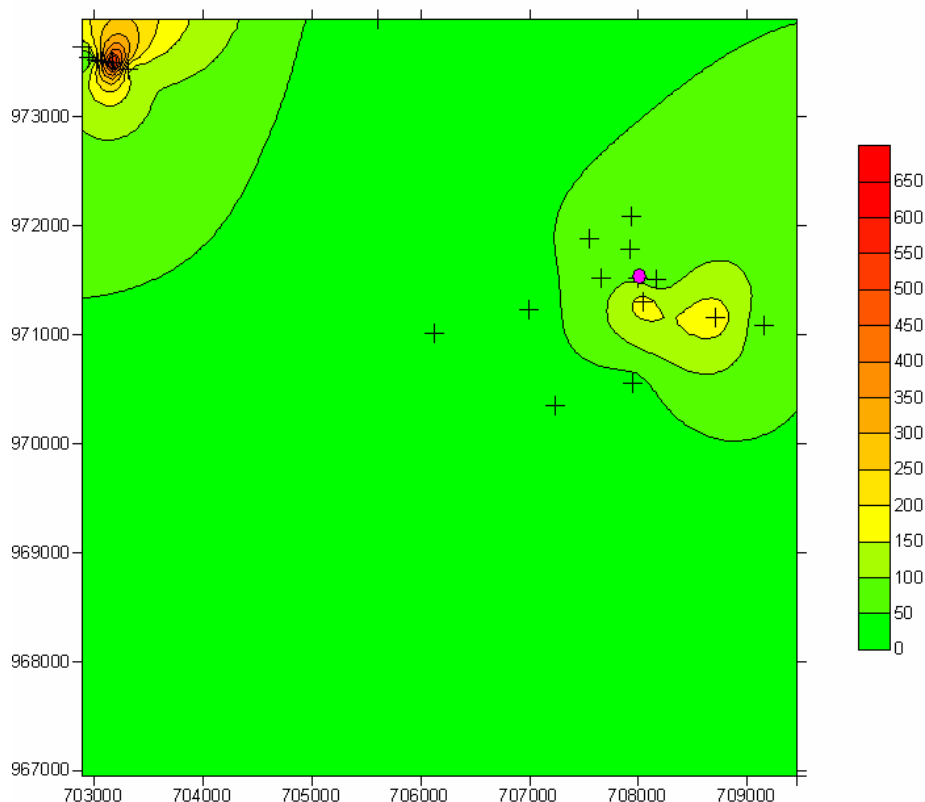
Figura 4.21

Diossine e furani. Indagine 'Conchetta 2006-07'. WHO-TEQ medie.



Volendo trarre una conclusione dagli elaborati sin qui descritti e dalla suggestiva ulteriore elaborazione spaziale con il programma *Surfer* (**figura 4.22**, relativa alla somme dei valori analitici riprese dalla tabella di **figura 4.10**), come per i metalli, anche per *diossine* e *furani* sembrano potersi abbastanza chiaramente ravvisare tracce dell'esistenza pregressa dell'inceneritore di Via Conchetta. Tali tracce appaiono inferiori a quelle leggibili all'intorno dell'autostrada A13, mentre il confronto con altre aree (urbane ed extraurbane) appare comunque ancora difficilmente analizzabile in relazione al ridotto numero di dati raccolti su di esse.

Figura 4.22
DIOSSINE - FURANI
Sommatoria valori analitici (pg/g s.s.)



5. Policlorobifenili (PCB)

Premessa

Dei PCB, una volta utilizzati in apparecchiature elettriche (quali trasformatori e condensatori) o come additivi per pesticidi, ritardanti di fiamma, isolanti, inchiostri, plastiche e altri prodotti, dal 1985 sono vietati sia il commercio che l'uso, a causa delle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche di questi prodotti. I PCB sono infatti composti estremamente stabili e persistenti: essi resistono ad acidi ed alcali, non sono praticamente ossidabili né infiammabili né fotodegradabili né biodegradabili, evaporano a oltre 800°C e si decompongono solo oltre i 1000°C, sono poco idrosolubili e molto liposolubili, derivandone una spiccata bioaccumulabilità.

Una recente pubblicazione dell'APAT (*Diossine Furani e PCB*, edizione febbraio 2006) dice di essi: "I PCB vengono ricavati a partire dal petrolio e dal catrame, dai quali si estrae il benzene, che viene poi trasformato in bifenile. Il bifenile viene successivamente clorurato a policlorobifenile In base alla posizione degli atomi di cloro nella molecola del bifenile si possono ottenere 209 congeneri Le caratteristiche fisico-chimiche dei congeneri dei PCB variano notevolmente e

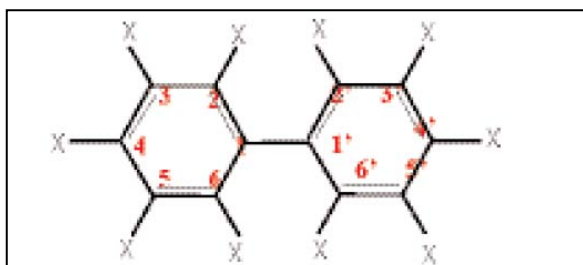


Figura 5.1 Formula di struttura dei PCB: $C_{12}H_aCl_b$ (con X che può essere H o Cl) (da *Diossine Furani e PCB*, APAT 2006)

questa variabilità ha dirette conseguenze su persistenza e bioaccumulo dei singoli congeneri. I congeneri dei PCB sono suddivisi in due gruppi in base alla diversa possibilità che hanno gli atomi di cloro di disporsi su un unico anello del bifenile o su entrambi Solo 12 dei 209 congeneri dei PCB, i cosiddetti coplanari, presentano caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche paragonabili alle diossine e ai furani: questi vengono definiti PCB dioxin-like (cioè simili alle diossine) e indicati con la sigla PCBdl. Gli elementi più importanti nel

determinare lo stesso meccanismo di azione della 2,3,7,8-TCDD risultano le dimensioni molecolari e la conformazione planare dei congeneri dei PCB. Queste caratteristiche strutturali dipendono dal numero di atomi di cloro e soprattutto dalle loro posizioni (orto, meta e para) nella molecola del bifenile. Ed è proprio questa somiglianza strutturale a far sì che i PCB coplanari agiscano, a livello cellulare, in maniera simile alla 2,3,7,8-TCDD, interazione che non è possibile per i congeneri non planari, detti non diossina-simili. Infatti, gli effetti dei PCBdl sulla salute umana e sugli organismi sono analoghi a quelli evidenziati per le diossine".

Nella tabella di **figura 5.2**, ripresa dalla citata pubblicazione, vengono elencati i PCBdl con i relativi fattori di tossicità equivalente (TEF), per i quali, come per *diossine* e *furani*, si può fare riferimento a due diversi schemi di calcolo.

Tenuto conto che "è stato stimato che all'inizio del secolo scorso sono state prodotte e commercializzate più di un milione di tonnellate di PCB (dati European Commission, 2000)" e che "anche se tali sostanze non vengono più

The International Programme on Chemical Safety (IPCS)		
	WHO	UNEP
Compound	WHO 1998 TEF	WHO 2005 TEF
<i>non-ortho substituted PCBs</i>		
PCB 77	0.0001	0.0001
PCB 81	0.0001	0.0003
PCB 126	0.1	0.1
PCB 169	0.01	0.03
<i>mono-ortho substituted PCBs</i>		
105	0.0001	0.00003
114	0.0005	0.00003
118	0.0001	0.00003
123	0.0001	0.00003
156	0.0005	0.00003
157	0.0005	0.00003
167	0.00001	0.00003
189	0.0001	0.00003

Figura 5.2 PCB *dioxin-like* e relativi fattori di tossicità equivalente per umani e mammiferi (da: Van den Berg et al. 2006).

prodotte in molti paesi, tuttavia ne restano grossi quantitativi in apparecchiature elettriche, plastiche, edifici e nell'ambiente" (APAT 2006), potenziali fonti attuali di contaminazione risultano la dispersione da prodotti o da apparecchi contenenti PCB (per perdite, incendi, scarichi illeciti e smaltimento inadeguato), l'incenerimento di rifiuti, la concimazione di terreni con fanghi provenienti dalla depurazione di acque di scarico, la combustione di oli usati, la dispersione dalle riserve di PCB presenti in sedimenti marini e fluviali e in fanghi di dragaggio.

Metodologia e risultati dell'indagine

Lo studio dei PCB nel suolo intorno all'inceneritore di Via Conchetta ha ricalcato quello degli altri parametri presi in considerazione nell'indagine. Fra i numerosissimi congeneri se n'è studiati 18 (fra cui due *dioxin-like*), segnatamente quelli che tradizionalmente vengono ricercati, a protezione della salute, negli alimenti e nei mangini, con i quali avviene sostanzialmente la maggiore esposizione di persone e animali. Il set di parametri è infatti quello previsto dal *Piano Nazionale Residui* (PNR) dell'Istituto Superiore di Sanità, rappresentativo delle sostanze a provenienza dalle principali possibili fonti di contaminazione degli alimenti umani ed animali. Vale la pena notare come studi significativi condotti in Piemonte fra il 2002 e il 2004 abbiano mostrato, nelle aree urbane, una prevalenza di composti penta-, esa- ed epta-sostituiti, con un rilievo, fra i *dioxin-like*, del congenere penta-sostituito '118'. In futuro si potrebbe considerare l'opportunità, per indagini squisitamente ambientali come la presente, di estendere gli sforzi di rilevazione ad un maggior numero di congeneri, segnatamente quelli del PNR e tutti i *dioxin-like*, anche se buona parte di questi ultimi appaia avere una minore rappresentatività ambientale.

