

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

**Microinquinanti organici e inorganici
nel comune di Mantova:
studio dei livelli ambientali**

A cura di
Giuseppe Viviano (a), Paolo Mazzoli (b) e Gaetano Settimo (a)

*(a) Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria,
Istituto Superiore di Sanità, Roma*

*(b) Servizio Igiene Edilizia e del Territorio, Azienda Sanitaria Locale
della Provincia di Mantova, Mantova*

ISSN 1123-3117

**Rapporti ISTISAN
06/43**

Istituto Superiore di Sanità

Microinquinanti organici e inorganici nell'area di Mantova: studio dei livelli ambientali.

A cura di Giuseppe Viviano, Paolo Mazzoli e Gaetano Settimo

2006, v. 86 p. Rapporti ISTISAN 06/43

L'Istituto Superiore di Sanità e l'Azienda Sanitaria Locale di Mantova hanno realizzato un programma comune di ricerca avente come obiettivo la localizzazione delle aree maggiormente a rischio e la valutazione dei possibili livelli di concentrazione, nell'aria e nelle deposizioni al suolo, di microinquinanti organici (policlorodibenzodiossine e policlorodibenzofurani, PCDD/F; Idrocarburi Policiclici Aromatici, IPA) e inorganici (arsenico, cadmio, nichel, piombo, rame, vanadio) nell'area limitrofa la zona industriale di Mantova. Nel presente rapporto sono riportati i risultati dei rilevamenti ambientali effettuati in diverse matrici ambientali (aria, suolo, sedimenti) e il relativo confronto con gli standard di qualità indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, presenti nelle normative nazionali e comunitarie.

Parole chiave: Inquinamento atmosferico, Qualità dell'aria ambiente, Materiale particolato, PM₁₀, PM_{2,5}, Metalli, PCDD/F, IPA, Suoli, Sedimenti

Istituto Superiore di Sanità

Organic and inorganic micropollutants within the Mantua area (Italy): study on environmental levels.

Edited by Giuseppe Viviano, Paolo Mazzoli and Gaetano Settimo

2006, v. 86 p. Rapporti ISTISAN 06/43 (in Italian)

The Istituto Superiore di Sanità (the National Institute of Health in Italy) and the Mantua Local Health Unit have carried out a research programme aimed at locating the highest exposure risk areas, and evaluating and assessing contamination levels in air and soil by both organic (Polychlorinated dibenzodioxins and Polychlorinated dibenzofurans, PCDD/F; Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH) and inorganic (arsenic, cadmium, nickel, lead, copper, vanadium) micropollutants within the surrounding Mantua industrial area. This report shows the results of environmental monitoring carried out in air, soil and sediment and the consequent comparison with the World Health Organization quality standards, reported into the Italian and European Community legislation.

Key words: Air pollution, Air quality, Particulate matter, PM₁₀, PM_{2,5}, Metals, PCDD/F, PAH, Soils, Sediments

Si ringrazia l'ARPA Lombardia Dipartimento di Mantova, e in particolare Francesco Fiore, per la collaborazione prestata nel corso dello svolgimento delle campagne di rilevamento.

Si ringraziano inoltre Massimo Gabellini, Daniela Paganelli e Elena Romano dell'Istituto centrale per la ricerca scientifica e tecnologica applicata al mare (ICRAM) per la collaborazione prestata per la parte relativa ai sedimenti lacustri.

Per informazioni su questo documento scrivere a: gaetano.settimo@iss.it.

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it.

Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità e Direttore responsabile: *Enrico Garaci*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988

Redazione: *Paola De Castro, Sara Modigliani e Sandra Salinetti*
La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori.

© Istituto Superiore di Sanità 2006

Nell'ambito della Convenzione "L'individuazione e valutazione dei livelli di microinquinanti organici nell'area limitrofa alla zona industriale della città di Mantova", stipulata tra l'Istituto Superiore di Sanità e la Azienda Sanitaria Locale di Mantova, avente come obiettivo l'individuazione e la valutazione dei possibili livelli ambientali dei microinquinanti organici e inorganici, hanno collaborato alle attività:

*Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria,
Istituto Superiore di Sanità, Roma*

Paolo Alessandroni
Luigi Turrio Baldassarri
Chiara Laura Battistelli
Giorgio Cattani
Anna Laura Iamicelli
Francesco Mazzoni
Elena Sebastianelli
Gaetano Settimo
Giuseppe Viviano
Giovanni Ziemacki

Servizio Igiene Edilizia e del Territorio, Azienda Sanitaria Locale della Provincia di Mantova, Mantova
Paolo Mazzoli

INDICE

Premessa	v
Introduzione.....	1
1. Linee guida e indicazioni normative	3
2. Emissioni da cicli tecnologici e fattori di emissione	11
2.1. Impianti di incenerimento rifiuti: fattori di emissione	11
2.2. Fattori di emissione di altri impianti	13
3. Presenza di diossine e furani nell'ambiente.....	16
3.1. Presenza in aria	17
3.2. Presenza nel suolo.....	20
3.3. Presenza nei sedimenti	21
3.4. Considerazioni	25
4. Presenza di metalli pesanti nell'ambiente	27
5. Fonti delle principali emissioni nell'area di Mantova	30
5.1. Fonti di emissione industriali.....	31
5.2. Sorgenti mobili.....	35
5.3. Ospedale di Mantova: inceneritore	35
5.4. Stima delle emissioni di diossine e furani.....	36
6. Rilevamenti sul campo.....	42
6.1. Comparto aria ambiente	44
6.1.1. Scelta delle postazioni di rilevamento	45
6.1.2. Inquinanti rilevati e metodologie di rilevamento	46
6.1.3. Campionamento aria ambiente	48
6.2. Comparto suolo.....	54
6.2.1. Scelta delle postazioni di rilevamento	54
6.2.2. Inquinanti rilevati e metodologie di rilevamento	54
6.2.3. Campionamento suolo	54
6.3. Comparto sedimenti	57
6.3.1. Scelta dei siti di campionamento	57
6.3.2. Inquinanti rilevati e metodologie di rilevamento	58
6.3.3. Campionamento sedimenti	58
Considerazioni e conclusioni	61
Bibliografia.....	64
Appendice A	
Aria ambiente: valori medi giornalieri e/o mensili per materiale particolato sospeso e deposizione atmosferica totale	69
Appendice B	
Suolo e sedimenti: valori per i singoli congeneri di PCDD/F.....	83

PREMESSA

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), quale organo tecnico-scientifico del Servizio Sanitario Nazionale, opera diverse collaborazioni con altre Amministrazioni Pubbliche nel campo della ricerca finalizzata alla tutela della salute della popolazione generale. Tra queste si colloca la collaborazione tecnico-scientifica con l'Azienda Sanitaria Locale (ASL) della provincia di Mantova, per la realizzazione del presente studio avente come obiettivo la individuazione e valutazione dei possibili livelli di concentrazione in aria e di deposizione al suolo di microinquinanti nell'area limitrofa alla zona industriale della città di Mantova.

In questo ambito sono state previste periodiche riunioni tra i responsabili della convenzione, dell'ISS e dell'ASL, finalizzate all'esame dei dati che venivano prodotti, ad una prima loro valutazione e alla migliore definizione delle modalità di prosecuzione dello studio stesso.

I Responsabili scientifici dello studio

Paolo Mazzoli

*Servizio Igiene Edilizia e del Territorio
Azienda Sanitaria Locale di Mantova*

Giuseppe Viviano

*Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria
Istituto Superiore di Sanità*

INTRODUZIONE

Lo studio dei livelli ambientali di microinquinanti organici e inorganici nell'area di Mantova nel suo svolgimento, ha considerato come punti essenziali:

- Indagine preliminare finalizzata alla individuazione, raccolta ed esame dei dati storici e dei dati base dell'area in studio.
- Definizione e conoscenza delle dimensioni dell'area di interesse e suddivisione della stessa in funzione della presunta contaminazione.
- Scelta dei metodi di campionamento (definizione delle procedure di prelievo, conservazione e stoccaggio dei campioni, identificazione dei potenziali problemi logistici e definizione delle necessarie precauzioni di stoccaggio, trasporto, trattamento).
- Scelta dei metodi di analisi (metodiche di preparazione del campione, di estrazione, di purificazione, di concentrazione, di analisi; metodologie di elaborazione e restituzione del dato, ecc.).

Sopralluoghi effettuati sul sito, con la guida e la collaborazione della ASL di Mantova e dell'ARPA Lombardia (Dipartimento di Mantova), al fine di identificare le aree maggiormente interessanti per lo studio, anche alla luce delle precedenti indagini effettuate (1, 2).

Per quanto riguarda i rilevamenti, l'area di interesse è stata individuata considerando la presenza degli insediamenti industriali, quella degli insediamenti abitativi e le aree maggiormente interessate alle ricadute delle emissioni industriali ovvero:

- zona caratterizzata da alta densità abitativa;
- zona caratterizzata da bassa densità abitativa;
- zona caratterizzata da media densità abitativa e maggiormente interessata alle ricadute industriali rispetto alle precedenti;
- zone caratterizzate dalla vicinanza all'area industriale.

Oltre a dette zone è stata individuata in una località vicina alla cartiera Burgo in considerazione anche della messa in funzione del nuovo impianto di recupero energetico da combustione (inceneritore) dei residui di cartiera. Infine un'ultima zona è stata scelta in un'area non direttamente influenzata dalle sorgenti di emissioni industriali e/o urbane, nella tenuta di Bosco della Fontana.

L'esame dei processi produttivi presenti nell'area di Mantova ha consentito di individuare le possibili sorgenti di microinquinanti di specifico interesse; con la collaborazione della ASL e dell'ARPA è stato possibile reperire ed esaminare la documentazione relativa a dette sorgenti e calcolare i fattori di emissione applicabili alle principali emissioni.

La valutazione della qualità dell'aria in un'area nella quale sono allocati sia impianti industriali e artigianali sia insediamenti abitativi, risulta sempre complessa. Una serie di inquinanti può essere rilevata in continuo mediante sistemi automatici di monitoraggio (reti di rilevamento, con stazioni posizionate in punti significativi), tuttavia diversi inquinanti aventi un preminente interesse igienico-sanitario necessitano per la loro valutazione di campagne ad hoc e specifiche tecniche di prelievo e analisi. Tra questi inquinanti si hanno composti organici quali: policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF), Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), benzene, e inorganici quali: metalli pesanti, materiale particolato aerodisperso a diversa granulometria (PM_{10} , $PM_{2,5}$). La crescente attenzione che viene dedicata a detti

microinquinanti ha portato alla messa in atto di diverse iniziative di ricerca e di controllo e anche, per alcuni di essi, alla individuazione di limiti e “obiettivi di qualità” (DM 25/11/94, DM 60/2002, Direttiva europea 2004/107).

Nel caso specifico di Mantova, la particolarità dell’area in oggetto (contiguità delle aree abitate con le aree industriali e presenza di corsi d’acqua) porta a prevedere l’opportunità di una serie di rilevamenti che consentano una prima conoscenza della situazione attuale e l’acquisizione di una serie di dati di base che possano fare da guida per successive periodiche indagini.

La stima della situazione pregressa mediante la raccolta ed esame dei dati relativi alle emissioni industriali può consentire una prima valutazione di massima delle quantità di microinquinanti emessi nelle diverse aree. Per quanto possibile si deve anche tenere conto della evoluzione impiantistica che si è avuta negli anni, sia come tipologie delle lavorazioni che degli eventuali adeguamenti avvenuti in ottemperanza a normative nazionali (es. DPR 203/88, DM 12/7/90, DM 17/11/97 n. 503, DM 25/2/00 n.124, DL.vo 11/5/05 n.133).

La maggior parte delle tabelle riportate nei capitoli successivi è già stata pubblicata nel rapporto a cura Gramiccioni, Maini, Fossati e Gigli dal titolo *Convenzione Istituto Superiore di Sanità - Osservatorio Nazionale sui Rifiuti “Gestione di alcune tipologie di rifiuti e materiali ottenuti dal loro recupero/riciclo. Rischio sanitario e ambientale”. Workshop finale. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 21-22 settembre 2004* edito dall’Istituto Superiore di Sanità e pubblicato nel 2005 (Rapporti ISTISAN: 05/28).

1. LINEE GUIDA E INDICAZIONI NORMATIVE

L'importanza degli aspetti sanitari legati alla contaminazione ambientale è ben sottolineato nel DPR 23/7/98 "Approvazione del piano sanitario nazionale per il triennio 1998-2000", nel quale viene sottolineata la necessità di poter disporre di dati ambientali al fine di "migliorare il contesto ambientale" (Obiettivo III). In esso si evidenzia che: gli elementi descrittivi del sistema non risultano sufficientemente conosciuti, mancano informazioni sulle correlazioni tra tali elementi e lo stato di salute della popolazione e che occorre colmare il debito informativo (3).

Uno degli aspetti strategici nella gestione della qualità ambientale è costituito dalla regolamentazione delle emissioni. Con il DM del 12 luglio 1990 "Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione" venivano definite le prime indicazioni tecniche relative alle emissioni industriali (di valenza nazionale) di cui al DPR 203/88. A metà aprile 2006 è stato definitivamente varato il DL.vo in materia ambientale n. 152 noto come testo unico. Si tratta di 318 articoli e 45 allegati, con cui, abrogando quasi tutta la normativa vigente, regola il comparto rifiuti, bonifica dei siti, emissioni in atmosfera, Valutazione Impatto Ambientale (VIA), scarichi idrici e danno ambientale. L'art. 267 riporta che il decreto si applica a tutti gli impianti, inclusi gli impianti termici civili (con esclusioni) e alle attività che producono emissioni in atmosfera. Sono anche esclusi gli impianti di incenerimento disciplinati da DL.vo 133/2005. Sono in corso di emanazione i decreti attuativi.