Nella tabella in **figura 5.3** sono riportati tutti i dati presi tal quali; in essa cioè sono indicati tutti i valori analitici (inclusi quelli trovati inferiori ai limiti di quantificazione analitica, posti in celle a fondo giallo o, per l'unico campione replicato (*C4 rep.*), su fondo verde) e sono riportati individualmente anche i risultati dei campionamenti '4 da 4' (per i quali le aliquote sono state analizzate in modo separato). I *dioxin-like* ricercati sono stati i soli due congeneri '105' e '118'.

Le concentrazioni sono state espresse senza considerazione dello scheletro come indicato dal D.M. 471/99 e invece diversamente richiesto dal vigente D.Lgs. 152/06.

Osservando la tabella si rileva che:

- la variabilità di campionamento appare decisamente ridotta rispetto ad altri microinquinanti; fra i campioni '4 da 4', infatti, solo i valori dei campioni puntuali C2-C e C4-D si discostano da quelli degli altri punti dello stesso sito;
- in molti campioni i risultati delle misure si collocano al di sotto o sono prossimi al limite di quantificazione analitico;
- l'unico superamento riscontrato (trascritto in rosso) riguarda il campione puntuale C4-D la cui somma dei valori analitici risulta superiore ai limiti di legge per sito di tipo 'A' (ad uso verde pubblico, privato e residenziale); in tale sito si è quindi proceduto a un ri-campionamento per valutare se la variabilità osservata avesse una probabile origine da micro-inquinamento puntuale o fosse invece dovuta a possibili 'errori grossolani' di campionamento o analitici: dal campione replicato 'medio composito' *C4 rep.*, ottenuto mescolando le 4 aliquote ri-campionate nel sito 4, si rileva come la somma dei congeneri di questo campione sia nettamente inferiore al limite normato per sito di tipo 'A', allineandosi i valori a quelli degli altri tre campioni dello stesso sito (C4-A, C4-B e C4-C) ma discostandosi nettamente dal C4-D;
- i due *dioxin-like* mostrano valori pressoché inferiori al limite di quantificazione ad eccezione dei siti 2 e 4 in cui le concentrazioni trovate sono significativamente più elevate rispetto a quelle degli altri campioni. Si è rinunciato ad effettuare il calcolo con i relativi fattori di tossicità equivalente (TEF) poichè sono stati considerati solo 2 congeneri su 12 sopra citati.

limite D.Lgs 152/06	SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale																				60	60
limite D.Lgs 152/06	ISITO B: ad uso commerciale e industriale																				500	500
data	sito	T3CB-28	T4CB-52	P5CB-95	P5CB-101	P5CB-99	P5CB-110	H6CB-151	H6CB-149	P5CB-118	H6CB-146	H6CB-153	P5CB-105	H6CB-138	H7CB-187	H7CB-183	H7CB-177	H7CB-180	H7CB-170	sommatoria valori ≥ l.q.	sommatoria valori (<l.q. =1/2 l.q.)	
data	sito	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	
20/06/2006	C1 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,50	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	1,30	3,55	
20/06/2006	C1 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,50	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	1,90	3,85	
20/06/2006	C1 C	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,40	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	1,10	3,35	
20/06/2006	C1 D	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	2,85	
22/06/2006	C2 A	<0,3	<0,3	<0,3	0,60	0,40	0,60	<0,3	0,50	1,10	<0,3	1,10	0,50	1,40	0,30	<0,3	<0,3	0,60	0,40	7,50	8,55	
22/06/2006	C2 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	0,40	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1,00	3,25	
22/06/2006	C2 C	<0,3	0,70	1,90	4,70	2,10	5,10	0,80	3,80	6,80	1,40	5,90	3,00	7,00	0,70	0,40	0,60	1,80	1,70	48,40	48,55	
22/06/2006	C2 D	<0,3	0,30	0,70	1,80	0,90	1,90	0,40	1,40	3,20	0,60	2,50	1,40	3,70	0,30	<0,3	<0,3	0,90	0,80	20,80	21,25	
22/06/2006	C3 A	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	0,30	0,50	<0,3	0,50	<0,3	0,70	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	2,60	4,40	
22/06/2006	C3 B	<0,3	<0,3	0,40	0,80	0,50	0,60	<0,3	0,60	0,60	<0,3	0,80	<0,3	0,90	0,30	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	5,90	7,10	
22/06/2006	C3 C	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	0,40	0,30	<0,3	0,40	0,40	<0,3	0,70	<0,3	0,60	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	3,60	5,10	
22/06/2006	C3 D	<0,3	<0,3	0,30	0,60	0,80	0,40	<0,3	0,50	0,40	<0,3	0,90	<0,3	0,80	0,30	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	5,40	6,60	
20/06/2006	C4 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,90	3,15	
20/06/2006	C4 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	0,30	<0,3	0,50	<0,3	0,70	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	0,30	2,60	4,40	
20/06/2006	C4 C	<0,3	0,40	0,50	<0,3	0,90	0,30	<0,3	1,10	0,30	1,40	<0,3	1,90	0,50	<0,3	<0,3	1,10	0,60	<0,3	9,00	10,05	
20/06/2006	C4 D	<0,3	0,40	2,10	4,30	1,00	3,30	3,50	10,00	3,80	2,70	13,60	1,40	14,00	4,80	2,50	2,80	10,00	6,90	87,10	87,25	
24/01/2007	C4 rep.	0,70	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	<0,3	<0,3	0,50	<0,3	<0,3	0,90	<0,3	0,90	0,40	<0,3	<0,3	0,90	0,50	5,20	6,70	
20/06/2006	C5 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,90	3,15	
20/06/2006	C5 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	0,40	<0,3	1,00	<0,3	1,20	0,40	<0,3	<0,3	1,30	0,80	5,40	7,05	
20/06/2006	C5 C	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
20/06/2006	C5 D	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	2,85	
05/07/2006	C6 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	1,00	3,25	
05/07/2006	C6 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	0,50	<0,3	1,10	3,35	
05/07/2006	C6 C	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
05/07/2006	C6 D	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,70	<0,3	0,70	0,30	<0,3	<0,3	0,60	0,40	3,10	4,90
05/07/2006	C7 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
05/07/2006	C7 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
05/07/2006	C7 C	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	0,70	<0,3	0,70	<0,3	<0,3	<0,3	0,70	0,30	<0,3	2,70	4,65	
05/07/2006	C7 D	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
15/06/2006	C8 A	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	0,30	0,60	<0,3	0,70	0,70	0,30	1,40	0,30	1,40	0,40	<0,3	<0,3	0,90	0,60	8,00	8,90	
15/06/2006	C8 B	<0,3	<0,3	0,70	0,30	0,40	1,60	0,40	1,60	<0,3	0,50	2,00	0,30	2,60	0,80	0,40	0,40	1,90	1,00	14,90	15,35	
15/06/2006	C8 C	<0,3	<0,3	0,50	0,80	<0,3	1,40	0,50	1,70	0,50	0,50	2,20	0,20	2,40	1,00	0,50	0,50	2,20	1,10	16,00	16,45	
15/06/2006	C8 D	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,50	<0,3	0,50	0,50	<0,3	1,00	0,30	1,10	0,40	<0,3	<0,3	0,90	<0,3	5,50	6,85	
13/06/2006	C9 A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
13/06/2006	C9 B	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
13/06/2006	C9 C	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
13/06/2006	C9 D	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	<0,3	0,60	<0,3	0,30	0,60	<0,3	<0,3	0,80	<0,3	2,70	4,65	
22/06/2006	C10	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,40	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	1,10	3,35	
15/06/2006	C11	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
05/07/2006	C12	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	0,40	<0,3	0,60	<0,3	0,60	0,30	<0,3	<0,3	0,80	0,60	3,60	5,25	
06/07/2006	C13	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
06/07/2006	C14	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,70	3,10	
19/07/2006	C15	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
19/07/2006	C16	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
19/07/2006	C17	<0,3	<0,3	<0,3	0,40	0,50	0,90	<0,3	0,60	0,70	0,30	1,30	0,30	1,70	0,50	<0,3	<0,3	1,10	0,60	8,90	9,80	
19/07/2006	C18	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3	0,30	0,40	<0,3	0,80	<0,3	0,90	0,30	<0,3	<0,3	0,80	0,40	4,20	5,70	
16/06/2006	C19	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<l.q.	2,70	
19/07/2006	C20	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,60	0,30	<0,3	0,60	0,50	<0,3	1,30	<0,3	0,90	0,60	<0,						

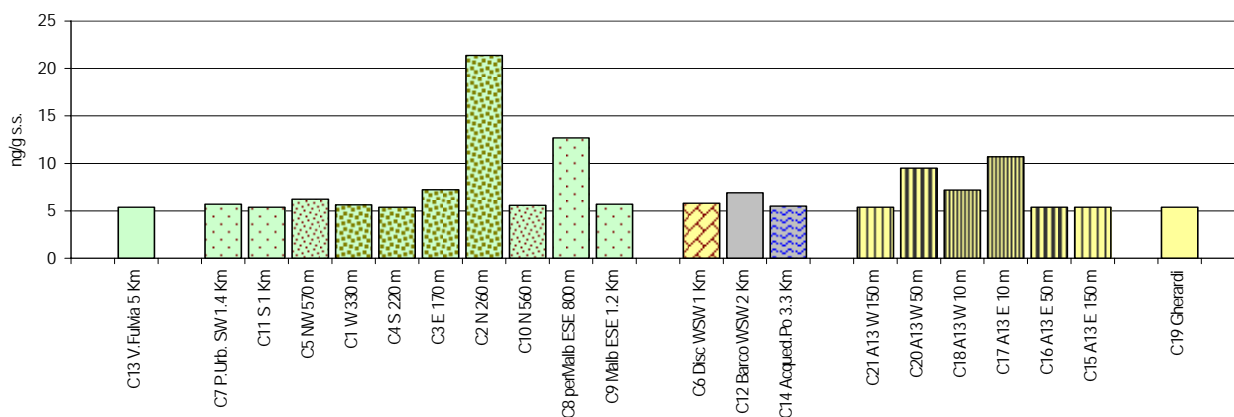
Figura 5.3 PCB. Risultati dei rilievi.

Ai fini di un'elaborazione dei risultati, alla luce di quanto espresso sopra e anche per rendere la trattazione delle rilevazioni sui campioni '4 da 4' omogenea con quella delle rilevazioni sui campioni '1 da 4', si è effettuata una mediazione delle quattro concentrazioni. A tal fine, il punto di campionamento C4-D è stato considerato 'anomalo' e quindi escluso per non distorcere impropriamente le elaborazioni.

Da un punto di vista sanitario, seguendo una trattazione precauzionale dei dati, nella **figura 5.4** si riporta una rappresentazione grafica della somma dei valori analitici in cui i valori inferiori al limite di quantificazione sono stato fatti uguali ad esso. Va notato come i valori risultino tutti ampiamente inferiori al limite più basso (sito di tipo 'A') pari a 60 ng/g s.s.; va parimenti notato come il precedente DM 471/99 ponesse tale limite a 1 ng/g, al quale risultano superiori tutte le somme dei valori rinvenuti.

Figura 5.4

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - PCB
Somma dei valori analitici (valori < l.q. fatti uguali a l.q.)



Volendo esaminare i dati sotto un profilo strettamente ambientale, finalizzato cioè a evidenziare eventuali correlazioni tra le sorgenti emissive e il grado di contaminazione dei suoli circostanti le stesse, si è ritenuto di non produrre sovrastime volontarie dei dati. Pertanto, nelle **figure 5.5 e 5.6**, in cui si riportano la rappresentazioni grafiche delle somme di tutti i PCB e delle somme dei valori dei due congeneri *dioxin-like* ('105' e '118'), i valori inferiori ai limiti di quantificazione sono stati fatti uguali alla loro metà.

Figura 5.5

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - PCB 105 + PCB 118
Somma dei valori analitici (valori < l.q. fatti uguali a 1/2 l.q.)

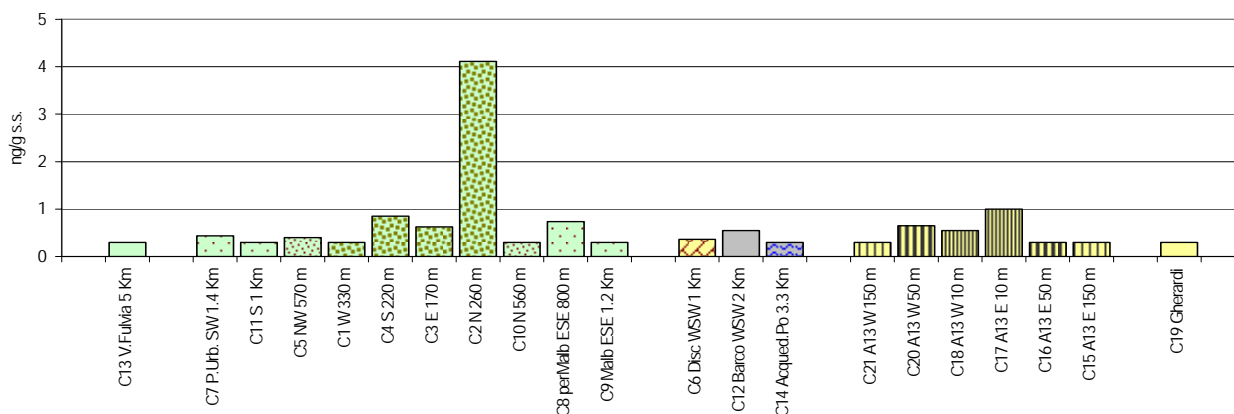
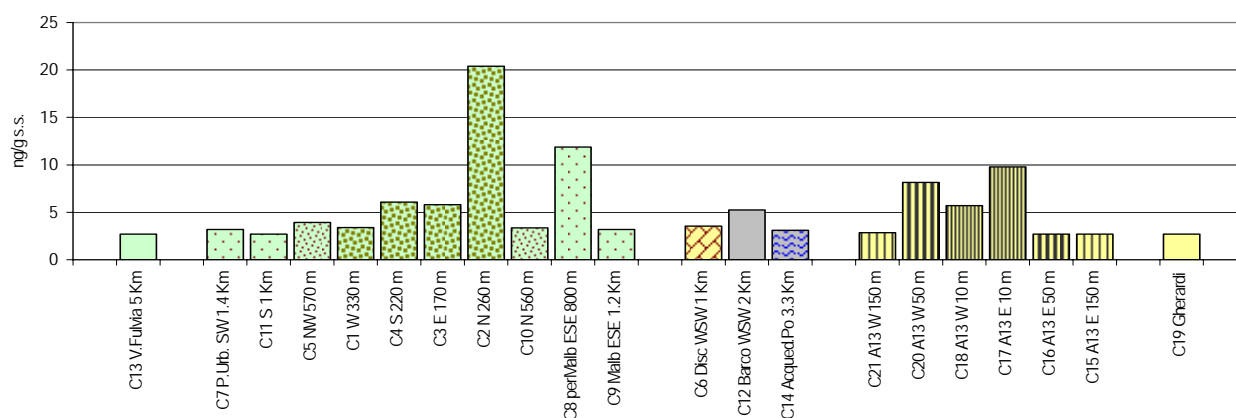


Figura 5.6

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - PCB
Somma dei valori analitici (valori < l.q. fatti uguali a 1/2 l.q.)



La tabella di **figura 5.7** riporta i valori utilizzati per la costruzione dei grafici summenzionati.

Volendo trarre una sommaria conclusione da quanto analizzato, per i PCB ricercati, se si escludessero i due valori 'elevati' (del tutto puntuali) di due dei siti più prossimi all'inceneritore, risulterebbe un po' più difficile che non con le diossine e furani e con alcuni metalli far emergere 'tracce' della pregressa esistenza dell'inceneritore di Via Conchetta. Quanto ad una lettura 'sanitaria' dei dati, anche per produrre più efficienti confronti con i limiti di legge, s'intravede l'opportunità di estendere il numero dei parametri da ricercare, con l'inclusione di tutti i congeneri *dioxin-like*.

Figura 5.7			
	sommatoria valori (<l.q.=1/2l.q.)	sommatoria valori (<l.q.=l.q.)	sommatoria valori dioxin-like (<l.q.=1/2l.q.)
sito	ng/g s.s.	ng/g s.s.	ng/g s.s.
C13 V.Fulvia 5 Km	2,70	5,40	0,30
C7 P.Urb. SW 1.4 Km	3,19	5,70	0,44
C11 S 1 Km	2,70	5,40	0,30
C5 NW 570 m	3,94	6,23	0,40
C1 W 330 m	3,40	5,65	0,30
C4 S 220 m	6,08	5,40	0,85
C3 E 170 m	5,80	7,23	0,63
C2 N 260 m	20,40	21,38	4,11
C10 N 560 m	3,35	5,60	0,30
C8 perMalb ESE 800 m	11,89	12,68	0,74
C9 Malb ESE 1.2 Km	3,19	5,70	0,30
C6 Disc WSW 1 Km	3,55	5,80	0,36
C12 Barco WSW 2 Km	5,25	6,90	0,55
C14 Acqued.Po 3.3 Km	3,10	5,50	0,30
C21 A13 W 150 m	2,85	5,40	0,30
C20 A13 W 50 m	8,15	9,50	0,65
C18 A13 W 10 m	5,70	7,20	0,55
C17 A13 E 10 m	9,80	10,70	1,00
C16 A13 E 50 m	2,70	5,40	0,30
C15 A13 E 150 m	2,70	5,40	0,30
C19 Gherardi	2,70	5,40	0,30

6. Idrocarburi policiclici aromatici

Premessa

Gli IPA (*Idrocarburi Policiclici Aromatici*) fanno parte di una famiglia di svariate centinaia di sostanze organiche contenenti almeno due anelli di benzene nella loro molecola.

L'idrocarburo policiclico aromatico più semplice è il *naftalene*, costituito dalla combinazione di due soli anelli di benzene. Gli anelli, comunque, possono essere numerosi e variamente arrangiati (vedi **figura 6.1**). La struttura ed il peso molecolare condizionano ovviamente le caratteristiche chimico-fisiche, la stabilità e la tossicità dei singoli composti. La liposolubilità degli IPA (e quindi la loro capacità ad accumularsi negli organismi biologici) è elevata, mentre la volatilità e l'idrosolubilità (in genere molto bassa) tendono a decrescere col crescere del peso molecolare. Se infatti, il *naftalene* in atmosfera è in fase di vapore, composti con 3-5 anelli possono trovarsi in fase sia di vapore che solida, mentre quelli con un numero maggiore tendono ad essere solidi, in atmosfera adesi al particolato. La stabilità è in genere minore nei composti a struttura lineare.

La presenza di IPA nell'ambiente (*outdoor* e *indoor*) è assolutamente ubiquitaria, riconoscendo essi un'origine sia naturale che antropogenica, in genere come conseguenza di processi di combustione e di pirolisi a carico di materie organiche. Di alcuni IPA, solitamente presenti in miscele, sono note le proprietà genotossica, mutagena e cancerogena. L'esposizione maggiore avviene attraverso l'aria contaminata (specialmente in zone urbane, industriali e molto trafficate), gli alimenti e il fumo di tabacco. In taluni casi IPA vengono anche deliberatamente prodotti per la produzione di sostanze plastiche, pesticidi, coloranti e altri prodotti.