Per gli impianti di incenerimento si è avuto, invece, un aggiornamento delle linee guida con l'emanazione del DM 19/11/97 n. 503 (4), che ha recepito la direttiva del Consiglio concernente la prevenzione dell'inquinamento provocato da nuovi impianti di incenerimento di rifiuti urbani (89/369/CEE) e del DM 25/2/2000 (5) che ha recepito la direttiva del Consiglio, del 16 dicembre 1994, sull'incenerimento dei rifiuti pericolosi (94/67/CE) e infine il DL.vo 11 maggio 2005, n.133 che ha recepito la direttiva 2000/76/CE (6).

I recepimenti di direttive della Unione Europea (UE) hanno inserito importanti aspetti su come intendere la qualità dell'aria e la prevenzione; in particolare: il DL.vo 4 agosto 1999, n. 351 "Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente" e il DL.vo 18 febbraio 2005, n. 59 "Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento" (7). Il recepimento delle direttive 99/30/CE e 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle il benzene e il piombo, con il DM 2/4/02, n. 60 ha aggiornato i limiti di detti inquinanti, introducendo anche un diverso approccio alla gestione della qualità dell'aria (8).

Per quanto riguarda la qualità dell'aria, nella nostra legislazione con successivi decreti sono stati introdotti una serie di concetti, che hanno anche subito nel tempo un'evoluzione, di seguito si elencano i più significativi:

- **Legge 615/1966**

Definisce

- *Inquinamento atmosferico*

“stato dell'aria atmosferica conseguente alla immissione nella stessa di sostanze di qualsiasi natura in misura e condizioni tali da alterare la salubrità dell'aria e da costituire pregiudizio diretto o indiretto per la salute dei cittadini o danno ai beni pubblici o privati”.

– **DPR 203/1988**

Definisce:

- *Inquinamento atmosferico*
“ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell’aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità o con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell’aria; da costituire pericolo ovvero pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell’uomo; da compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell’ambiente; alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati”.
- *Valori limite di qualità dell’aria*
“limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e limiti massimi di esposizione ad inquinanti nell’ambiente esterno”.
- *Valori guida di qualità dell’aria*
“limiti delle concentrazioni e limiti di esposizione relativi ad inquinamenti nell’ambiente esterno destinati:
 - a) alla prevenzione a lungo termine in materia di salute e protezione dell’ambiente;
 - b) a costituire parametri di riferimento per l’istituzione di zone specifiche di protezione ambientale per le quali è necessaria una particolare tutela della qualità dell’aria.”
- *Linee guida per il contenimento delle emissioni*
“criteri in linea con l’evoluzione tecnica messi a punto relativamente a settori industriali contenenti indicazioni su: cicli tecnologici; migliore tecnologia disponibile relativamente ai sistemi del contenimento delle emissioni; fattori di emissione con e senza l’applicazione della migliore tecnologia disponibile per il contenimento delle emissioni”.
- *Valori limite di emissione*
“la concentrazione e/o la massa di sostanze inquinanti nella emissione degli impianti di un dato intervallo di tempo che non devono essere superati”.

– **DM 15 aprile 1994**

Introduce i livelli di “attenzione” e di “allarme”, per alcuni inquinanti atmosferici, intesi ad assicurare il rispetto dei relativi standard di qualità dell’aria vigenti e successivamente.

– **DM 25 novembre 1994**

Definisce:

- *Obiettivi di qualità*
“valore medio annuale di riferimento da raggiungere e rispettare relativamente a: materiale particolato fine (PM₁₀: materiale particolato con diametro aerodinamico ≤ 10 μ m, prelevato con efficienza di campionamento del 50%), benzene, benzo(a)pirene”.

– **DL.vo 4 agosto 1999 n. 351**

Introduce alcune definizioni evidenziano l’evoluzione che si è avuta nello specifico settore:

- *Aria ambiente*
aria esterna presente nella troposfera, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro.

- *Inquinante*
qualsiasi sostanza immessa direttamente o indirettamente dall'uomo nell'aria ambiente che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso.
- *Valore limite*
livello fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, tale livello deve essere raggiunto entro un dato termine ed in seguito non superato.
- *Valore obiettivo*
livello fissato al fine di evitare a lungo termine, ulteriori effetti dannosi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso; tale livello deve essere raggiunto per quanto possibile nel corso di un dato periodo e in seguito non superato.
- *Soglia di allarme*
livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale si deve immediatamente intervenire a norma del DL.vo 4/8/99 n. 351.
- *Margine di tolleranza*
la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato alle condizioni stabilite dal DL.vo 4/8/99 n. 351.

I valori limite di concentrazione di inquinanti nell'aria, normati dalla legislazione nazionale, vengono riassunti nella Tabella 1; il numero di questi inquinanti normati è molto esiguo a fronte del notevole numero di inquinanti riscontrabili nell'aria ambiente. Tali norme presentano comunque la necessità di un periodico aggiornamento, in relazione allo stato delle conoscenze scientifiche in materia igienico-sanitaria. Infatti, già nell'articolo 3, comma 1 del DPR 203/1988 si segnala che:

“Con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dell'ambiente, di concerto con i Ministri della sanità e dell'industria del commercio e dell'artigianato, sono fissati ed aggiornati i valori limite ed i valori guida di qualità dell'aria, validi su tutto il territorio nazionale”.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha elaborato, per la Regione Europea, linee guida relative solo ad un certo numero di inquinanti atmosferici (*Air Quality Guidelines for Europe*, Linee Guida della Qualità dell'Aria per l'Europa) (9), per i quali le conoscenze scientifiche relative agli effetti sull'uomo sono state giudicate sufficientemente accettabili, per quelli ad azione cancerogena viene definito un rischio unitario per la popolazione generale associato alla loro presenza nell'aria. I valori guida di qualità dell'aria indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene. La stima dell'incremento del rischio unitario (*Unit Risk*, UR) è intesa come il rischio addizionale di tumore, che può verificarsi in un'ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui sono continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano. La Tabella 2 riporta alcuni valori guida che costituiscono uno degli strumenti per la fissazione delle relative norme legislative (limiti) aventi carattere impositivo. La periodica revisione delle linee guida è prevista dall'ufficio OMS competente (*European Center for Environment and Health*).

Tabella 1. Valori limite, livelli di attenzione e di allarme, obiettivi di qualità degli inquinanti atmosferici (DPCM 28/3/1983, DPR 203/1988, DM 25/11/1994)

Inquinante	Limite standard qualità	Valore guida	Livello di attenzione	Livello di allarme	Obiettivo di qualità
SO ₂ (µg/m ³)	Mediana: 80 (annuale) 130 (invernale) 250 (98° perc)	Media: 40-60 (annuale) 100-150 (24 h)	Media: 125 (24 h)	Media: 250 (24 h)	—
NO ₂ (µg/m ³)	200 (98° perc)	50 (50° perc) 135 (98° perc)	Media: 200 (1 h)	Media: 400 (1 h)	—
O ₃ (µg/m ³)	200 non più di una volta al mese	—	Media: 180 (1 h)	Media: 360 (1 h)	—
CO (mg/m ³)	Media: 10 (8 h) 40 (1 h)	—	Media: 15 (1 h)	Media: 30 (1 h)	—
Pb (µg/m ³)	Media: 2 (annuale)	—	—	—	—
F (µg/m ³)	Media 20 (24 h) 10 (mensile)	—	—	—	—
PTS (µg/m ³)	Media: 150 (annuale) 300 (95° perc)	Media: 40-60* (annuale) 100-150* (24 h)	Media: 150 (24 h)	Media: 300 (24 h)	Media: 60 ^a (PM ₁₀); 40 ^b (PM ₁₀) (mobile annuale)
THCnm (µg/m ³)	Media: 200** (3 h)	—	—	—	—
Benzene (µg/m ³)	—	—	—	—	Media: 15 ^a , 10 ^b (mobile annuale)
B(a)P (ng/m ³)	—	—	—	—	Media: 2,5 ^a , 1 ^b (mobile annuale)

* fumo nero equivalenti

** si applica in relazione a concentrazione di O₃^a dal 1° gennaio 1996^b dal 1° gennaio 1999

Fonte: Ferdinandi M, Settimo G, Alessandrini P, Viviano G. *Monitoraggio della qualità dell'aria ambiente nella stazione di rilevamento dell'Istituto Superiore di Sanità nel 2002*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2004. (Rapporti ISTISAN 04/23)

Tabella 2. Linee guida OMS sulla qualità dell'aria* e rischio unitario relativi ad alcuni inquinanti

Inquinante	Valori fissati nelle linee guida
Monossido di carbonio	100 mg/m ³ (15 minuti); 60 mg/m ³ (30 minuti) 30 mg/m ³ (1 ora) 10 mg/m ³ (8 ore)
Ozono	120 µg/m ³ (8 ore)
Biossido di azoto	200 µg/m ³ (1 ora) 40 µg/m ³ (1 anno)
Biossido di zolfo	500 µg/m ³ (10 minuti) 125 µg/m ³ (24 ore) 50 µg/m ³ (1 anno)
IPA (BaP)	$8,7 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Benzene	$4,4-7,5 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Arsenico	$1,5 \times 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Cadmio	$1,8 \times 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime) (5 ng/m ³ ; 1 anno)*
Cromo VI	$1,1-13 \times 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Piombo	0,5 µg/m ³ (1 anno)
Manganese	0,15 µg/m ³ (1 anno)
Mercurio (inorganico)	1 µg/m ³ (1 anno)
Nichel	$3,8 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Vanadio	1 µg/m ³ (24 ore)

*per prevenire qualsiasi ulteriore incremento di cadmio nel suolo agricolo capace di incrementare l'assunzione con la dieta delle future generazioni. I valori guida di qualità dell'aria indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene.

Per il corretto utilizzo di questi dati si raccomanda di consultare le indicazioni riportate dall'OMS nel lavoro originale, della WHO del 2000 (9)

Il DL.vo 351/1999 indica (All. I) una serie di inquinanti “da considerare nel quadro della valutazione e della gestione della qualità dell'aria ambiente” e precisamente: SO₂, NO_x, PTS, PF-PM₁₀, Pb, O₃, benzene, CO, IPA, Cd, As, Ni, Hg. Definisce anche i principi per:

1. stabilire gli obiettivi per la qualità dell'aria al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente;
2. valutare la qualità dell'aria;
3. disporre di informazioni;
4. mantenere la qualità dell'aria dove è buona e migliorarla dove non lo è.

La grande attenzione che si attribuisce al materiale particellare aerodisperso dipende (sia alla dimensione delle particelle, sia al contenuto organico e inorganico), dipende dal fatto che sono stati osservati effetti acuti (incremento della mortalità giornaliera, incremento di disturbi respiratori e di ricoveri ospedalieri per tali cause) ed effetti a lungo termine (mortalità e patologie respiratorie), seppure con un numero minore di dati (9). L'orientamento della ricerca e, successivamente della legislazione, si è quindi orientato verso un interesse sempre maggiore per le particelle PM₁₀ e, recentemente, PM_{2,5}. Nella recente revisione delle Linee Guida della Qualità dell'Aria per l'Europa, l'OMS ha prodotto delle stime numeriche di rischio per una serie di effetti sanitari associati ad un incremento di 10 µg/m³ della concentrazione media sulle 24 ore per il PM₁₀ e il PM_{2,5}. Nelle sue valutazioni l'OMS non stabilisce un valore al di sotto del quale non vi sia rischio, ma raccomanda l'uso di grafici esposizione-risposta per orientare gli organi competenti nelle scelte per la gestione dei rischi (10, 11). Recentemente la Commissione

europea ha presentato la proposta di una nuova direttiva sulla qualità dell'aria, in cui viene indicato un valore limite annuale pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anche per il $\text{PM}_{2,5}$ (12, 13).

In questi anni si è proceduto al rilevamento di PM_{10} in diverse aree urbane italiane. Con il DL.vo 351/1999 (recepimento direttiva 96/62/CE) e il DM del 2 aprile 2002 n. 60 (recepimento delle direttive 99/30/CE e 2000/69/CE), le modalità e le tipologie di prelievo e analisi sono ormai delineate e saranno aggiornati anche alcuni limiti, la Tabella 3 riporta i nuovi limiti.

Tabella 3. Limiti per gli inquinanti atmosferici riportati nel DM 2/4/02, n. 60

Inquinante	Limite (<i>entrata in vigore</i>)	Concentrazione
SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Protezione della salute umana (1° gennaio 2005)	350 media 1 ora (da non superare più di 24 volte per anno civile) 125 media 24 ore (da non superare più di 3 volte per anno civile)
	Ecosistemi (19 luglio 2001)	20 media anno civile e semestre invernale
	Soglia di allarme	500 media 3 ore consecutive
NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Protezione della salute umana (1° gennaio 2010)	200 media 1 ora (da non superare più di 8 volte per anno civile) 40 media anno civile
	Soglia di allarme	400 media 3 ore consecutive
NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Protezione della vegetazione (19 luglio 2001)	30 media anno civile
Particelle (PM_{10}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Protezione della salute umana (1° gennaio 2005)	50 media 24 ore (da non superare più di 35 volte per anno civile)
		40 media anno civile (fase 2, dal 1/1/10 limite = 20 media anno civile)
Piombo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Protezione della salute umana (1° gennaio 2005)	0,5 media anno civile
Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Protezione della salute umana (1° gennaio 2010)	5 media anno civile
CO (mg/m^3)	Protezione della salute umana (1° gennaio 2005)	10 media massima giornaliera su 8 ore

La tempistica di attuazione per i nuovi limiti del PM_{10} è scaglionata fino al 1/1/2005 e si indica già la possibilità (con successivo decreto sulla base della normativa comunitaria) di riduzione della concentrazione annuale per il PM_{10} all'anno 2010. Nella Tabella 4 i decreti sostituiti in tutto o in parte dalla recente normativa; la Tabella 5 riporta i valori limite e i margini di tolleranza per i diversi inquinanti con le diverse date di entrata in vigore.