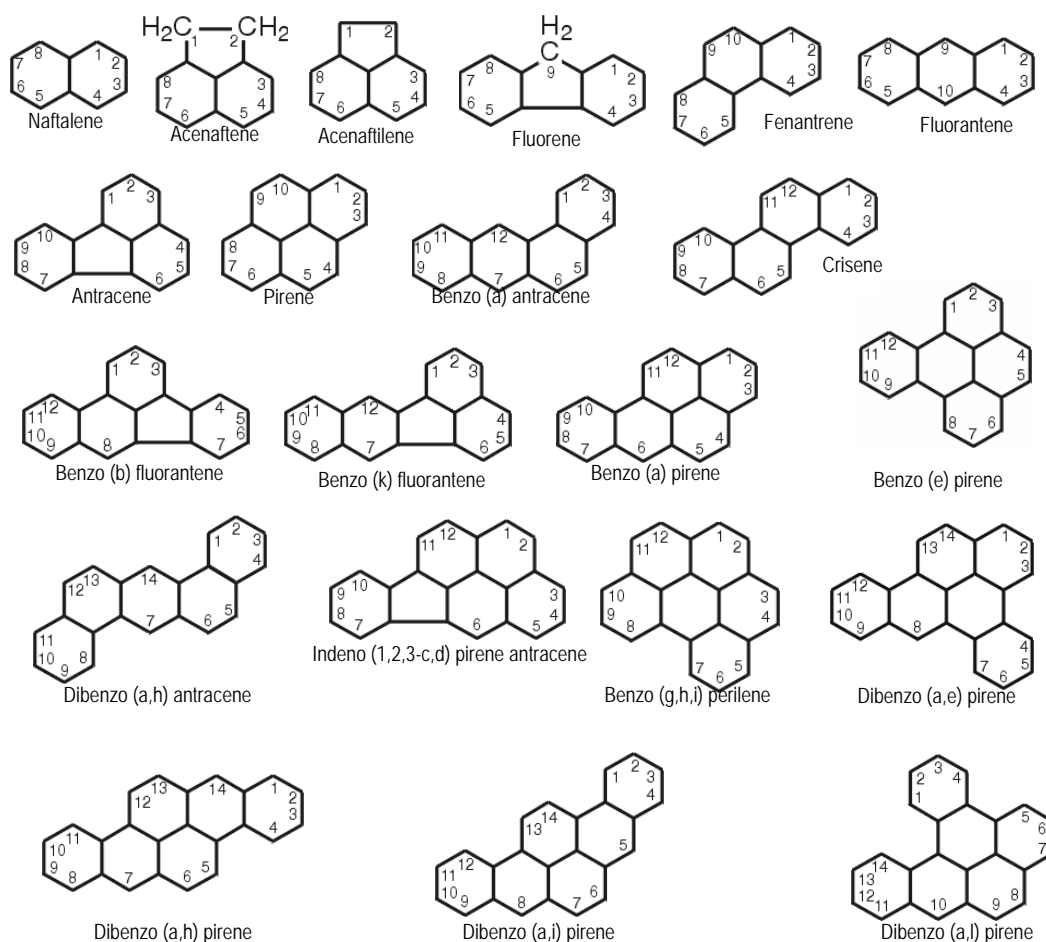


Figura 6.1 Formule di struttura degli IPA ricercati (da NIST *Special Publication* 922)

Agli IPA un importante documento della Organizzazione Mondiale della Sanità, recentemente in parte rivisto, dedica un capitolo (*Chapter 5.9 PAH*, in *Air Quality Guidelines*, WHO 2000), nel quale si dice testualmente: “La maggior parte degli IPA con bassa pressione di vapore nell’aria sono adsorbiti su particelle. Quando sciolti in acqua o adsorbiti su materiale particellare, gli IPA possono subire una fotodecomposizione per esposizione alla luce ultravioletta della radiazione solare. In atmosfera gli IPA possono reagire con inquinanti quali ozono, ossidi di azoto e biossido di zolfo, portando alla formazione di *dioni*, *nitro-* e *dinitro-IPA* e *acidi solforici* rispettivamente Gli IPA possono anche essere degradati da alcuni microrganismi nel suolo”.

In altro punto lo stesso documento dice “ Gli IPA sono principalmente il frutto di processi pirolitici, specialmente della combustione incompleta di materiali organici nel corso di attività industriali e di altre attività umane, quali trasformazioni di carbone e petrolio, combustione di gas naturale anche per il riscaldamento, combustione di rifiuti, traffico veicolare, processi di cottura, fumo di tabacco e anche processi naturali tipo carbonizzazione. Ci sono parecchie centinaia di IPA; il più noto è il *benzo[a]pirene* (BaP)”

Per le loro caratteristiche di persistenza ambientale, diffusione a distanza (col particolato), tendenza al bio-accumulo e tossicità, 16 IPA sono stati classificati dall’EPA come “*priority pollutants*”, composti cioè sul tipo dei POPs (*Persistent Organic Pollutants*), il cui abbattimento risulta meritevole di particolare attenzione in termini di strategie di prevenzione. I 16 IPA citati sono: *naftalene*, *acenaftene*, *acenaftilene*, *fluorene*, *fenantrene*, *fluorantene*, *antracene*, *pirene*, *benzo(a)antracene*, *crisene*, *benzo(b)fluorantene*, *benzo(k)fluorantene*, *benzo(a)pirene*, *dibenzo(a,h)antracene*, *indeno(1,2,3-c,d)pirene*, *benzo(g,h,i)perilene*. L’attenzione internazionale sulle sorgenti di tali IPA si è particolarmente appuntata sui processi di produzione primaria di alluminio (per l’uso di anodi a carbone), produzione di ferro e acciaio (per l’uso di *coke*), uso e produzione di legno trattato con creosoto (biocida), traffico veicolare (specialmente *diesel*), combustione domestica di legno (per combustione incompleta).

A livello scientifico si sono effettuati sforzi per mettere in relazione le tipologie di IPA rinvenuti in campioni di matrici ambientali e le loro prevalenti origini. Per esempio, un rapporto tecnico del governo australiano (*Technical Report No.2 – PAH’s in Australia*, *Environment Australia* 2002), dopo aver ricordato che degli IPA, in genere associati al particolato atmosferico, una quota consistente resta invece in fase di vapore (quindi non adesi al particolato), dice testualmente: “IPA specifici sono stati suggeriti come indicativi di specifici processi che li rilasciano in atmosfera. Tali IPA sono chiamati *markers* di sorgente. Profili e rapporti di concentrazione di IPA possono essere usati per determinare il contributo di differenti sorgenti alle concentrazioni rinvenute in aria”. Facendo riferimento a precedenti studi, il documento riporta ipotesi varie circa l’associazione di processi e specifici IPA, ad esempio: combustione di carbone con *crisene* e *benzo(k)fluorantene*; traffico veicolare con *benzo(g,h,i)perilene*, *coronene* e *fenantrene*; incenerimento rifiuti con *pirene* e *fluorantene*; combustione di derivati del petrolio con *fluorene*, *fluorantene* e *pirene* in associazione con i più pesanti *indeno(1,2,3-c,d)pirene* e *benzo(b)fluorantene*. Il rapporto dice inoltre: “Il metodo del rapporto binario per l’identificazione delle sorgenti di IPA riguarda la comparazione dei rapporti fra coppie degli IPA più frequentemente rinvenuti e caratteristici di differenti sorgenti. Le emissioni da combustione di carbone, derivati del petrolio e legno da sorgenti stazionarie sono basse in *coronene* rispetto al *benzo(a)pirene*, mentre le emissioni da combustione di *diesel* e *benzine* da sorgenti mobili sono alte in *benzo(g,h,i)perilene* e *coronene* rispetto al *benzo(a)pirene* Il rapporto di tali IPA ... può essere usato per distinguere fra i profili di IPA dominati dal traffico e quelli da altre sorgenti” (vedi **figura 6.2**).

Figura 6.2 Rapporti binari di IPA in relazione a specifiche sorgenti (da *PAH’s in Australia*, *Environment Australia* 2002, *Table 4*)

Source Type	B(a)P/Cor ^a	B(a)P/B(ghi)P ^b
Mobile Sources	<0.4 – 1.0	0.2 – 0.6
Stationary Sources	>1.7	>0.8

^aBenzo(a)pyrene/coronene concentration ratios

^bBenzo(a)pyrene/benzo(g,h,i)perylene concentration ratios

Si tratta di riferimenti relativi agli IPA in aria e non recenti ma comunque suggestivi, così come lo sono quelli derivati da altra letteratura. Per esempio, un rapporto europeo del 1999 (*Emission Inventory Guidebook* dell'UNECE) appunta l'attenzione su quattro IPA come indicatori da usarsi a scopi d'inventariazione di emissioni; si tratta di *benzo(b)fluorantene*, *benzo(k)fluorantene*, *benzo(a)pirene* e *indeno(1,2,3-c,d)pirene*, per i quali il documento riporta le tabelle mostrate in **figura 6.3**.

Stationary Sources

PAH	Coal combustion (industrial and domestic)	Wood combustion (industrial and domestic)	Natural fires / agricultural biomass burning	Anode baking
Benzo[b]fluoranthene	0.05	1.2	0.6	2.2
Benzo[k]fluoranthene	0.01	0.4	0.3	B[b]F & B[k]F
Benzo[a]pyrene	1.0	1.0	1.0	1.0
Indeno[123cd]pyrene	0.8	0.1	0.4	0.5

(Profiles in the above table were estimated from emission factors in Wenborn et al. 1998, which were developed from several other references)

Vehicles

PAH	Passenger cars – gasoline (conventional)	Passenger cars – gasoline (closed loop catalyst)	Passenger cars – diesel (direct injection)	Passenger cars – diesel (indirect injection)	Heavy Duty Vehicles (HDV)
Benzo[b]fluoranthene	1.2	0.9	0.9	0.9	5.6
Benzo[k]fluoranthene	0.9	1.2	1.0	0.8	8.2
Benzo[a]pyrene	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Indeno[123cd]pyrene	1.0	1.4	1.1	0.9	1.4

(Profiles in the above table were estimated from emission factors in BUWAL (1994), TNO (1993), VW (1989) and Koufodimos (1999))

Figura 6.3 Rapporti emissivi di alcuni IPA con il *benzo(a)pirene*, in relazione a specifiche sorgenti (da UNECE, *Emission Inventory Guidebook* 1999).

Dalla letteratura si sono potuti ricavare anche altri riferimenti, questa volta relativi ai suoli: il rapporto *fenantrene/antracene* ed il rapporto *fluorantene/pirene* (considerati indicativi di origine da emissioni veicolari quando rispettivamente inferiore a 10 e di circa 1, contro valori rispettivi di alcune decine e superiori a 1 in presenza di contaminazioni dirette locali da petrolio e derivati); i rapporti *benzo(a)antracene/benzo(a)pirene* e *benzo(a)pirene/benzo(ghi)perilene* (considerati indicativi di emissioni da traffico quando rispettivamente di 1 e di 0.2-0.5, contro valori di quest'ultimo superiori a 1 in presenza di combustione di carbone); il rapporto *pirene/benzo(a)pirene* (considerato indicativo di emissioni da traffico veicolare quando superiore a 5); il rapporto *naftalene/phenantrene* (considerato rappresentativo di contaminazione recente diretta di derivati del petrolio quando maggiore di 1). Inoltre ci sono indicazioni che tendono a considerare: *fluorantene*, *pirene*, *fenantrene* e *crisene* come rappresentativi di trasporto da lunghe distanze; i composti con 5 anelli come derivati soprattutto da combustioni; il *naftalene* come particolarmente presente in contaminazioni locali da materiali incombusti.

Si può concludere nel merito che appare opportuno usare prudenza nell'effettuare con gli IPA questi tentativi di *source apportionment* (cioè attribuzioni di responsabilità), viste non solo le incertezze della letteratura, quanto anche l'instabilità di alcuni dei composti in questione ed il trasporto a distanza col particolato oltre che il loro possibile reperimento a valori inferiori o assai prossimi ai limiti di quantificazione analitica. In ogni caso risulta utile valutare i dati in funzione della tipologia delle sorgenti emissive presenti nelle aree studiate.

La normativa italiana, circa gli IPA, ha subito una recente evoluzione. Il D.M. 471/99 riportava un elenco di composti (*pirene*, *benzo(a)antracene*, *crisene*, *benzo(b)fluorantene*, *benzo(k)fluorantene*, *benzo(a)pirene*, *dibenzo(a,h)pirene*, *dibenzo(a,e)pirene*, *dibenzo(a,i)pirene*,

dibenzo(a,l)pirene, indeno(1,2,3-c,d)pirene, benzo(g,h,i)perilene, dibenzo(a,h)antracene), ciascuno dotato di un proprio limite di concentrazione per suoli di ‘tipo A’ (ad uso verde pubblico e residenziale) e di un altro per suoli di ‘tipo B’ (ad uso commerciale e industriale); venivano forniti anche limiti equivalenti complessivi per l’insieme delle sostanze citate. Il successivo D.Lgs. 152/06 toglie tre sostanze dall’elenco (*pirene, indeno(1,2,3-c,d)pirene, dibenzo(a,h)antracene*), e definisce (come per tutte le altre possibili sostanze ricercate nei suoli) che i valori non siano riferiti alla sostanza secca, ma riportati a includere tutto il volume campionato cioè anche lo ‘scheletro’.

Metodologia e risultati dell’indagine

Gli IPA ricercati nell’indagine sull’inceneritore di Via Conchetta sono stati 21 su ogni campione. Fra essi sono sia quelli previsti dalla normativa italiana (vigente D.Lgs. 152/06 e pregresso D.M. 471/99) sia quelli individuati dall’EPA come ‘prioritari’ (vedi sopra).

Nella tabella di **figura 6.4** sono riportati tutti i dati presi tal quali; in essa cioè sono indicati tutti i valori analitici (inclusi quelli trovati inferiori ai limiti di quantificazione analitica, posti in celle a fondo **giallo** o, per l’unico campione replicato, su fondo **verde**) e sono riportati individualmente anche i risultati dei campionamenti ‘4 da 4’ (per i quali le aliquote sono state analizzate in modo separato).

Per adottare criteri di massima cautela le concentrazioni riportate sono state determinate riferendosi ai materiali secchi non comprensivi dello scheletro, come voleva il D.M. 471/99, contrariamente previsto dal vigente D.Lgs. 152/06. In **prugna** sono state individuate quelle aliquote dei campionamenti ‘4 da 4’ i cui valori si discostavano in maniera notevolissima, per la gran parte dei parametri, dagli altri 3 campioni del sito.

Limiti D.Lgs. 152/06	SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale				500	100	500		500	100	5000	100	100	100	100	100				100		5000
Limiti D.Lgs. 152/06	SITO B: ad uso commerciale e industriale				10000	10000	10000		10000	10000	50000	10000	10000	10000	10000	10000				5000		50000
		Acenafte	Acenafte	Antracene	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b+J) fluorantene	Benzo (e) pirene	Benzo (k) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Crisene	Dibenzo (a,h) 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
data	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.
20/06/2006	C1 A	< 0,1	0,1	0,8	1,4	2,8	6,6	7,5	2,3	6,2	3,3	1,0	1,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,0	4,9	< 0,1	4,4	0,1	4,7
20/06/2006	C1 B	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	1,1	1,9	4,2	0,7	3,9	0,8	0,6	0,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,6	1,1	< 0,1	1,3	0,4	1,2
20/06/2006	C1 C	4,7	< 0,1	73,7	262,8	255,5	369,8	178,0	126,2	163,1	229,5	37,4	33,9	5,0	35,7	34,3	395,7	609,7	15,8	176,5	0,1	488,9
20/06/2006	C1 D	< 0,1	0,1	1,5	7,9	10,8	20,9	13,4	6,7	11,3	13,8	2,3	1,9	< 0,1	0,8	0,8	11,4	19,7	< 0,1	9,9	0,1	17,6
22/06/2006	C2 A	< 0,1	< 0,1	0,1	11,7	9,0	24,4	16,0	6,8	11,8	16,8	1,4	1,8	< 0,1	0,6	< 0,1	0,1	14,4	< 0,1	11,6	< 0,1	13,4
22/06/2006	C2 B	< 0,1	< 0,1	0,1	2,1	1,0	7,2	4,0	2,0	3,7	4,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1,5	< 0,1	3,3	< 0,1	1,7
22/06/2006	C2 C	< 0,1	0,2	0,6	14,5	19,0	34,9	24,6	9,9	26,4	14,8	2,9	5,1	< 0,1	< 0,1	1,0	3,6	20,0	< 0,1	21,8	< 0,1	18,9
22/06/2006	C2 D	< 0,1	0,1	0,2	12,3	12,2	26,2	15,4	7,5	16,6	14,7	2,3	2,8	< 0,1	1,0	< 0,1	0,3	17,8	< 0,1	15,1	< 0,1	16,6
22/06/2006	C3 A	< 0,1	0,3	0,3	27,4	27,4	62,1	33,6	19,1	28,8	31,0	6,1	5,9	< 0,1	2,1	1,4	0,3	12,5	< 0,1	33,5	< 0,1	13,5
22/06/2006	C3 B	< 0,1	< 0,1	0,6	9,2	9,9	22,7	13,5	5,8	12,0	12,3	1,5	2,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4,9	18,0	< 0,1	11,9	< 0,1	13,4
22/06/2006	C3 C	< 0,1	< 0,1	0,8	7,7	7,4	15,2	9,0	4,4	7,6	10,5	1,0	1,3	< 0,1	0,6	< 0,1	22,7	28,8	0,4	7,6	< 0,1	20,4
22/06/2006	C3 D	< 0,1	0,1	0,6	6,0	7,2	17,3	11,1	3,9	9,9	9,0	1,4	1,8	< 0,1	0,8	< 0,1	9,2	11,9	0,4	9,7	< 0,1	9,4
20/06/2006	C4 A	< 0,1	< 0,1	1,1	47,5	38,9	93,6	49,0	33,1	38,1	66,9	11,2	7,0	< 0,1	2,4	3,0	10,8	82,4	< 0,1	45,7	0,1	67,4
20/06/2006	C4 B	< 0,1	< 0,1	0,6	3,8	4,5	12,9	9,7	4,4	8,3	7,4	1,5	1,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	7,0	11,2	< 0,1	7,1	0,1	10,1
20/06/2006	C4 C	< 0,1	0,1	< 0,1	2,3	4,2	8,5	8,6	2,9	8,8	5,3	1,4	1,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,1	7,8	< 0,1	5,7	0,1	7,5
20/06/2006	C4 D	< 0,1	0,1	1,7	3,2	6,3	12,6	10,2	3,8	9,9	7,7	1,6	1,5	< 0,1	< 0,1	0,5	7,5	11,1	< 0,1	6,8	0,1	10,2
24/01/2007	C4 rep	< 0,1	0,1	0,3	8,4	11,2	25,1	15,1	6,5	16,8	12,9	1,6	3,1	< 0,1	0,9	3,9	20,0	21,5	0,9	14,6	0,1	18,3
20/06/2006	C5 A	< 0,1	0,4	3,2	9,5	10,1	19,6	11,8	6,3	10,7	13,3	1,6	1,6	< 0,1	0,9	0,5	25,6	26,9	2,3	9,1	1,2	22,2
20/06/2006	C5 B	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,1	2,6	7,7	4,8	2,2	4,2	5,3	0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	12,4	8,3	< 0,1	2,9	0,1	6,8
20/06/2006	C5 C	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,6	2,4	6,9	4,6	2,0	4,1	5,2	0,5	0,5	< 0,1	< 0,1	0,1	8,0	6,1	< 0,1	3,2	0,1	5,3
20/06/2006	C5 D	< 0,1	< 0,1	77,7	325,1	266,2	421,5	212,8	145,2	154,9	279,2	56,0	37,9	3,1	28,6	14,1	460,1	639,6	13,2	160,9	0,1	496,9
05/07/2006	C6 A	< 0,1	0,1	0,4	2,0	2,4	5,4	3,3	1,6	3,8	2,8	0,4	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,4	2,9	< 0,1	3,3	0,1	2,8
05/07/2006	C6 B	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2	< 0,1	0,1	< 0,1	0,3
05/07/2006	C6 C	< 0,1	0,2	1,2	4,6	2,8	6,6	2,9	2,3	2,3	4,7	0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	8,6	12,9	1,0	2,5	0,5	9,0
05/07/2006	C6 D	< 0,1	< 0,1	0,2	16,8	9,0	43,4	20,9	13,4	18,5	32,4	2,2	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,4	35,5	< 0,1	24,3	0,1	27,0
05/07/2006	C7 A	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
05/07/2006	C7 B	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1
05/07/2006	C7 C	< 0,1	0,1	0,3	1,9	0,6	10,9	4,1	3,0	3,2	7,6	< 0,1	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,7	5,3	< 0,1	8,7	0,1	3,1
05/07/2006	C7 D	< 0,1	< 0,1	0,2	19,1	3,8	62,5	21,2	19,4	11,4	52,8	4,9	1,4	< 0,1	0,4	< 0,1	2,4	52,7	< 0,1	42,7	< 0,1	27,1
15/06/2006	C8 A	< 0,1	0,6	70,0	93,8	84,7	127,8	74,8	36,7	75,1	82,7	18,8	10,0	2,2	12,4	6,4	60,0	163,1	0,4	74,6	< 0,1	142,2
15/06/2006	C8 B	< 0,1	0,1	1,5	9,3	11,1	22,6	28,9	4,6	24,7	11,8	4,5	8,3	< 0,1	< 0,1	1,8	13,5	22,6	0,4	15,4	< 0,1	21,3
15/06/2006	C8 C	< 0,1	0,3	2,1	20,0	23,6	40,3	40,7	9,5	40,9	21,3	5,9	12,5	< 0,1	< 0,1	3,5	16,2	36,1	0,6	29,3	< 0,1	33,6
15/06/2006	C8 D	< 0,1	0,4	4,9	45,6	48,0	87,9	53,0	22,2	51,5	52,5	10,6	8,6	< 0,1	7,1	7,3	42,1	88,7	0,4	50,6	< 0,1	75,9
13/06/2006	C9 A	< 0,1	< 0,1	0,1	2,4	1,9	6,8	4,6	1,8	4,8	4,7	0,8	0,7	< 0,1	< 0,1	0,2	0,2	4,1	< 0,1	3,8	< 0,1	4,2
13/06/2006	C9 B	< 0,1	< 0,1	0,1	3,0	2,5	7,2	4,6	2,3	4,8	4,9	1,1	0,6	< 0,1	< 0,1	0,5	0,2	3,8	< 0,1	4,3	< 0,1	4,0
13/06/2006	C9 C	< 0,1	< 0,1	0,1	6,7	6,0	13,4	8,3	3,9	9,3	9,7	1,9	1,3	< 0,1	0,6	0,3	0,8	12,9	< 0,1	8,4	< 0,1	12,5
13/06/2006	C9 D	< 0,1	0,1	0,1	4,2	5,3	12,5	8,1	3,7	9,7	6,3	2,1	1,6	< 0,1	0,6	0,4	0,3	4,9	< 0,1	9,4	< 0,1	5,0
22/06/2006	C10	< 0,1	< 0,1	0,1	1,9	2,9	7,9	5,4	2,1	10,7	4,3	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	3,9	< 0,1	6,3	< 0,1	8,9
15/06/2006	C11	< 0,1	< 0,1	0,1	4,2	3,6	11,0	7,2	2,8	7,0	7,3	1,6	1,1	< 0,1	< 0,1	0,5	0,2	6,2	< 0,1	6,1	< 0,1	6,3
05/07/2006	C12	< 0,1	< 0,1	0,3	2,2	2,0	19,7	14,7	3,2	14,5	15,4	1,3	1,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,6	8,0	< 0,1	9,5	0,1	8,6
06/07/2006	C13	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2
06/07/2006	C14	< 0,1	12,1	6,5	122,3	203,9	391,7	219,6	130,6	250,4	113,6	36,7	70,0	2,7	19,6	120,3	16,4	96,5	< 0,1	305,5	0,1	111,5
19/07/2006	C15	< 0,1	< 0,1	0,5	6,4	8,0	20,4	12,1	4,8	13,2	9,6	1,4	5,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,6	12,4	< 0,1	11,3	< 0,1	11,2
19/07/2006	C16	< 0,1	< 0,1	0,2	0,6	0,4	2,4	1,8	0,5	2,0	1,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,6	2,5	< 0,1	0,2	< 0,1	2,3
19/07/2006	C17	< 0,1	0,2	0,4	8,0	10,7	21,8	14,8	6,3	21,5	13,5	3,2	4,2	< 0,1	1,2	< 0,1	4,5	14,1	< 0,1	3,8	< 0,1	14,3
19/07/2006	C18	< 0,1	< 0,1	0,8	5,8	8,4	19,0	12,5	3,4	22,9	9,7	< 0,1	4,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	7,2	13,5	< 0,1	10,9	< 0,1	14,5
16/06/2006	C19	< 0,1	< 0,1	1,1	8,6	11,4	20,9	13,1	7,0	12,4	13,2	1,7	1,3	< 0,1	0,8	< 0,1	13,9	22,9	< 0,1	11,0	0,1	21,4
19/07/2006	C20	< 0,1	< 0,1	0,5	2,0	2,0	9,2	5,7	1,9	5,7	5,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,8	4,4	< 0,1	3,3	< 0,1	4,3
20/07/2006	C21	< 0,1	< 0,1	0,1	0,9	0,6	6,3	4,6	1,0	3,3	3,7	0,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,8	2,9	< 0,1	2,2	0,1	2,8