Tabella 4. Decreti abrogati in parte o *in toto* (come riportato nell'art. 40 DM 2/4/02, n. 60)

Normativa	Argomento
DPCM 28/3/83	Limiti SO_2 , NO_2 , PTS, piombo, CO
DPR 203/1988	Art. 20, 21, 22, 23 - Allegati I, II, III, VI
DM 20/5/91	Criteri di raccolta dei dati di qualità dell'aria
DPR 10/1/92	Indirizzo e coordinamento sistemi di rilevamento in aree urbane
DM 15/4/94	norme tecniche, limiti, livelli di attenzione e di allarme
DM 25/11/94	norme tecniche, limiti, livelli di attenzione e di allarme, obiettivi di qualità

Tabella 5. Limiti, margini di tolleranza e date di entrata in vigore DM 2/4/02, n. 60

Inquinante	Entrata in vigore direttiva e limiti		Margini di tolleranza				
			data obbligo di rispetto				
SO₂ (µg/m ³)	19/7/99		1/1/2001	1/1/2002	1/1/2003	1/1/2004	1/1/2005
	Media 1 ora:	500	470	440	410	380	350
	Media 24 ore	—	—	—	—	—	125
NO₂ (µg/m ³)	19/7/99		1/1/2001	1/1/2002	1/1/2003	1/1/2004	1/1/2005
	Media 1 ora	300	290	280	270	260	250
	Media anno civile	60	58	56	54	52	50
			1/1/2006	1/1/2007	1/1/2008	1/1/2009	1/1/2010
			240	230	220	210	200
			48	46	44	42	40
Particelle (PM₁₀) (µg/m ³)	19/7/99		1/1/2001	1/1/2002	1/1/2003	1/1/2004	1/1/2005
	Fase 1 (al gen. 2005)						
	Media 24 ore:	75	70	65	60	55	50
	Media anno civile	48	46,4	44,8	43,2	41,6	40
			1/1/2006	1/1/2007	1/1/2008	1/1/2009	1/1/2010
	Fase 2 (da gen. 2005)						
	Media 24 ore:	50	50	50	50	50	50
	Media anno civile	30	28	26	24	22	20
Pb (µg/m ³)	19/7/99		1/1/2001	1/1/2002	1/1/2003	1/1/2004	1/1/2005
	Media anno civile	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
C₆H₆ (µg/m ³)	13/12/00		1/1/2006	1/1/2007	1/1/2008	1/1/2009	1/1/2010
	Media anno civile	10	9	8	7	6	5
CO (mg/m ³)	13/12/00				1/1/2003	1/1/2004	1/1/2005
	Media massima giornaliera su 8 ore	16	—	—	14	12	10

Nel frattempo l'UE ha emanato la Direttiva 2004/107/CE “concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente” (14) su alcuni inquinanti già presenti nell'allegato I della Direttiva 96/62. Il cadmio, l'arsenico, il mercurio, alcuni composti del nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici sono noti agenti cancerogeni umani per i quali non può essere individuata alcuna soglia riguardo agli effetti dannosi sulla salute umana.

La presente Direttiva di prossimo recepimento tiene conto dell'obbligo sancito nel trattato di applicare il principio secondo il quale l'esposizione a tali inquinanti debba essere al livello più basso che si possa ragionevolmente raggiungere.

Si introduce il *valore obiettivo* definito come: concentrazione nell'aria ambiente fissata per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e l'ambiente nel suo complesso che dovrà essere raggiunta per quanto possibile nel corso di un dato periodo.

La Tabella 6 riporta il valore obiettivo per arsenico, cadmio, nichel, benzo[a]pirene (BaP) nella frazione PM₁₀ calcolata come media annuale, così come previsto dalla direttiva. Gli stati membri sono tenuti a prendere tutte le misure necessarie, che non comportino costi sproporzionati, per rispettare tali valori obiettivo entro il 31/12/2012.

Tabella 6. Valore obiettivo riportati nella Direttiva 2004/107/CE

Inquinante	Valore obiettivo ng/m ³
Arsenico	6
Cadmio	5
Nichel	20
Benzo[a]pirene	1

La Direttiva 2004/107/CE ha tra i suoi obiettivi anche la raccolta di informazioni sui flussi di deposizioni atmosferiche totali. Tuttavia ancora non sono stati stabiliti dei valori limiti o dei valori obiettivo per le deposizioni atmosferiche totali e per i metalli e i semi-metalli nelle deposizioni, ma viene solo raccomandato il monitoraggio in un sito di fondo ogni 100000 km² della deposizione totale di arsenico, cadmio, nichel e mercurio, benzo(a)pirene a prescindere dai livelli riscontrati in aria ambiente. Nell'attesa che siano emanate metodiche normalizzate a livello europeo, il Gruppo di lavoro Istituto Superiore di Sanità "Metodiche per il rilevamento delle emissioni da impianti industriali", ha messo a punto il metodo nazionale per la determinazione di arsenico, il cadmio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nelle deposizioni atmosferiche totali (15).

In alcuni Paesi sono stati stabiliti dei valori limite per i flussi di deposizione espressi in termini di deposizioni atmosferiche totali riferiti a un periodo di mediazione annuale. Riguardo al contenuto di metalli e metalloidi, limitatamente al cadmio, piombo e al tallio, alcuni Paesi europei hanno stabilito dei valori limite espressi come contenuto totale dell'elemento in massa (µg) depositato sull'unità di superficie (m²) nell'unità di tempo (d) su un periodo di riferimento annuale (Tabella 7).

Tabella 7. Valori limite internazionali per le deposizioni atmosferiche totali e per alcuni elementi contenuti nelle deposizioni

Nazione	Deposizione atmosferica totale (media annuale) mg/m ² d	Cd µg/m ² d	Pb µg/m ² d	Tl µg/m ² d
Austria	—	2	—	—
Germania	350-650*	5	250	10
Svizzera	—	2	—	—
Spagna	200	—	—	—
Finlandia	333	—	—	—
Argentina	333	—	—	—
Canada	153-180	—	—	—
USA	183-262	—	—	—

* breve periodo

Fonte: Cattani G, Viviano G. Stazione di rilevamento dell'Istituto Superiore di Sanità per lo studio della qualità dell'aria: anni 2003 e 2004. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/13)

2. EMISSIONI DA CICLI TECNOLOGICI E FATTORI DI EMISSIONE

Le diverse fonti di emissione, sia diffuse sia convogliate, di inquinanti da un ciclo tecnologico possono essere correlate a fattori indice di produzione stimando un “fattore di emissione”; definibile come (DM 12/7/90):

“La quantità di inquinante emessa riferita al processo produttivo considerato nella sua globalità e nelle sue fasi tecnologiche; si esprime in termini di massa inquinante emessa, rapportata alla massa di prodotto o materia prima impiegata, o comunque ad altri parametri idonei a rappresentare il settore produttivo in esame”.

Fattori di emissioni si possono reperire nella bibliografia scientifica, ad esempio gli *Emission Factors* della agenzia per l’ambiente degli Stati Uniti (*Environmental Protection Agency*, EPA) (16), tuttavia va tenuto conto che in genere si tratta di fattori calcolati su realtà industriali diverse dalle nostre; può quindi risultare necessario oltre che opportuno verificarne la corrispondenza mediante misure effettuate sul campo.

Per la valutazione del carico inquinante presente nell’area in studio, è stato necessario determinare, caso per caso o per tipologia di lavorazioni, detti fattori, considerando anche indicazioni reperibili nella letteratura scientifica nazionale e internazionale.

2.1. Impianti di incenerimento rifiuti: fattori di emissione

Una fonte importante di emissione di PCDD/F è costituita dagli impianti di incenerimento; a tale proposito il DL.vo 5/2/1997 n. 22, “Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio” ha introdotto una serie di cambiamenti nella gestione dei rifiuti prospettando un sistema integrato che tende a privilegiarne le diverse forme di riutilizzo e recupero. Lo stesso decreto indica: tra le “operazioni di smaltimento” l’incenerimento (alle voci “Incenerimento a terra” e “Incenerimento in mare”); tra le “operazioni di recupero” la combustione (alla voce “Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia”). Va ricordato che dal 1° gennaio 1999 l’incenerimento può essere autorizzato solo se accompagnato dal recupero energetico.

Per quanto riguarda gli aspetti legislativi relativi alla limitazione delle emissioni inquinanti da impianti di incenerimento, il corpo normativo nazionale, in questo specifico settore, può considerarsi ormai completamente adeguato alle direttive comunitarie e rispondente alle moderne linee di indirizzo tecnologico. Infatti, si è passati dalle prime “linee guida” del DPR 203/1988, ai DM 19/11/1997 n. 503 e 25/2/2000 n. 124, che hanno recepito (tra l’altro) le direttive 89/369/CEE, 94/67/CE e infine il DL.vo 11 maggio 2005, n. 133 “Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti”, che ha recepito la direttiva 2000/76/CE. In aggiunta alle indicazioni tecniche riportate nelle varie normative (direttive europee e decreti nazionali), vanno ricordati: il documento BREF (*Best available techniques REFERENCE document*: documenti di riferimento per le migliori tecniche disponibili emanati dal gruppo europeo *Integrated Pollution Prevention and Control Bureau* come previsto dalla Direttiva 96/61/EC) “Waste Incineration” (17); e l’equivalente italiano “Linee guida per gli impianti di incenerimento” della Commissione ex art. 3, comma 2, del DL.vo 372/1999 (18).

Per questa tipologia di impianti il fattore più significativo di pressione ambientale è costituito dalle emissioni in atmosfera che, in relazione alla tipologia del rifiuto trattato, possono contenere oltre agli usuali prodotti della combustione (CO, NO_x, SO_x, ecc.) microinquinanti inorganici (metalli pesanti), organici (IPA, PCDD/F) e acidi alogenidrici. Nella Tabella 8 si riportano i limiti alle emissioni relativi alle normative italiane e della UE, attualmente in vigore, con i relativi fattori di tossicità equivalente (I-TEF: *International Toxicity Equivalence Factor*) utilizzati (Tabella 9).

Tabella 8. Limiti alle emissioni di inquinanti (mg/Nm³ s all'11% O₂) per gli impianti di incenerimento secondo la normativa nazionale e comunitaria

Inquinante	Normativa italiana (argomento)			Direttiva comunitaria (argomento)		
	DM 124/2000 (rifiuti pericolosi)	DM 503/1997 (RSU e RS)	DM 12/7/90 (linee guida vecchi impianti)	2000/76/CE (rifiuti)	94/67/CE (rifiuti pericolosi)	89/369/CEE (RSU)
Polveri	10-30	10-30	30-100	10-30	10-30	30-200
HCl	10-60	20-40	50-100	10-60	10-60	50-250
HF	1-4	1-4	2	1-4	1-4	—
SO ₂	50-200	100-200	300	50-200	50-200	300
NO ₂	200-400	200-400	500	200-400	—	—
CO	50	50-100	100	50-100	50	—
Composti organici	10-20	10-20	20	10-20	10-20	—
Cd, Tl, Hg	0,05 **	0,05 **	0,2	0,05 **	0,05 **	0,2
Totale	0,5	0,5	5	0,5	0,5	5
altri metalli						
IPA	0,01	0,01	0,1	—	—	—
PCDD/F (ng/Nm ³)	0,1 ***	0,1 ***	4 000	0,1 ***	0,1 ***	—

* valori medi giornalieri e valori medi di punta (orari o semiorari); ** il limite si riferisce al Cd e Tl come somma e al Hg separatamente

*** espresso in termini di tossicità equivalente riferita alla 2,3,7,8 T₄CDD.

Tabella 9. Fattori di tossicità equivalente riferita alla 2,3,7,8 T₄CDD

Congeneri	I-TEF
Policlorodibenzodiossine	
2,3,7,8 Tetraclorodibenzodiossina (T ₄ CDD)	1
1,2,3,7,8 Pentaclorodibenzodiossina (P ₅ CDD)	0,5
1,2,3,4,7,8 Esaclorodibenzodiossina (H ₆ CDD)	0,1
1,2,3,7,8,9 Esaclorodibenzodiossina (H ₆ CDD)	0,1
1,2,3,6,7,8 Esaclorodibenzodiossina (H ₆ CDD)	0,1
1,2,3,4,6,7,8 Eptaclorodibenzodiossina (H ₇ CDD)	0,01
Ottaclorodibenzodiossina (O ₈ CDD)	0,001
Policlorodibenzofurani	
2,3,7,8 Tetraclorodibenzofurano (T ₄ CDF)	0,1
2,3,4,7,8 Pentaclorodibenzofurano (P ₅ CDF)	0,5
1,2,3,7,8 Pentaclorodibenzofurano (P ₅ CDF)	0,05
1,2,3,4,7,8 Esaclorodibenzofurano (H ₆ CDF)	0,1
1,2,3,7,8,9 Esaclorodibenzofurano (H ₆ CDF)	0,1
1,2,3,6,7,8 Esaclorodibenzofurano (H ₆ CDF)	0,1
2,3,4,6,7,8 Esaclorodibenzofurano (H ₆ CDF)	0,1
1,2,3,4,6,7,8 Eptaclorodibenzofurano (H ₇ CDF)	0,01
1,2,3,4,7,8,9 Eptaclorodibenzofurano (H ₇ CDF)	0,01
Ottaclorodibenzofurano (O ₈ CDF)	0,001

Nel caso di impianti forniti di sistemi di abbattimento ad umido, si possono anche avere reflui liquidi e fanghi che risultano contaminati da metalli pesanti. Si hanno inoltre le scorie di combustione e le ceneri abbattute dai sistemi di contenimento delle emissioni; l'esame dei fattori di emissione evidenzia quanto detto anche in relazione al destino ambientale delle stesse emissioni. Infatti, mentre la destinazione di scorie e ceneri è la discarica residuale per le emissioni atmosferiche si pone il problema della loro ricaduta che risentirà di una serie di fattori (altezza efficace del camino, orografia e meteorologia del sito, ecc.) che ne governano la diffusione al suolo. Per quanto riguarda l'emissione in atmosfera da impianti di incenerimento in Italia, si riporta in Tabella 10 e 11 (19) una serie di fattori di emissione.