Figura 6.4 IPA. Risultati dei rilievi.

Ai fini di un'analisi sanitaria dei dati si è deciso di adottare criteri di massima cautela: sono stati sostituiti i valori inferiori al limite di quantificazione con valori pari al limite stesso e si è fatto riferimento ai dati senza considerazione dello scheletro come voleva il D.M. 471/99 ma non più il successivo e vigente D.Lgs. 152/06. Nella tabella di **figura 6.5** sono riportate le concentrazioni rilevate (per i siti '4 da 4' è stata utilizzata la media dei valori dei singoli campioni) e il calcolo della sommatoria dei valori analitici relativo all'applicazione del D.M. 471/99 e del D.Lgs. 152/06.

Il fondo delle celle di siti classificati di tipo 'A' è stato colorato **in verde**, mentre con carattere **rosso** sono stati evidenziati i valori dei parametri che, confrontati con il limite normato più basso (per siti di tipo A), sono stati trovati ad esso superiori, indipendentemente dal tipo di sito di provenienza del campione (A o B).

Limiti D.Lgs. 152/06 per SITO A: ad uso verde pubblico, privato e residenziale	500	100	500	500	100	5000	100	100	100	100	100	100	5000	10000	10000
Limiti D.Lgs. 152/06 per SITO B: ad uso commerciale e industriale	10000	10000	10000	10000	10000	50000	10000	10000	10000	10000	10000	5000	50000	100000	100000
	Benzo (a) antracene	Benzo (a) pirene	Benzo (b+) fluorantene	Benzo (k) fluorantene	Benzo (g,h,i) perilene	Crisene	Dibenzo (a,h) antracene	Dibenzo (a,e) pirene	Dibenzo (a,h) pirene	Dibenzo (a,i) pirene	Dibenzo (a,l) pirene	Indeno(1,2,3,c,d)pirene	Pirene	Sommatoria IPA D.M. 471/99 per <l,q,i,l,q.	Sommatoria IPA D.Lgs. 152/06 per <l,q,i,l,q.
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.
C1	68,1	67,5	99,8	34,0	46,1	61,8	10,3	9,5	1,3	9,2	8,8	48,0	128,1	592,6	406,1
C2	10,2	10,3	23,2	6,5	14,6	12,7	1,7	2,5	0,1	0,4	0,3	12,9	12,6	108,1	80,8
C3	12,6	13,0	29,3	8,3	14,6	15,7	2,5	2,8	0,1	0,9	0,4	15,7	14,2	130,1	97,7
C4	13,0	13,0	30,5	10,1	16,4	20,0	3,5	2,8	0,1	0,7	1,5	16,0	22,7	150,4	108,3
C5	84,6	70,3	113,9	38,9	43,5	75,8	14,7	10,0	0,9	7,4	3,7	44,1	132,8	640,5	449,0
C6	5,9	3,6	13,9	4,4	6,2	10,0	0,8	0,7	0,1	0,1	0,1	7,6	9,8	63,0	44,8
C7	5,3	1,2	18,4	5,6	3,7	15,2	1,3	0,5	0,1	0,2	0,1	12,9	7,6	72,0	50,2
C8	42,2	41,8	69,7	18,3	48,0	42,1	10,0	9,8	0,6	4,9	4,8	42,5	68,2	403,0	282,3
C9	4,1	3,9	10,0	2,9	7,2	6,4	1,5	1,0	0,1	0,4	0,3	6,5	6,4	50,7	36,3
C10	1,9	2,9	7,9	2,1	10,7	4,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	6,3	8,9	45,8	30,1
C11	4,2	3,6	11,0	2,8	7,0	7,3	1,6	1,1	0,1	0,1	0,5	6,1	6,3	51,6	37,6
C12	2,2	2,0	19,7	3,2	14,5	15,4	1,3	1,2	0,1	0,1	0,1	9,5	8,6	77,8	58,5
C13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,4	1,0
C14	122,3	203,9	391,7	130,6	250,4	113,6	36,7	70,0	2,7	19,6	120,3	305,5	111,5	1878,8	1425,1
C15	6,4	8,0	20,4	4,8	13,2	9,6	1,4	5,4	0,1	0,1	0,1	11,3	11,2	92,1	68,1
C16	0,6	0,4	2,4	0,5	2,0	1,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	2,3	10,8	8,2
C17	8,0	10,7	21,8	6,3	21,5	13,5	3,2	4,2	0,1	1,2	0,1	3,8	14,3	108,6	87,3
C18	5,8	8,4	19,0	3,4	22,9	9,7	0,1	4,0	0,1	0,1	0,1	10,9	14,5	98,8	73,4
C19	8,6	11,4	20,9	7,0	12,4	13,2	1,7	1,3	0,1	0,8	0,1	11,0	21,4	109,8	75,8
C20	2,0	2,0	9,2	1,9	5,7	5,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	3,3	4,3	34,5	26,8
C21	0,9	0,6	6,3	1,0	3,3	3,7	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	2,2	2,8	21,8	16,1

Figura 6.5 Tabella dei valori utilizzati per le sommatorie degli IPA.