Tabella 10. Intervalli di fattori di emissione calcolati su impianti di incenerimento di rifiuti e relativi comparti ambientali interessati in Italia

Rifiuto Incenerito (t)	Emissione atmosfera		Emissione suolo		Emissione acque depuratore	
	fumi (Nm ³ secchi)	polveri (g)	scorie (kg ss) ^a	ceneri (kg ss) ^a	fanghi (kg)	acqua (t)
1*	5 800 ÷ 9800	20 ÷ 500	220 ÷ 260	16 ÷ 45	4,4 ÷ 24	0,02 ÷ 3,1
1**	8 000	15	160	10	—	—

^a kilogrammi di sostanza secca

* 8 inceneritori di RSU e RS (Morselli 1997);

** inceneritore di RS (Viviano 1997);- nessuna emissione.

Tabella 11. Intervalli di fattori di emissione degli inquinanti presenti alle emissioni in atmosfera calcolati su impianti di incenerimento di rifiuti in Italia

Inquinante	Fattori di emissione calcolati (g/t rifiuto)		
	Con sistemi di abbattimento a monte	a valle	Con i limiti del DM 503/97 (portata specifica stimata: 6000 Nm ³ s/t)
HF	n.d. ÷ 91	n.r. ÷ 7	6 ÷ 24
HCl	3600 ÷ 11314	6 ÷ 150	120 ÷ 240
SO ₂	600 ÷ 12000	30 ÷ 480	600 ÷ 1200
NO ₂	1200 ÷ 21357	360 ÷ 2500	1200 ÷ 2400
Pb	30 ÷ 180	0,004 ÷ 5	3
Cd	1,2 ÷ 4,8	0,0004 ÷ 0,5	0,3
Hg	0,3 ÷ 51	0,01 ÷ 1	0,3
PCDD+PCDF (I-TEQ)*	n.c. ÷ 10 ⁻⁴	10 ⁻¹¹ ÷ 10 ⁻⁵	0,6 10 ⁻⁶
Polveri	n.r. ÷ 30000	7 ÷ 10	60 ÷ 180

* I-TEQ: International Toxicity Equivalence Quantity; n.d.: non determinato; n.c.: non calcolabile; n.r.: non rilevabile

Per gli impianti di combustione, sia che operino esclusivamente l'incenerimento sia che servano anche per la produzione di energia, le principali fonti di emissioni sono costituite dai fumi e dalla produzione di scorie e ceneri; una ulteriore fonte di emissione può essere costituita, nel caso di impianti dotati di sistema di abbattimento a umido, da acque reflue.

2.2. Fattori di emissione di altri impianti

In particolare per quanto riguarda le PCDD/F sono stati calcolati o messi a punto fattori di emissione, nell'ambito di un gruppo di lavoro interdisciplinare, al quale ha partecipato anche

l'ISS, promosso dall'Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica (AIDIC), si propone di definire un "Bilancio Nazionale delle Diossine" in Italia. Essendo detto bilancio subordinato alla definizione di un approccio per la sua realizzazione, è stato formato un sottogruppo di lavoro per l'individuazione di una metodologia che ha consentito: la definizione dell'ambito territoriale e spaziale; l'individuazione delle sorgenti di emissione; l'utilizzo di misure esistenti; il confronto con i dati di qualità dell'aria e dell'acqua disponibili a livello locale. Una serie di fattori di emissione relativi a diversi cicli tecnologici relativi ad impianti che operano combustioni anche con combustibili convenzionali si riporta in Tabella 12 (20).

Tabella 12. Fattori di emissione di diversi cicli tecnologici in Italia

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

Una recente sperimentazione condotta nell'ambito di un Gruppo di lavoro del Ministero dell'Ambiente – al quale hanno partecipato, oltre all'ISS, ANPA (Agenzia Nazionale di Protezione Ambientale), CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) – ha permesso di definire fattori di emissione di una centrale ENEL su alcuni gruppi alimentati a carbone, olio combustibile e *Orimulsion* (emulsione bituminosa). La sperimentazione sul campo (rilevamenti, analisi, elaborazione dati) è stata condotta dal Laboratorio di Inquinamento Atmosferico (LIA) del CNR. Da tale studio sono emersi i valori riportati in Tabella 13 (21).

Tabella 13. Centrale Termoelettrica di Brindisi: confronto tra combustili e fattori di emissione calcolati nell'ambito dell'attività del Gruppo di lavoro del Ministero dell'Ambiente istituito per la sperimentazione sull'utilizzo di *Orimulsion*

Parametro	Combustibile utilizzato nella sperimentazione		
	Carbone	Olio combustibile ad alto tenore di zolfo	<i>Orimulsion</i>
MW _e generati*	651,33	585,11	578,88
t _{comb} /h*	215,47	128,91	187,13
MW _e /t _{comb} *	3,02	4,54	3,09
ng T ₄ CDD(I-TEQ)/MW _e *	8	8	5,94
Fattori di emissione	0,0241	0,0363	0,0184
μg T ₄ CDD(I-TEQ)/t _{comb}			

* dati medi riferiti alle tre settimane di sperimentazione

3. PRESENZA DI DIOSSINE E FURANI NELL'AMBIENTE

Le policlorodibenzodiossine (PCDD) e i policlorodibenzofurani (PCDF) presentano struttura chimica e proprietà chimico-fisiche simili; le PCDD includono 75 diversi composti (congeneri) e i PCDF ne includono 135. Di tutti questi solo 17 sono tossici e sono quelli che hanno la collocazione del cloro nella molecola in posizione 2, 3, 7, 8. Al fine di meglio affrontare il problema della valutazione della esposizione e della valutazione del rischio, nel caso di questi composti, è stato preso in considerazione il concetto di I-TEF considerando il membro più tossico del gruppo (2,3,7,8 T₄CDD); la già citata Tabella 9 riporta gli I-TEF attualmente in uso presso i Paesi della UE.

La produzione di tali composti non è intenzionale, tranne che in esperimenti di laboratorio, tuttavia le origini sono diverse.

Le principali fonti di emissione di PCDD/F sono riconducibili a:

– *Sorgenti di combustione*

Diversi sono gli impianti che attuano combustioni e che, potenzialmente possono originare PCDD/F, tra questi:

- Impianti di incenerimento di rifiuti: industriali, urbani, sanitari, combustibili derivati dai rifiuti (CDR), fanghi da depurazione acque, ecc.
- Combustori che utilizzano combustibili diversi (carbone, legna, prodotti petroliferi di varia natura, ecc.).
- Lavorazioni industriali che operano ad alte temperature (forni da cemento, ecc.).
- Combustioni incontrollate e in difetto di ossigeno, incendi (boschivi, di edifici, di depositi di materiali plastici e/o di recupero da RSU, ecc.).

– *Acciaierie e industrie che eseguono lavorazioni e recuperi di metalli.*

– *Alcune industrie chimiche*

Industrie nelle quali si hanno reazioni chimiche che possono dar luogo a formazione di diossine (prodotti secondari derivanti da operazioni chimiche es. sbianca della polpa di legno mediante cloro, produzione di composti chimici clorurati, ecc.).

– *Processi biologici e fotochimici*

Recenti studi suggeriscono che le PCDD/F possono formarsi sotto particolari condizioni ambientali (ad esempio le operazioni di compostaggio) per l'azione di microrganismi su composti fenolici clorurati, nella fotolisi di fenoli ad alta clorurazione.

– *Alcuni rilasci da depositi, materiali, luoghi*

Depositi, materiali e luoghi, che hanno contenuto in origine PCDD/F, hanno il potenziale di rilasciarle nell'ambiente (suoli, sedimenti, acque, biota, alcuni manufatti, ecc.).

Ad incrementare la presenza di PCDD/F nell'ambiente possono contribuire anche le attività domestiche che comportano combustioni nonché le emissioni dei veicoli a motore.

La dispersione nell'atmosfera delle PCDD/F, la loro deposizione e il conseguente accumulo nella catena alimentare sembra essere la principale via di esposizione della popolazione. Altra fonte di contaminazione ambientale sono le acque di scarico di impianti industriali; questo aspetto è da considerare con molta attenzione in quanto le PCDD/F in acqua sono molto stabili e non subiscono degradazioni da parte di microrganismi. Il loro adsorbimento su matrici organiche è il fattore più importante dal punto di vista igienico/ambientale, in quanto da un lato contribuisce alla scomparsa dall'acqua delle PCDD/F, dall'altro produce dei sensibili livelli di bioaccumulo negli organismi (22).

3.1. Presenza in aria

Da studi effettuati su diverse tipologie di aree, relative a Paesi europei, emerge come la concentrazione media di PCDD/F espressa in termini I-TEQ sia dell'ordine dei fg/m^3 fino a centinaia di fg/m^3 nell'aria atmosferica e dell'ordine dei $\text{pg}/(\text{m}^2\text{d})$ fino alle migliaia di $\text{pg}/(\text{m}^2\text{d})$ nelle deposizioni atmosferiche totali (secche-umide).

Di seguito si riportano alcuni valori riscontrati in Italia relativamente a sito urbano (Roma) e remoto (Parco dei Monti Simbruini) (Tabella 14) (23), e in alcuni Paesi della UE relativamente a diversi siti urbani e rurali, nel materiale particolato sospeso e nelle deposizioni atmosferiche totali (Tabella 15) (24).

Tabella 14. Concentrazione di PCDD/F nell'aria atmosferica in area urbana (Roma) e in area remota (Parco dei Monti Simbruini)

Congenere	Concentrazione (fg/m^3)	
	area urbana	Area remota
Somma PCDD (2,3,7,8 sostituiti)	144-470	20,0-77,5
Somma PCDF (2,3,7,8 sostituiti)	120-350	17,2-87,2
Somma PCDD+PCDF (2,3,7,8 sostituiti)	276-820	41,1-160
PCDD+PCDF (fg I-TEQ/m^3)	11,4-38,4	1,89-6,31

Tabella 15. Concentrazione media di PCDD/F rilevata in alcuni Paesi della UE in materiale particolato sospeso e nella deposizione atmosferica totale

Paese	Materiale particolato sospeso ($\text{fg I-TEQ}/\text{m}^3$)		Deposizione atmosferica totale ($\text{pg I-TEQ}/\text{m}^2\text{d}$)	
	siti urbani	siti rurali	siti urbani	siti rurali
Austria	—	—	—	—
Belgio	68-129	70-125	0,9-12	0,7-3,1
Germania	—	—	0,5-464	—
Italia	47-277	—	—	—
Lussemburgo	54-77	30-64	—	—
Olanda	—	9-63	—	—
Svizzera	0,2-54	—	—	—
Regno Unito	17-103	6-12	0,4-312	nv-517

Ulteriori dati sono desumibili da uno studio, condotto nella regione di Oporto (Portogallo), nel quale è stata valutata la concentrazione di PCDD/F, in diverse matrici e in diversi siti, nelle vicinanze di un grosso impianto d'incenerimento per rifiuti solidi urbani (RSU). Per l'aria ambiente sono stati considerati due punti, uno urbano posto ad una distanza di circa 500 m dall'impianto e uno suburbano ad una distanza di circa 1000 m. Le concentrazioni medie rilevate in aria vengono riportate nella Tabella 16 (25). Riguardo alle concentrazioni di PCDD/F nell'aria atmosferica non emergono significative differenze tra le aree urbane e sub-urbane, e i risultati ottenuti hanno suggerito l'esistenza di importanti sorgenti di PCDD/F diffuse nell'intera regione.