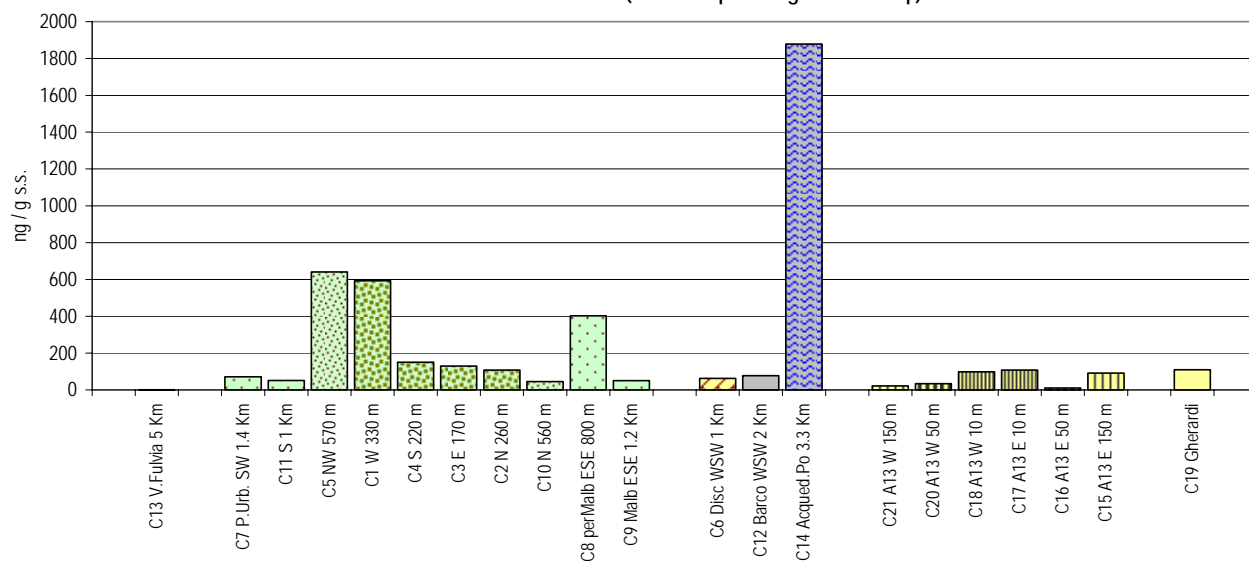
E' possibile osservare che, sia per ogni singolo IPA che per le loro somme, non sono risultati superamenti. Tuttavia, nel campione 'medio composito' *C14* sono evidenti delle concentrazioni più elevate rispetto a quelle degli altri siti: tale sito dell'Acquedotto sul Po, in realtà da classificarsi come di tipo B, presenta delle peculiarità che non sono state approfondite in questa indagine.

Nell'analisi di tipo ambientale, in analogia a quanto operato con gli altri microinquinanti considerati nel presente studio, i valori inferiori ai limiti di quantificazione sono stati fatti pari a metà di questi, così come non si è considerata la presenza dello 'scheletro'. Si sono però effettuate due elaborazioni: la prima inclusiva dei valori potenzialmente 'anomali' (C1-C, C4-A e C5-D), in grado di ridurre in maniera molto significativa, in quanto puntiformi, la rappresentatività ambientale dei rispettivi siti di campionamento, e la seconda, in analogia con le sopra citate altre indagini, esclusiva di detti valori.

Le *figure 6.6 e 6.7* riportano i risultati di entrambe tali elaborazioni rispettivamente alle somme degli IPA (secondo D.M. 471/99) e al solo parametro *benzo(a)pirene*. E' interessante notare come i valori potenzialmente 'anomali' si rinvergano in siti non distanti dal camino dell'inceneritore.

Figura 6.6

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Idrocarburi policiclici aromatici
Somma dei valori analitici (valori <I.q. fatti uguali a 1/2 I.q.)



2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Idrocarburi policiclici aromatici
Somma dei valori analitici (esclusione di valori 'anomali' e valori <I.q. fatti uguali a 1/2 I.q.)

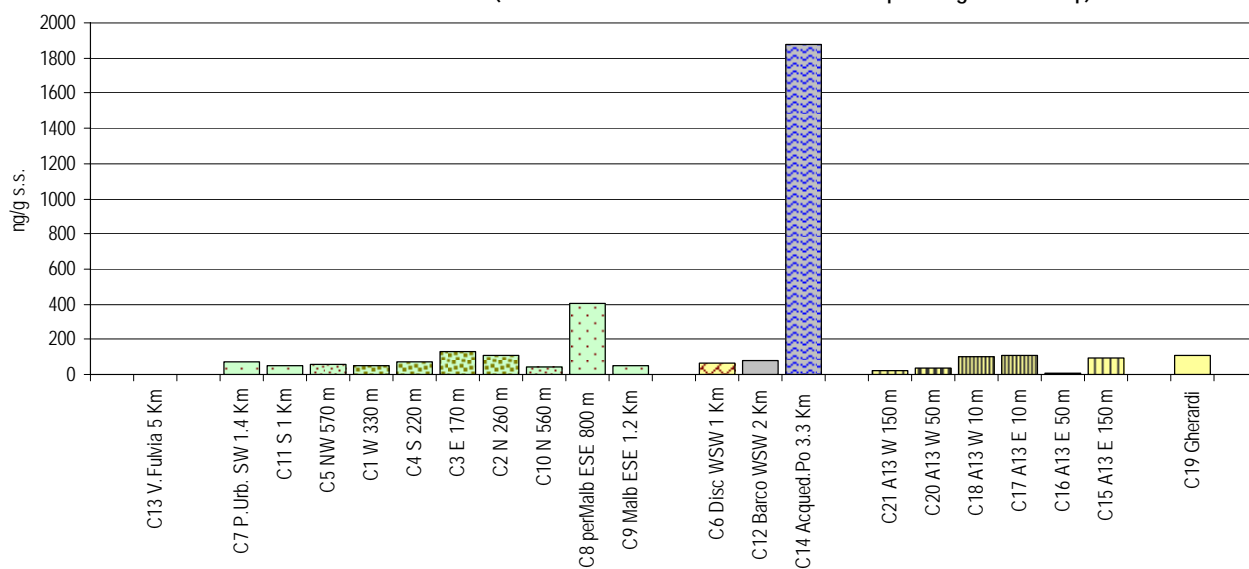
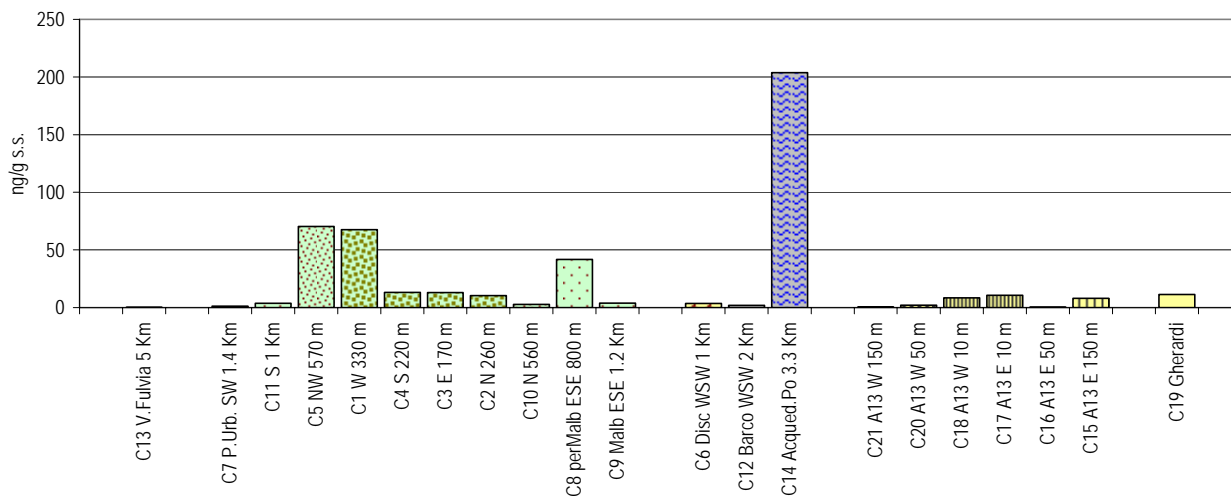
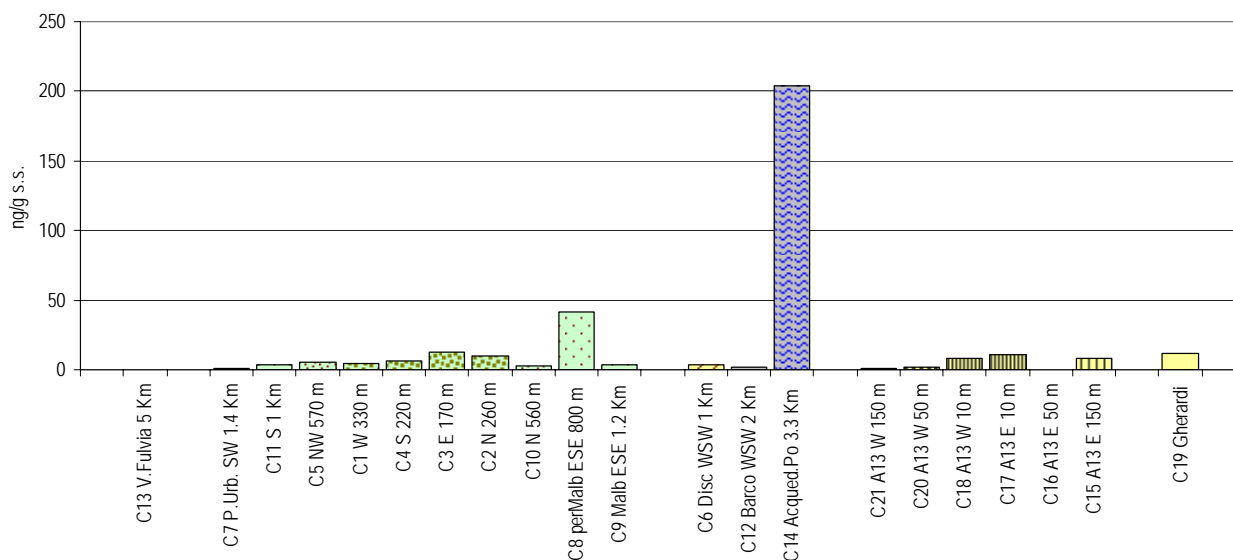


Figura 6.7

2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Benzo(a)pirene
(valori < l.q. fatti uguali a 1/2 l.q.)