Tabella 16. Concentrazione di PCDD/F espressa in fg I-TEQ/m³ rilevata in aria nei pressi di un impianto di incenerimento di RSU ad Oporto (Portogallo)

Tipologia del sito	Valore minimo	Valore massimo	Valore medio
Urbano (distanza circa 500 metri dall'impianto)	35,9	490,3	181,1
Sub-urbano (distanza circa 1000 metri dall'impianto)	46,4	306,1	116,3

Un importante studio sui livelli di PCDD/F presenti nei comparti ambientali (aria, suolo) è stato condotto in Germania, nella periferia della cittadina di Augsburg. In questo lavoro, della durata di un anno, è stata analizzata sia la fase gassosa sia la fase particellare al fine di determinare la concentrazione delle PCDD/F. La raccolta dei campioni è stata effettuata in due aree distinte di cui una alla periferia della città e l'altra in una zona rurale a circa 15 km dalla città. Dallo studio è risultata una maggior concentrazione di PCDD/F, pari a circa due volte, nei siti di campionamento alla periferia della città rispetto a quello della zona remota. Inoltre, è stato evidenziato come i livelli di PCDD/F nell'atmosfera seguano un andamento stagionale, con concentrazioni fino a 9 volte superiori nella stagione invernale rispetto a quella estiva. Nella Tabella 17 (26) sono riportate le concentrazioni totali di PCDD/F rilevate nell'aria, considerando entrambe le frazioni (particellare e gassosa) e la percentuale di PCDD/F rilevata nella frazione gassosa. La concentrazione totale di PCDD/F rilevata nel suddetto studio è compresa in un range che va da 10 a 250 fg I-TEQ/m³ con un valore medio di 49 fg I-TEQ/m³, mentre la percentuale di frazione gassosa rilevata sui campioni medi è risultata essere compresa in un intervallo tra 5,1 e 52%.

Tabella 17. Concentrazione media di PCDD/F espressa in fg I-TEQ/m³ rilevata in aria ambiente dalla media delle concentrazioni per 6 stazioni di campionamento scelte nell'area di Augsburg (Germania)

Periodo di campionamento	Concentrazione (fg I-TEQ/m ³)
1992 (marzo-aprile)	40
(maggio-giugno)	19
(giugno-luglio)	14
(luglio-settembre)	15
(settembre-ottobre)	42
(ottobre-novembre)	60
1992-1993 (novembre-gennaio)	120
1993 (gennaio-febbraio)	87
Media del periodo	49

Dal confronto di questi risultati con le concentrazioni rilevate in altri studi a lungo termine presenti in letteratura, appare chiaro che i livelli di contaminazione da PCDD/F, riscontrati nella zona di Augsburg oggetto d'indagine, sono classificabili come "vicini al *background*" (27-30). Anche in questo caso si evidenzia come la concentrazione totale di diossine nell'aria ambiente sia influenzata non solo dalle emissioni locali e regionali (costanti), ma anche dalla variabilità stagionale, caratterizzata da maggiori flussi di emissioni (impianti di riscaldamento) nella stagione invernale.

Per quanto riguarda il materiale particellare sospeso, uno studio effettuato in una zona rurale della Germania (Bavaria) (31) ha evidenziato come si abbia una distribuzione di PCDD/F e di

IPA prevalentemente nel materiale particellare più fine. Infatti, la concentrazione di PCDD/F e di IPA diminuisce, anche se non con continuità, all'aumentare delle dimensioni del materiale particellare. Il materiale particellare sospeso viene convenzionalmente suddiviso in due classi, *coarse*, $>2 \mu\text{m}$ e *fine*, $<2 \mu\text{m}$. Il *fine* viene originato principalmente da inquinanti primari allo stato aeriforme (mediante condensazioni, reazioni, adsorbimenti, ecc.) mentre combustioni incomplete e processi meccanici sono le maggiori sorgenti di materiale particellare *coarse*. Anche rilevamenti effettuati in area urbana hanno evidenziato come la quasi totalità di IPA sono rilevabili nel materiale particellare sospeso definito come PM_{10} .

In aree extra europee, sempre considerando l'aria ambiente, rilevamenti effettuati in Nuova Zelanda hanno evidenziato valori confrontabili con quelli europei, per quanto riguarda i siti urbani e rurali. Per siti in aree industrializzate si hanno valori sensibilmente maggiori che sono stati imputati principalmente alle emissioni da veicoli a motore (32). Lo stesso autore ipotizza inoltre che un'importante sorgente di PCDD/F per la Nuova Zelanda sia dovuta al largo consumo di legna da ardere utilizzata per il riscaldamento domestico. Tali dati relativi vengono riportati in Tabella 18 (32).

Tabella 18. Concentrazione di PCDD/F espressa in fg I-TEQ/ m^3 rilevata in aree della Nuova Zelanda

Tipologia di sito	Valore minimo	Valore massimo	Valore medio
Siti di riferimento	0,77-1,21	1,75-7,48	1,39-3,43
Siti rurali	0,94-1,66	9,88-31,7	3,77-16,0
Siti urbani	6,15-16,5	40,8-262	28,0-83,9
Siti industriali	40,3	1170	317

In uno studio condotto nell'area urbana di Osaka (Giappone), caratterizzata da una elevata presenza di sorgenti di diossine, è stata determinata la concentrazione di PCDD/F presente nella deposizione atmosferica totale (frazione secca e umida), nel materiale particellare sospeso, nel materiale particellare depositato sulla superficie di un tetto e nel primo strato (0-5 cm) di terreno di un parco cittadino. I campionamenti sono stati effettuati in diversi anni, dal 1995 al 1998; le concentrazioni medie annuali di PCDD/F, espresse in TEQ, vengono riportate nella Tabella 19 (33). Dalla analisi della tabella si evidenzia una diminuzione del flusso di deposizione di circa il 60% considerando il periodo 1998 rispetto ai periodi precedenti.

Tabella 19. Concentrazione media di PCDD/F espressa in pg I-TEQ/(m^2d) rilevate nelle deposizioni (secche e umide) nell'area urbana di Osaka (Giappone)

Campionamento (anno e mese)	Valore minimo (media mensile)	Valore massimo (media mensile)	Valore medio (media annuale)
1995 (aprile-dicembre)	48	174	85
1996 (gennaio-aprile)	60	173	102
1997 (aprile-dicembre)	33	128	70
1998 (gennaio-settembre)	15	94	41

Anche nelle aree urbane italiane sono state rilevate presenze di microinquinanti organoclorurati; nella città di Roma (25) si sono riscontrati valori di PCDD/F nell'intervallo di 48-277 fg I-TEQ/ m^3 , similmente nella città di Firenze (34, 35) si sono riscontrati valori medi di PCDD/F di 120 fg I-TEQ/ m^3 .

Gli studi su altre aree urbane, precedentemente citati, riportano valori comparabili con queste nostre città: in particolare dati di aree urbane non europee, relativi a città giapponesi, indicano valori di concentrazione in aria di 0,24-2,6 pg I-TEQ/m³, mentre dati relativi alla Nuova Zelanda (32) indicano valori di 0,94-31,7 fg I-TEQ/m³ in siti rurali, di 6,15-262 fg I-TEQ/m³ in siti urbani e di 40,3-1170 fg I-TEQ/m³ in siti industriali.

La deposizione atmosferica totale rappresenta anch'essa un buon indice per la determinazione dei flussi di contaminazione ambientale; per quanto riguarda le PCDD/F sono stati riscontrati valori di flusso di deposizione di 50-80 pg I-TEQ/m²d nella città di Osaka. Tali valori sono simili a quelli rilevati in Tokyo e altre aree urbane giapponesi, mentre risultano significativamente maggiori di quelli rilevati in aree rurali o semirurali (6-30 pg I-TEQ/m²d) (33).

3.2. Presenza nel suolo

Nel già citato lavoro riferito ad alcuni Paesi Europei (24), sono state rilevate le concentrazioni medie di PCDD/F, espresse in termini di TEQ, in diversi suoli suddivisi in relazione al loro utilizzo. L'indagine ha evidenziato concentrazioni dell'ordine della frazione di ng fino alle decine di ng per kg di sostanza secca (ss). Per i suoli contaminati le concentrazioni rilevate risultano dell'ordine delle migliaia-decine di migliaia di ng per kg di sostanza secca (Tabella 20) (24).

Tabella 20. Concentrazione media di PCDD/F espressa in ng I-TEQ/kg ss rilevata in suoli a diversa destinazione, per alcuni Paesi della UE

Paese	Foresta	Pascolo	Arato	Rurale	Contaminato
Austria	0,01-64	1,6-14	—	—	332
Belgio	—	—	—	2,1-2,7	—
Finlandia	—	—	—	—	85000
Germania	10-30	0,004-30	0,03-25	1	30000
Grecia	—	—	—	—	1144
Irlanda	4,8	0,8-13	—	—	—
Italia	—	0,1-43	1,9-3,1	—	—
Lussemburgo	6,0	—	—	1,4	—
Olanda	—	—	—	2,2-17	98000
Spagna	—	—	—	0,1-8,4	—
Svezia	—	—	—	0,11	11446
Inghilterra	—	—	—	0,78-20	1585

Per quanto riguarda le concentrazioni di PCDD/F nelle già citate aree intorno all'impianto d'incenerimento nell'area di Oporto, nel caso delle concentrazioni rilevabili al suolo sono stati considerati siti sub-urbani, posti a differenti distanze dall'impianto stesso (da un minimo di 300 m ad un massimo di 2500 m) e siti rurali (uno a distanza di 1250 m e l'altro a distanza di 4500 m). I dati hanno evidenziato una concentrazione di PCDD/F più elevata nel sito sub-urbano posto a maggior distanza dallo stesso impianto. Nel suolo i livelli di PCDD/F riscontrati sono estremamente bassi, ad eccezione di un sito sub-urbano in cui il range di concentrazione è tipico di un'area urbana (16,39 ng/kg ss) (Tabella 21) (36).

Tabella 21. Concentrazione di PCDD/F espressa in ng/kg rilevata nei suoli nei pressi di un impianto di incenerimento di RSU ad Oporto (Portogallo)

Tipologia di sito	Valore minimo	Valore massimo
Siti sub-urbani (4 siti, tra 300 m e 2500 m dall'impianto)	2,04	16,39
Siti rurali (2 siti, 1250 m e 4500m dall'impianto)	0,79	0,85

Un monitoraggio nel suolo e in campioni vegetali (erba) effettuato in diversi siti nelle vicinanze di un impianto d'incenerimento per rifiuti urbani nei pressi di Barcellona (Spagna) (37, 38) ha evidenziato, per i campioni vegetali, una diminuzione del 38% della concentrazione di PCDD/F negli anni 1997-1998 e del 32% nel periodo precedente (1996-1997). Tale diminuzione è stata imputata ad interventi messi in atto per contenere le PCDD/F nelle emissioni, con generale progressiva diminuzione dei livelli ambientali di PCDD/F. Invece per quanto riguarda i livelli di PCDD/F rilevati nei campioni di suolo, non sono state evidenziate sostanziali variazioni; questo mancato accumulo poteva essere attribuito al decremento dei livelli di PCDD/F nell'atmosfera ottenuto grazie alla riduzione di altre fonti di emissione presenti nella medesima area. I livelli nel suolo risultavano compresi in un intervallo di concentrazione tra 0,06 e 127 ng I-TEQ/kg ss, con un valore medio di 9,95 ng I-TEQ/kg ss e una mediana di 4,8 ng I-TEQ/kg ss.

In Italia è stata rilevata la presenza di diossine nell'area della Laguna di Venezia, con particolare attenzione alla zona industriale di Porto Marghera. L'indagine è stata realizzata su 108 campioni di suolo prelevati, nel periodo agosto-settembre 1998, in 43 diversi siti di cui, 34 in area industriale a distanze decrescenti rispetto alla stessa, 4 in area di riferimento agricola, 5 in area urbana (città di Mestre) e 5 in suolo non coltivato. Le concentrazioni di PCDD/F rilevate nei campioni di suolo non coltivato, risultavano generalmente più elevate; questo indica che le pratiche agricole possono determinare una diluizione della concentrazione dei contaminanti. Va inoltre considerato che i *pattern* di PCDD/F, presenti nei suoli della fascia costiera della Laguna, sono influenzati da specifiche sorgenti di emissione industriale, mentre nel caso dei suoli di riferimento (*background*), si ha un'influenza dei meccanismi di trasporto a lunga distanza (Tabella 22) (39).

Tabella 22. Concentrazione media di PCDD/F espressa in ppt-ng/kg rilevata nei suoli nei pressi della zona industriale di Porto Marghera

Tipologia di sito	Media	Deviazione standard
Di riferimento (4 siti)	0,14	0,06
Urbano (5 siti)	3,6	2,6
Rurale non coltivato (5 siti)	20	16
200-1600 m dall'area industriale	13	11
2-15 km dall'area industriale	2,3	1,4

3.3. Presenza nei sedimenti

Per i sedimenti, considerando sempre le aree europee, le concentrazioni risultano essere tra alcuni ng I-TEQ/kg ss fino a 50 ng I-TEQ/kg ss; per i suoli contaminati le concentrazioni rilevate risultano notevolmente superiori, dell'ordine delle migliaia-decine di migliaia di ng/kg di suolo ss (Tabella 23) (24).

Tabella 23. Concentrazione media di PCDD/F espressa in ng/kg I-TEQ/kg ss rilevata in sedimenti di diversi Paesi della UE

Paese	Sito di riferimento	Sito urbano	Sito contaminato
Finlandia	0,7-100	–	80000
Germania	1,2-19	12-73	>1500
Italia	0,07-10	0,5-23	570
Lussemburgo	–	2,4-16	–
Olanda	1-10	–	4000
Spagna	–	0,2-57	–
Svezia	0,8-207	–	1692
Inghilterra	–	2-123	7410

L'area nei dintorni dell'impianto d'incenerimento di Oporto è stata utilizzata anche per l'analisi dei sedimenti; l'indagine ha evidenziato concentrazioni diverse a seconda della distanza dalla sorgente di emissione. La concentrazione maggiore si è rilevata nel sito di campionamento più lontano (1250 m) mentre il valore minimo nel sito intermedio (900 m). Anche per i sedimenti le concentrazioni sono piuttosto ridotte, comprese in un range che va da 0,54 a 3,39 ng/kg (26).