2006-07 - Indagine 'Conchetta' - Benzo(a)pirene
(esclusione di valori 'anomali' e valori < l.q. fatti uguali a 1/2 l.q.)



Qualche spunto di riflessione può ricavarsi da un esame dei siti dettagliato in relazione alla composizione dei singoli IPA. In **figura 6.8** si provvede per l'appunto a dettagliare quanto già riportato nella precedente **figura 6.6**, mentre in **figura 6.9** si riportano le composizioni percentuali relative ai vari siti. L'esame comparato delle citate figure consente di osservare come il *sito C8*, che pur mostra valori più elevati, in realtà risulti sostanzialmente omogeneo per composizione agli altri, mentre così non è invece per il *sito C14* 'Acquedotto sul Po'. Altre disomogeneità riguardano comunque altri siti, risultando tutte di non facile spiegazione, se si esclude il sito di 'riferimento basso' *C13* di 'Villa Fulvia', in cui i valori dei singoli IPA sono tutti inferiori o uguali ai limiti di quantificazione.

Figura 6.8

Indagine 'Conchetta'. IPA 2006-07.

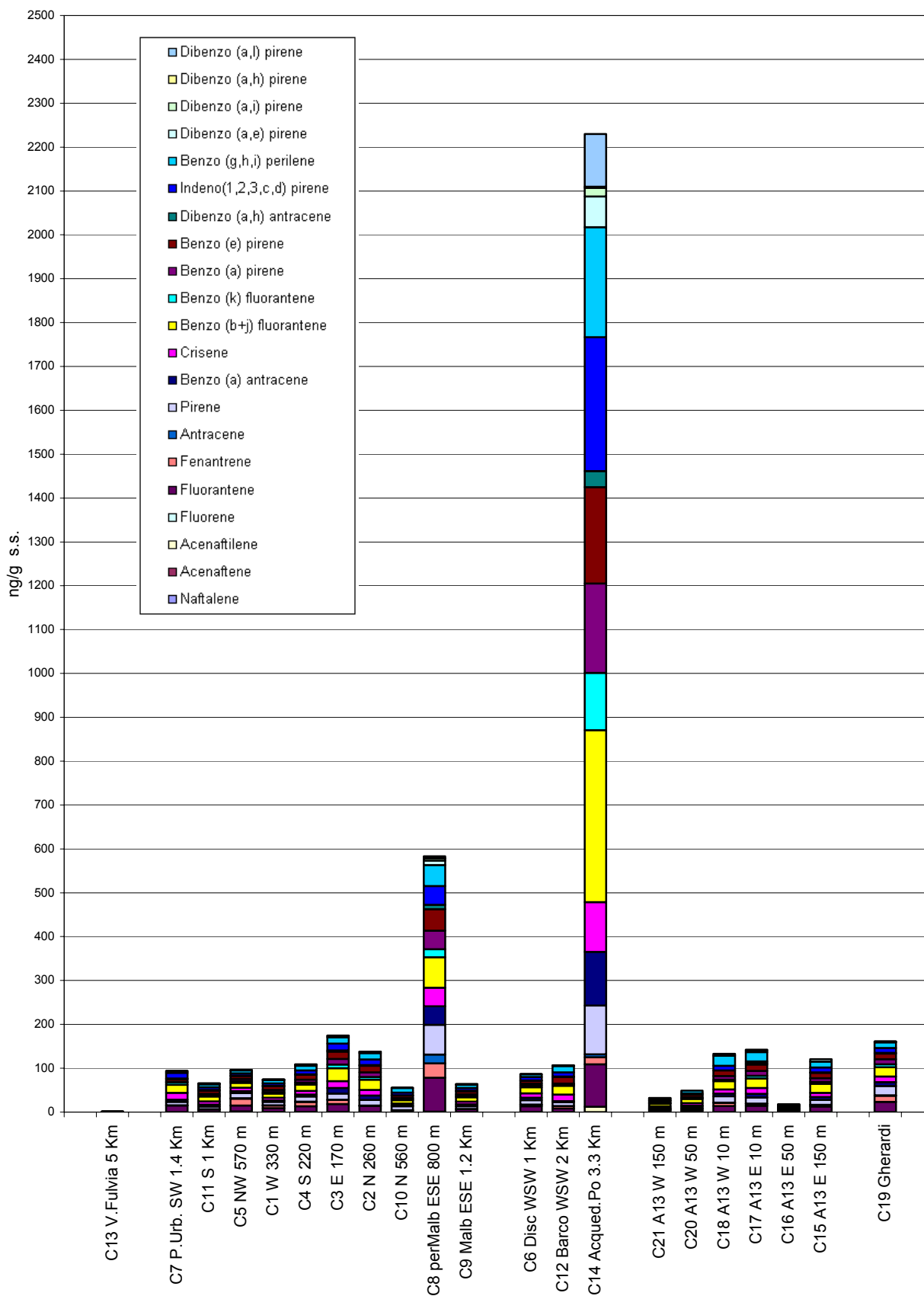
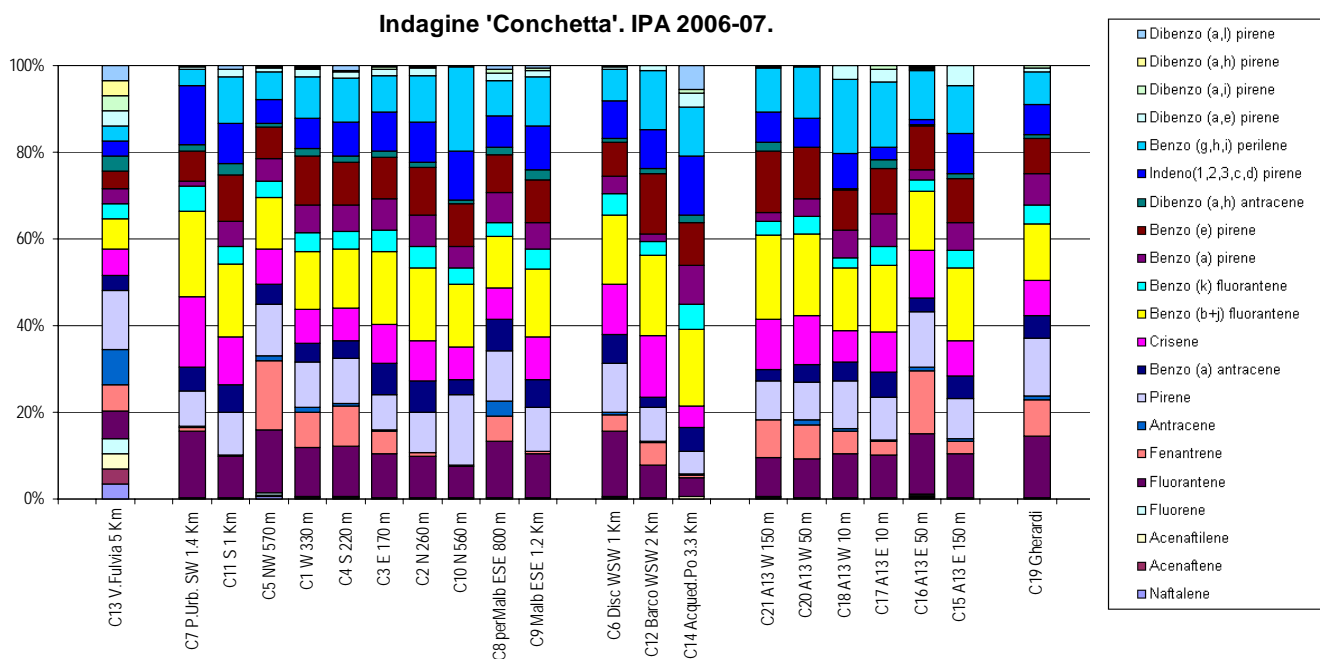


Figura 6.9



Alla luce di quanto emerso in questa indagine, ricordando la presenza ubiquitaria degli IPA e la loro provenienza dalle sorgenti le più disparate, si può ritenere assolutamente non conclusiva l'indagine svolta. Si potrebbero quindi predisporre ulteriori approfondimenti, specialmente per quanto attiene a specifici siti (come il *C14* 'Acquedotto sul Po').

L'unica cosa sufficientemente chiara può forse dirsi per quel che riguarda il *sito C13* di 'Villa Fulvia': detto sito è stato scelto proprio come 'riferimento basso' in quanto ritenuto sufficientemente distante dalla maggior parte delle pressioni d'inquinamento atmosferico della città di Ferrara.