Indagini condotte su alcuni laghi inglesi (40) indicano che le velocità di sedimentazione sono generalmente variabili nel tempo; nel caso di carotaggi di un metro si sono rilevati valori inferiori a 0,3 cm/anno (alla base delle carote) fino a circa 0,9 cm/anno (alla superficie delle carote). I dati relativi al periodo datato al 1900, sono considerati come livello di *background*, tale scelta viene supportata dai dati relativi ad alcuni campioni di suolo che indicano consistenti incrementi di concentrazione di PCDD/F (es. da circa 30 ng/kg ss a più di 100 ng/kg ss) considerando l'ultimo secolo.

La posizione del livello di *background* databile al secolo scorso, è funzione anche delle condizioni locali; misure di concentrazioni di PCDD/F effettuate in campioni di sedimento lacustre (stato di New York) hanno evidenziato la presenza di tali composti già nel 1860. Incrementi rapidi di dette concentrazioni risultano successivamente al 1923; tornando a diminuire nell'intervallo 1979-1984 (41).

Recenti ricerche condotte sui sedimenti di fondo di alcuni laghi montani (42-47), miranti allo studio delle variazioni ambientali verificatesi negli ultimi 150 anni, hanno indicato risultati abbastanza discordanti circa le velocità di accumulo, rispetto a quanto riportato in (40). In particolare, le indagini condotte sui sedimenti di fondo di un lago del Tirolo (42) hanno evidenziato velocità di sedimentazioni più basse, rispetto a quanto riportato in letteratura sui laghi inglesi, e invece comparabili con quanto osservato, ad esempio, per alcuni laghi della regione canadese.

In questo studio sono state prelevate 4 carote di sedimento; le datazioni (^{210}Pb , ^{226}Ra e di ^{137}Cs) sono state effettuate su un solo campione. Per due di questi campioni i dati sono stati ottenuti per correlazione con il primo mentre le datazioni relativo all'ultimo sono state ottenute ipotizzando una velocità di sedimentazione costante e stimata dai dati relativi agli altri campioni e da dati di letteratura, sempre riferiti allo stesso sito (45). Per il calcolo del ^{210}Pb i dati sono stati elaborati utilizzando un modello di calcolo CRS (44) e l'attendibilità dei risultati verificata secondo i metodi di Appleby e altri (44-47). I risultati ottenuti per il campione datato (^{210}Pb) hanno identificato il periodo relativo all'anno 1986 a 2,25-2,5 cm di profondità e il 1963 a 3,75-4,0 cm, in eccellente accordo con i dati del ^{137}Cs e ^{241}Am . Al di sotto dei 4,5 cm (circa l'anno 1951) si osserva una velocità bassa, ma più uniforme. La media dei valori calcolata per questo

periodo è circa $0,0022 \pm 0,0002 \text{ g/cm}^2 \text{ anno}$ ($0,036 \text{ cm/anno}$), evidenziando un aumento di velocità stimato pari a $0,013 \text{ g/cm}^2 \text{ anno}$.

Dati estrapolati di $8,5 \text{ cm}$ sono stati calcolati ipotizzando una velocità di sedimentazione uniforme pari a $2,2 \pm 0,2 \text{ mg/cm}^2 \text{ anno}$. I dati relativi agli altri campioni sono stati estrapolati per correlazione, assumendo una velocità di sedimentazione costante e pari a $0,03 \text{ cm/anno}$ e $0,041 \text{ cm/anno}$, rispettivamente.

Dati confrontabili sono stati ottenuti dalle analisi effettuate sui sedimenti provenienti dai settori più profondi di un lago localizzato nella piana del Po, il lago di Candia, nell'ambito di uno studio condotto sulla paleoclimatologia degli ultimi 2000 anni (analisi geochemiche e di pigmenti fossili) (43). La cronologia a lungo termine è stata effettuata utilizzando ^{14}C , mentre la cronologia recente è stata stabilita per correlazione con alcuni campioni, sempre provenienti dal lago di Candia, e datati col ^{210}Pb . Le velocità di accumulo sono state definite dai profili di attività del ^{210}Pb e dalle età del ^{14}C . I dati ottenuti hanno indicato una velocità di sedimentazione durante il primo millennio di circa $0,03 \text{ cm/anno}$ (pari a circa $7 \text{ mg/cm}^2 \text{ anno}$) (dati ottenuti con le datazioni con il ^{14}C) e più di $0,2 \text{ cm/anno}$ ($17 \text{ mg/cm}^2 \text{ anno}$) del periodo moderno.

Relativamente alle velocità di sedimentazioni, uno studio condotto sulle variazioni climatiche (44), mediante datazioni radiometriche eseguite in 7 laghi montani europei, ha rilevato una velocità di $0,059 \text{ cm/anno}$ su siti con variazioni regolari e sedimentazione con valori compresi tra $0,097 \text{ cm/anno}$ e $0,010 \text{ cm/anno}$, su siti con variazioni irregolari.

Fenomeni di contaminazione da PCDD/F in sedimenti lacustri sono stati documentati, negli ultimi 20 anni, sia in Europa (40) che in nord America (41, 42, 48). Come noto le PCDD/F sono generalmente persistenti nell'ambiente (27), essendo, in quello lacustre in particolare, assenti significativi fenomeni di degradazione (49).

Le indagini condotte sui sedimenti lacustri vengono per lo più effettuate su campioni di sedimento superficiale, per il confronto con il contributo atmosferico eventualmente in atto, ma anche su carote di sedimento al fine di studiare la sequenza storica degli apporti che, pur essendo generalmente di origine atmosferica (sorgenti di emissioni da combustione), sono associati a meccanismi di trasporto generalmente complessi (40).

Da segnalare che, affinché il prelievo produca campioni significativi e rappresentativi del sedimento che si intende esaminare, le procedure devono essere condotte con metodi capaci di mantenere intatta la superficie acqua-sedimento. Questo al fine di garantire che il materiale particellare fine e i contaminanti ad esso eventualmente associati, non vengano persi dalla superficie del sedimento durante le fasi di prelievo del campione stesso.

Prima del campionamento, in particolare nelle indagini finalizzate alla ricostruzione della cronologia degli apporti, sarebbe importante conoscere, per il sito esaminato, le velocità di accumulo del sedimento.

La letteratura riporta l'uso del ^{210}Pb , supportato dai dati di cronostratigrafia ottenuti dalle analisi condotte sul ^{137}Cs e ^{241}Am (radionuclidi artificiali), per datare i sedimenti recenti, essendo considerato il ^{210}Pb uno dei mezzi standard per la datazione di sedimenti lacustri degli ultimi 100-150 anni (45-47); il metodo è particolarmente affidabile quando le velocità di accumulo rimangono relativamente uniformi nel periodo considerato. In ogni sito le concentrazioni di $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ declinano in modo esponenziale con la profondità a una velocità che è inversamente proporzionale alla velocità di sedimentazione.

Nei siti caratterizzati da variazioni significative, naturali e/o antropiche, la velocità di sedimentazioni può variare nei tempi recenti, causando anomalie significative nell'andamento della concentrazione di ^{210}Pb rispetto alla profondità. Per spiegare tali deviazioni vengono utilizzati diversi modelli e l'accuratezza dei risultati ottenuti dalle datazioni condotte con il ^{210}Pb dipenderà, caso per caso, dalla validità del modello usato. Esso viene generalmente testato utilizzando dati indipendenti, come quelli relativi alle ricadute di radionuclidi artificiali (^{137}Cs e

²⁴¹Am dei test nucleari e dell'incidente di Chernobyl, 1986). Nell'effettuare le datazioni con il ²¹⁰Pb si incontrano problemi diversi, tra i quali vanno inclusi anche tutti quei fenomeni, naturali o meno, che incidono sulla uniformità delle velocità di accumulo, come è il caso dell'impatto prodotta dagli effetti stagionali sull'uniformità della velocità di accumulo (dei sedimenti) nei laghi montani: durante l'inverno, infatti, la colonna d'acqua rimane isolata dal naturale flusso atmosferico di ²¹⁰Pb (45-47).

Per studiare l'evoluzione del tempo della contaminazione da PCDD/F nei sedimenti lacustri, (40) hanno effettuato carotaggi di circa 1 m, studiando l'evoluzione dei sedimenti accumulati a partire dal 1900, secondo quanto determinato su sezioni dei campioni datati con metodi radiometrici. Nei casi considerati nel citato lavoro, come sedimenti recenti (relativi agli ultimi 5 anni) venivano considerati quelli contenuti nei primi 3 cm di sedimento; nei campioni analizzati le concentrazioni di PCDD/F variavano da 500 a 5000 ng/kg di peso secco. Inoltre venivano individuati, per i siti esaminati, origini diverse delle diossine: apporto essenzialmente dall'atmosfera e contributo da sorgenti lontane o locali (forse acque reflue e/o di trattamento delle industrie).

Altre indagini condotte sui sedimenti di fondo di un lago svizzero indicano invece che, almeno nel caso in esame, diossine e furani vengono prodotti da processi di combustione (di rifiuti sia industriali sia urbani) (48) e come tali sono associabili a fenomeni di trasporto atmosferico. Questo meccanismo troverebbe conferma anche nella similarità osservata tra diossine e furani rinvenuti nel materiale particellare sospeso e nei sedimenti lacustri (49, 50).

Alcuni autori (40) evidenziano una correlazione tra le concentrazioni totali di PCDD/F nei pesci e nel sedimento, tale correlazione risulta più evidente considerando solo gli isomeri 2,3,7,8 sostituiti, presenti nei sedimenti e in campioni di pesce. In particolare, indagini condotte nell'ambito di uno studio ambientale sul lago Ontario sembrano indicare che la biodisponibilità per i pesci possa essere controllata principalmente da fattori cinetici: primariamente dal trasporto operato dal sedimento e dal solido sospeso nella catena alimentare e, secondariamente, dal contatto diretto degli organismi con il sedimento (48).

Relativamente ai meccanismi che regolano la mobilità delle diossine in ambienti lacustri (49) hanno dimostrato che la percentuale di PCDD/F legate alla sostanza organica disciolta (*Dissolved Organic Material*, DOM), aumenta con l'aumento del carbonio organico disciolto (*Dissolved Organic Carbon*, DOC). La concentrazione dei composti clorurati organici sembra, inoltre, essere correlata con il contenuto di lipidi dei sedimenti, che assumono pertanto un ruolo di primaria importanza nella distribuzione areale della contaminazione (51).

Un'indagine effettuata sui sedimenti lungo il corso del Po alla confluenza dei suoi affluenti (52) ha evidenziato come non si siano rilevate differenze sostanziali nelle concentrazioni di PCDD/F tra campioni prelevati in mesi estivi e invernali. I valori medi rilevati in questi due periodi sono risultati in un intervallo da 121 a 736 ng/kg di sedimento secco; tali valori possono assimilarsi a quelli rilevati in zone remote e considerati come valori di fondo. Nello stesso studio si riportano i valori dei diversi congeneri di PCDD/F, rilevati nei dieci diversi punti considerati. I profili di concentrazioni sono risultati simili per tutti i campioni con una presenza prevalente di ottacloro dibenzodiossina seguita dalla eptacloro dibenzodiossina. Il rapporto leggermente più alto di PCDD/F, rispetto a quello atteso da contributi atmosferici, suggeriscono che l'apporto sia dovuto prevalentemente a scarichi domestici di acque reflue.

Altre indagini effettuate sui sedimenti di laguna riportano valori di PCDD/F di 2,31-34,8 ng I-TEQ/kg (zona: Venezia-Pellestrina) e di 0,21-4,11 ng I-TEQ/kg (zona: Orbetello).

3.4. Considerazioni

I dati sopra riportati evidenziano come sia riscontrabile una grossa variabilità nelle concentrazioni tra diversi siti sia nella stessa area sia da Paese a Paese. Questo può essere imputato anche ad un effetto della variabilità delle condizioni meteorologiche e dell'andamento stagionale (36), che in alcuni casi ha evidenziato una concentrazione fino a 9 volte maggiore in inverno piuttosto che in estate (28, 29). Si può desumere quindi che la concentrazione totale di PCDD/F nell'aria ambiente sia influenzata non solo dalle emissioni locali e regionali, che possono risultare costanti nel tempo, ma anche dalla variabilità stagionale. Anche il suolo può essere utilizzato per descrivere esposizioni a lungo-termine, mentre la vegetazione può costituire uno strumento di monitoraggio per le brevi esposizioni a questi composti organici. Secondo alcuni autori la variabilità riscontrabile nelle concentrazioni in aria potrebbe essere imputabile alla riduzione dell'estensione dello strato di rimescolamento atmosferico durante i mesi invernali che comporta una minore diluizione delle emissioni inquinanti e quindi una loro più alta concentrazione in aria. Un'altra spiegazione può essere quella che nel periodo estivo si può avere una rapida degradazione fotochimica delle diossine in fase gassosa nella troposfera, mentre la stessa reazione è inibita durante i mesi invernali per la ridotta intensità della radiazione solare (28, 29, 36). Secondo l'OMS (9) una presenza in aria di 300 fg I-TEQ/m³ è un indice di sorgenti locali di emissione che devono essere identificate e controllate.

I dati riscontrati in letteratura consentono di avere un quadro di riferimento su quelli che sono i valori presenti normalmente nell'ambiente; inoltre indicano come l'impostazione di una campagna di rilevamento deve considerare le PCDD/F presenti sia nel materiale particellare sospeso che nella deposizione atmosferica totale.

I valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare (DM 25 ottobre 1999, n. 471 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del DL.vo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modifiche e integrazioni") sono:

- Sito ad uso verde pubblico, privato e residenziale: $1 * 10^{-5}$ (10 ng/kg)
- Sito ad uso commerciale e industriale: $1 * 10^{-4}$ (100 ng/kg)

I limiti massimi tollerabili per miscele di PCDD/F sono riportati in uno dei Pareri della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (53) sui PCDD/F (Tabella 24) (in unità I-TEQ dell'US EPA 1987 EPA, Tabella 25).

Tabella 24. Limiti massimi tollerabili per miscele di PCDD/F secondo il Parere della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale

Comparto	Concentrazione
Aria	
ambiente esterno	$40 * 10^{-15}$ g/m ³ (40 fg/m ³)
ambiente di lavoro	$120 * 10^{-15}$ g/m ³ (120 fg/m ³)
Terreno	
Coltivabile	$10 * 10^{-12}$ g/g (10 ng/kg)
non coltivabile	$50 * 10^{-12}$ g/g (50 ng/kg)
per uso industriale	$250 * 10^{-12}$ g/g (250 ng/kg)

Tabella 25. Fattori di tossicità equivalente americani (*Toxicity Equivalence Factor*, TEF) dell'US EPA 1987 per diversi congeneri

Congeneri	TEF
2,3,7,8 Tetraclorodibenzodiossina (T ₄ CDD)	1
altre T ₄ CDD	0,01
2,3,7,8 Pentaclorodibenzodiossina (P ₅ CDD)	0,5
altre P ₅ CDD	0,005
2,3,7,8 Esaclorodibenzodiossina (H ₆ CDD)	0,04
altre H ₆ CDD	0,0004
2,3,7,8 Eptaclorodibenzodiossina (H ₇ CDD)	0,001
altre H ₇ CDD	0,00001
Ottaclorodibenzodiossina (O ₈ CDD)	0
2,3,7,8 Tetraclorodibenzofurano (T ₄ CDF)	0,1
altri T ₄ CDF	0,001
2,3,7,8 Pentaclorodibenzofurano (P ₅ CDF)	0,1
altri P ₅ CDF	0,001
2,3,7,8 Esaclorodibenzofurano (H ₆ CDF)	0,01
altri H ₆ CDF	0,0001
2,3,7,8 Eptaclorodibenzofurano (H ₇ CDF)	0,001
altri H ₇ CDF	0,00001
Ottaclorodibenzofurano (O ₈ CDF)	0

4. PRESENZA DI METALLI PESANTI NELL'AMBIENTE

In generale la presenza di metalli nell'ambiente è associata al materiale particellare presente nell'aria atmosferica, sotto forma di metallo, sale, ossido od anche sotto forma gassosa (composti metallorganici) che, a sua volta, può risultare adsorbita nel materiale particellare sospeso.

Nella presente indagine sono stati selezionati un certo numero di metalli (arsenico, mercurio, nichel, piombo, rame, vanadio) sia perché ritenuti particolarmente significativi dal punto di vista igienico-sanitario, sia per le possibili sorgenti di emissione presenti nell'area in studio.

Molte sono le sorgenti di metalli sia naturali che antropogeniche; tra queste un ruolo importante lo rivestono le combustioni di prodotti petroliferi e di rifiuti. La concentrazione di metalli negli oli combustibili varia considerevolmente in relazione al tipo di greggio di provenienza; tuttavia la concentrazione di questi nelle emissioni è da porre in relazione anche alle modalità di combustione, alle temperature di combustione, alla presenza e tipologia di sistemi di abbattimento.

Di seguito si riportano i fattori di emissione espressi in grammi di inquinante per tonnellata di olio combustibile pesante, utilizzato in caldaie con potenzialità >300 MW, considerando una emissione di 50 mg/m³, per i seguenti metalli:

- arsenico 0,5 g/t
- cadmio 1,0 g/t
- nichel 35 g/t

Anche i trasporti stradali contribuiscono alla emissione di metalli anche nel caso di autoveicoli che utilizzano combustibili senza additivi contenenti piombo; la loro provenienza è attribuibile anche alla corrosione di parti metalliche che vengono a contatto con i gas di scarico e a processi *cracking* dei residui più pesanti dell'olio di lubrificazione. Analogamente si hanno emissioni anche dall'utilizzo di carburanti, quali oli combustibili, per motori marini.

Comparazioni effettuate tra aree a diverse intensità di traffico autoveicolare, non hanno evidenziato sostanziali differenze per quanto riguarda l'arsenico e il cadmio, questo porterebbe a considerare di scarsa influenza l'apporto da sorgenti mobili.

L'incenerimento di rifiuti contribuisce anch'esso, in relazione alla composizione dei rifiuti e alle tecnologie di combustione e di abbattimento utilizzate, alla immissione di metalli pesanti nell'ambiente.

Le concentrazioni tipiche di fondo nell'aria ambiente, rilevate in diversi Paesi europei, vengono di seguito riassunte nella Tabella 26, considerando diverse tipologie di aree (10).

Tabella 26. Concentrazioni tipiche di fondo nell'aria ambiente, rilevate in diversi Paesi europei, per diverse tipologie di aree

Inquinante ng/m ³	Aree rurali	Aree urbane	Aree industriali
Arsenico	0,2-1,4	0,5-2,5	2-20
Cadmio	0,1-0,4	0,2-2	2-20
Nichel	0,5-2	2-20	10-100

Relativamente a diversi Paesi europei, le deposizioni atmosferiche totali (campionate con deposimetro di tipo *bulk*) degli stessi inquinanti per le medesime tipologie di aree, sono riportate in Tabella 27.

Tabella 27. Deposizioni atmosferiche totali (prelievo *bulk*) degli inquinanti per tipologie di aree

Inquinante $mg/(m^2d)$	Aree rurali	Aree urbane	Aree industriali
Arsenico	0,082-0,43	0,22-3,4	2,0-4,3
Cadmio	0,011-0,14	0,16-0,90	0,12-4,6
Nichel	0,03-4,3	5-11	2,3-22

In particolari aree sono stati riscontrati anche valori considerevolmente alti nelle vicinanze di industrie chimiche, produzione di coke, lavorazioni di metalli: per l'arsenico ($\mu g/m^2d$ 126-43); per il cadmio ($\mu g/m^2d$ 11,3-40,7), per il nichel ($\mu g/m^2d$ 53-76).

Per diverse specie metalliche e semi-metalliche l'OMS (9) ha indicato valori guida, o valori di rischio unitario, per orientare le valutazioni di qualità dell'aria. I primi, espressi in termini di concentrazioni, si riferiscono a sostanze potenzialmente non cancerogene; i secondi valgono per le sostanze di riconosciuta attività cancerogena ed esprimono il rischio individuale di persone esposte dalla nascita, e per la durata della vita, alla concentrazione di $1\mu g/m^3$ dell'agente di rischio (vedi Tabella 2).

I valori di concentrazione limite accettabili dei metalli nel suolo e nel sottosuolo, considerati nello studio, riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare (DM 25 ottobre 1999, n. 471 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art. 17 del DL.vo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modifiche e integrazioni") (54). La Tabella 28 riporta i valori relativi al suolo.

Tabella 28. Valori di concentrazione limite (mg/kg ss) accettabili dei metalli nel suolo nei siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e in quelli ad uso commerciale e industriale

Metallo	Siti ad uso (mg/kg ss)	
	Verde pubblico, privato e residenziale	Uso commerciale e industriale
Cadmio	2	15
Mercurio	1	5
Nichel	120	500
Piombo	100	1000
Rame	120	600
Vanadio	90	250

Dati sulla presenza di inquinanti inorganici nei sedimenti sono reperibili in una serie di lavori scientifici; considerando il particolare fine dei rilevamenti effettuati in questo studio (valutazione di apporti di metalli da ricadute atmosferiche) detti dati sono utili solo per avere una indicazione di carattere del tutto generale. Si riportano in Tabella 29 (55) e 30 (56) a scopo indicativo alcuni dati di letteratura.

Tabella 29. Studio dei sedimenti del fiume Volturno (Campania): valori medi di concentrazione ($\mu g/g$ ss) di metalli, determinati su di uno strato di sedimento di 3 cm, aliquota del campione 50 g

Inquinante	Sito 1	Sito 2	Sito 3	Sito 4	Sito 5	Sito 6
Cadmio	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
Piombo	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5
Rame	1,8	5,6	5,3	4,5	2,1	1,9

**Tabella 30. Studio dei sedimenti del fiume Tevere (Lazio, area urbana di Roma):
valori di concentrazione di metalli ($\mu\text{g/g ss}$)**

Inquinante	Castel Giubileo	Ponte Tor di Quinto	Ponte Sublicio	Ponte della Magliana
Cadmio	1,76	1,21	1,39	1,75
Nichel	18,5	15,5	22,8	20,5
Rame	41,9	35,3	28,0	44,6
Vanadio	98,7	50,8	67,4	57,0

5. FONTI DELLE PRINCIPALI EMISSIONI NELL'AREA DI MANTOVA

Le emissioni da processi tecnologici possono essere distinte in funzione della tipologia delle fonti secondo lo schema esemplificativo della Figura 1.

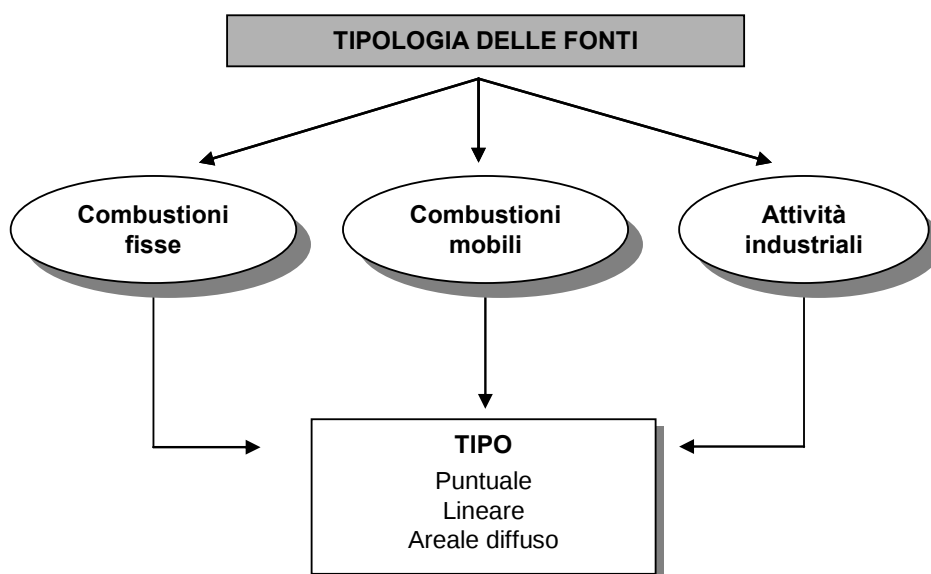


Figura 1. Schema esemplificativo della tipologia delle fonti di emissione

Le attività relative alle sorgenti emissive possono variare nel tempo con un intervallo a volte anche molto ampio legato, ad esempio, a particolari esigenze lavorative (per le utenze civili è correlato al riscaldamento domestico, al traffico veicolare, ecc.). Considerata la difficoltà nell'acquisire e gestire i dettagli della variabilità di un'emissione, può risultare sufficiente caratterizzare la sorgente in questione in termini di emissione globale riferita all'anno e di emissione di punta riferita al periodo significativo più breve (giorno o ora).

Descrizioni più dettagliate dell'attività di una sorgente o di gruppi di sorgenti omogenee possono essere ottenute con l'impiego di fattori quali:

- *fattore di durata dell'attività nel corso dell'anno*
che individua il periodo di funzionamento globale;
- *fattore di funzionamento*
che individua il periodo di funzionamento in tempi brevi (es. le ore di attività del riscaldamento durante il giorno, quelle di attività del traffico o di un ciclo industriale discontinuo);
- *fattore di utilizzo*
che identifica la potenzialità con cui è attiva la sorgente ed è utile nell'identificare l'emissione di punta.

La conoscenza dell'evoluzione del binomio emissioni-qualità dell'aria consente di predisporre strumenti di prevenzione di situazioni rischiose e di individuare eventuali aree degradate che necessitano di specifici interventi.

In merito alla analisi della situazione pregressa nell'area oggetto dello studio, si sono prese in considerazione le attività industriali e artigiane maggiormente significative presenti sul territorio. Alcuni dati relativi alle emissioni sono stati desunti dall'esame della documentazione presente presso la Provincia, la ASL e l'ARPA, altri sono stati richiesti direttamente alle aziende o rilevati presso la Camera di Commercio di Mantova.

I dati messi a disposizione dagli Enti Locali sono essenzialmente relativi alle autorizzazioni dell'ex DM 203/88 e agli autocontrolli periodici delle emissioni effettuati in base agli obblighi derivanti dallo stesso DM, la cui cadenza è fissata nelle delibere autorizzative.

Nel caso in cui i dati di emissione sono risultati assenti per la stima delle emissioni e dei fattori di emissione, si è fatto riferimento ai valori massimi di portata e di emissioni previsti e autorizzati dalla specifica delibera.

Nell'area di Mantova sono presenti:

- fonti di emissione industriali (attività industriali e artigianali-industriali);
- sorgenti mobili (emissioni veicolari);
- inceneritore dell'Ospedale di Mantova;

5.1. Fonti di emissione industriali

L'indice che traccia l'attività della sorgente è di norma la potenzialità produttiva, per stimare l'emissione di punta, l'attività della sorgente può essere modulata tramite l'utilizzo di opportuni indici che quantificano l'utilizzo della potenzialità produttiva. Le sorgenti possono essere sia di tipo puntiforme, sia di tipo diffuso; al primo tipo appartengono le emissioni localizzabili in un punto definibile e convogliato (camino) mentre al secondo sono riconducibili le emissioni provenienti da stoccaggi, trasferimenti, manipolazioni di materiali o da sfiati, spurghi, evaporazioni lungo le linee di processo (es. idrocarburi volatili emessi da sorgenti diffuse nelle raffinerie o polveri emesse da cumuli di materiali stoccati sui piazzali).

Una ricerca effettuata nell'ambito di una Convenzione tra il Comune di Mantova e l'ISS (1) ha evidenziato come, considerando le cinque grosse industrie presenti, si abbiano nell'area di Mantova n. 58 sorgenti stazionarie di emissioni; tre di queste sono situate all'interno della città e le altre nella zona industriale.

Nella Tabella 31 si riporta un elenco delle attività industriali e artigiane con la loro localizzazione sul territorio e classificazione; vengono successivamente riportati anche i punti di emissione (indicati con i numeri assegnati loro dalla Provincia o dalla Regione) di ogni attività censita e, quando reperita, l'altezza geometrica delle relative emissioni (altezza del camino) (Tabelle 32 e 33).

Nel corso dello studio sono state raggruppate le emissioni di inquinanti dai camini nei diversi anni presi in considerazione (anni 1995, 1996, 1997, 1998, 1999); i dati sono relativi ai periodici autocontrolli effettuati dalle aziende come stabilito dalla normativa relativa alle delibere autorizzative.

Tabella 31. Elenco delle attività industriali e artigianali-industriali rilevanti presenti sul territorio oggetto dello studio

Ditta	Comune/ località	Controllo emissione	Attività
Attività industriali			
Belleli Energy srl	Mantova	Annuale	Costruzione componenti (scambiatori, caldaie, ecc.)
Cartiere Burgo	Mantova	Semestrale	Produzione carta
Enichem	Mantova	Semestrale (inceneritore)	Chimica e petrolochimica
EniPower (dal 01/02/2000)	Mantova	Semestrale	Produzione energia elettrica
IES Italiana Energia e Servizi	Mantova	Annuale	Raffinazione petrolio
Tea	Mantova	Annuale	Produzione energia elettrica
Attività artigianali-industriali			
Bima Di Bisi & C.	zona industriale Cosvim	Annuale	Galvanica
Bpm Carrelli Industriali	Mantova	Annuale	Carrozzeria
Carrozzeria 2000	Mantova	Biennale	Carrozzeria
Carrozzeria Balzanelli	Virgiliana	Annuale	Carrozzeria
Carrozzeria Borgonovi	Mantova	Annuale	Carrozzeria
Carrozzeria Santoni e Tabacca	Mantova	Annuale	Carrozzeria
Plastindustria Mantovana	Mantova	Biennale	Produzione manufatti plastici
Safety Systems	S. Giorgio di Mantova	Biennale	Produzione cartellonistica e segnaletica
Smaltiriva SpA (Praxair Surface Technologies)	Valdaro	Annuale	Metalmeccanica
Sogefi Filtration SpA	Mantova	Annuale	Produzione filtri
Veman snc	Mantova	Biennale	Verniciatura

Tabella 32. Punti di emissione, tipologia di impianto che genera l'emissione, altezze dei camini della attività industriali rilevanti di cui alla Tabella 31 per ordine di attività industriale o artigianale-industriale

Ditta e attività	Tipo impianti	Punti di emissione	Altezza camini (m)
Enichem			
Chimica-petrochimica	Produzione fenolo e acetone	1	21
		2	30
		3	20
		5	20
	Produzione alchifenoli	7	14
		8	3
		10	50
		11	40
	Produzione cicloesano e cicloesanone	12	40
		13	25
		14	12
		15	12
	Produzione polistirene cristallo e antiurto	16	14
		17	20
		18	6
		19	15
		20	30

segue

continua

Ditta e attività	Tipo impianti	Punti di emissione	Altezza camini (m)
Enichem (continua)			
Chimica-petrochimica	Produzione polimero: stirene, acrilonitrile antiurto, copolimero stirene/acrilonitrile	23	30
		24	25
		25	25
		26	25
		27	3
	Produzione di polistirolo	30	8
		31	3
		32	16
		33	19
		34	19
	Parco serbatoi	37	10
		38	9
		39	13
	Forno inceneritore	43	30
	Laboratorio ricerca e impianti pilota	44	12
	Centrale termoelettrica (gestione terminata il 31/01/2000)	46	45
		47	45
		48	85
	Caldaia a vapore	49	40
EniPower			
Produzione energia elettrica	Centrali termoelettriche		
IES			
Raffinazione petrolio	Topping	1	50
	Platforming	2	50
		3	50
		5	30,5
	Desolforazione	6	75
	Caldaie	7	30,8
	Visbreaking	8	36,6
	Vacuum	9	55,5
	Thermal		
Belleli			
Meccanica pesante	Rivestimenti anticorrosivi	1	11
		2	7
	Finiture e spedizioni	3	21
		4	14
		5	16
	Caldareria	6	24
		7	24
		8	10
	Verniciatura	9	15
	Scambiatori	10	15
Tea			
Produzione energia elettrica	Centrale cogenerazione per teleriscaldamento	1	45
	Centrale termica per teleriscaldamento	2	19
	Forno crematorio	3	6
Cartiere Burgo			
Centrali termoelettriche	Produzione energia elettrica	1	70
Inceneritore	Cogenerazione		

Tabella 33. Punti di emissione, tipo di impianto che genera l'emissione, altezze dei camini delle attività di cui alla Tabella 31 per ordine di numero di punti di emissione

Ditta e attività	Tipo impianti	Punti di emissione	Altezza camini (m)
Bpm Carrelli Industriali			
Carrozzeria	Impianto verniciatura	1	—
	Impianto verniciatura	2	
	Impianto saldatura	3	
	Impianto saldatura	4	
	Impianto saldatura	5	
	Impianto saldatura	6	
	Impianto saldatura	7	
Veman snc			
Verniciatura	Imp. vern. (fosfatazione)	1	—
	Imp. vern. a polvere	2	
	Imp verniciatura a polvere	4	
	Imp verniciatura a polvere	4A	
	Forno di polimerizzazione	5	
	Imp. sverniciatura ganci	6	
Bima Di Bisi & C.			
Galvanica	Impianto elettrochimico	1	—
	Impianto elettrochimico	2	
	Impianto elettrochimico	3	
	Impianto elettrochimico	4	
	Impianto estrusione PVC	5	
Carrozzeria Borgonovi			
Carrozzeria	Impianto verniciatura	1	—
		2	
		3	
Carrozzeria Balzanelli			
Carrozzeria	Impianto verniciatura	1	—
Carrozzeria 2000			
Carrozzeria	Impianto verniciatura	1	—
Carrozzeria Santoni e Tavacca			
Carrozzeria	Impianto verniciatura	1	—
Plastindustria mantovana			
Produzione manufatti plastici	Impianto stampaggio materiale plastico	1	—
Safety Systems			
Produzione cartellonistica e segnaletica	Impianto verniciatura	1	—
Smaltiriva SpA (Praxair Surface Technologies)			
Metalmeccanica	Impianto sgrassaggio con alogenoderivati	12	—
Sogefi Filtration SpA			
Produzione filtri	Impianto assemblaggio filtri	32	—

Relativamente ad una sorgente emissiva, distinguiamo diverse serie di dati: relativi alla potenzialità della sorgente stessa, al livello di utilizzo, ai fattori di emissione, includendo in questi ultimi anche l'efficienza dei sistemi di depurazione. Generalmente i dati relativi alla potenzialità e al livello di utilizzo vengono ricavati dai dati reperiti per lo studio, mentre per i fattori di emissione si fa sempre riferimento ad una base bibliografica con la quale (ove noti) sono stati confrontare quelli ricavati dai dati reali di rilevamento delle emissioni.

Dette sorgenti, a livello di centrali termoelettriche e utenze industriali e civili (ospedali, impianti di teleriscaldamento), sono generalmente trattate come puntiformi con caratteristiche specifiche di emissione (quota, portata, temperatura e velocità dei fumi). Il peso della sorgente viene generalmente indicato dalla potenzialità termica installata che determina, attraverso fattori di rendimento e di utilizzo della sorgente stessa, il consumo di combustibile. I dati relativi al combustibile, consentono, attraverso l'utilizzo dei fattori di emissione, la stima della massa di inquinanti emessa nel tempo.

Le utenze civili per il riscaldamento sono generalmente trattate come sorgenti areali, con potenzialità termiche installate diffuse in modo più o meno addensato sul territorio. Nel caso non si disponga delle potenzialità termiche installate o dei consumi di combustibile sufficientemente disaggregati per zona di interesse, è possibile desumere queste informazioni da altri parametri quali la volumetria abitativa o la popolazione residente e i consumi energetici specifici.

5.2. Sorgenti mobili

La valutazione delle emissioni associate al traffico automobilistico è particolarmente complessa; numerosi sono gli aspetti, generalmente di non facile determinazione pratica, che intervengono tanto nella definizione dell'emissione per ogni singola tipologia di veicolo tanto nella collocazione spaziale dell'attività della sorgente.

Generalmente si distinguono due tipologie di traffico: la prima, assimilata ad una sorgente di tipo lineare e riferibile agli assi viari di grande comunicazione (autostrade e strade ad elevato volume di traffico) mentre la seconda, assimilata ad una sorgente areale, prende in considerazione regimi di traffico diffuso tipici delle aree urbane. Nel primo caso l'attività della sorgente viene descritta dal volume di traffico e dalla lunghezza del tratto stradale, mentre nel secondo caso dal numero dei veicoli circolanti e dalla loro percorrenza media.

La forza della sorgente, in termini di fattori di emissione, dipende per ambedue i casi dalla tipologia dei veicoli e dalle condizioni di marcia. Sia al volume di traffico, sia al numero dei veicoli circolanti risulta importante associare la distribuzione della tipologia dei veicoli e la velocità media che ne caratterizza la marcia.

La necessità di differenziare il volume di traffico per categorie di veicoli nasce dal fatto che le singole categorie possono essere caratterizzate da fattori di emissioni anche molto diversi tra loro, a seconda del tipo di motore (cilindrata, diesel, benzina) e dell'anno di costruzione dello stesso, in quanto associato alle varie normative che ne hanno regolamentato le emissioni (57).

5.3. Ospedale di Mantova: inceneritore

Relativamente a detto impianto, la cui attività è cessata nel 1986, le notizie sono state raccolte da un documento della ASL PMIP UO Chimica di Mantova. Per l'anno di messa in esercizio viene riportato "di antica data, non nota" e parimenti non nota risulta la potenzialità. Alla fine del 1985 (3/12/1985) veniva approvata una delibera regionale su detto impianto, nella quale si

riportano delle prescrizioni transitorie (ex art. 28 LR 7/6/80) da attuare entro sei mesi, che consistono nel dotare l'impianto di una camera secondaria di postcombustione tale da garantire:

- temperatura $> 1050^{\circ}\text{C}$;
- tempo di permanenza $> 2\text{ s}$;
- ossigeno libero $> 6\% \text{ v/v}$;
- sistemi di rilevamento e registrazione della temperatura;
- sistemi di rilevamento in uscita alla camera secondaria di buon andamento della combustione e di analisi e registrazione di ossigeno;
- blocco dell'alimentazione per temperatura $< 1000^{\circ}\text{C}$.
- limiti alle emissioni diversificati a seconda della potenzialità (inferiore o superiore a 500 kg/h).

5.4. Stima delle emissioni di diossine e furani

Come precedentemente riportato, i fattori di emissione stimano la quantità di inquinanti riferiti alla attività unitaria della sorgente (kg di combustibile utilizzato, km percorso, tonnellata di prodotto industriale o di materia prima lavorata). I dati per il calcolo dei fattori di emissione delle diverse tipologie di inquinanti, derivano da intense campagne di misura condotte su fonti rappresentative (diverse tipologie di impianti nelle diverse condizioni di esercizio). Le fonti più qualificate per questo tipo di informazioni sono rappresentate dai lavori della EPA (16) raccolti in banche dati disponibili anche su Internet e il progetto CORINAIR (*CORe INventory AIR*) (58), il quale rappresenta un riferimento standard per i paesi della UE.

In particolare sono stati utilizzati i fattori di emissione relativi ai combustibili: gasolio e olio combustibile ricavati, rispettivamente, dal progetto CORINAIR e dallo studio sopra citato. Per effettuare la stima delle emissioni prodotte, ci si è avvalsi dei dati forniti dalla Enichem in merito alla quantità annua di combustibile utilizzato e alla sua tipologia. Per la stima delle emissioni di PCDD/F prodotte dalla centrale termoelettrica della Enichem, ci si è avvalsi sia dei fattori di emissioni derivanti dagli organismi menzionati, sia di quelli calcolati nello studio condotto dall'Associazione Italiana di Ingegneria Chimica sulla centrale termoelettrica di Brindisi ("Caratterizzazione e Valutazione Comparata delle Emissioni Derivanti dall'Utilizzo di Orimulsion 400, Carbone e Olio ATZ"), al quale hanno partecipato, oltre all'ISS, anche i seguenti organismi di ricerca: ANPA, CNR, PMP (Presidio Multizonale di Prevenzione di Brindisi), ISC (Istituto Sperimentale Combustibili di Milano) (21). Relativamente al combustibile definito come "combustibile liquido non convenzionale", si è attribuito lo stesso fattore di emissione dell'olio combustibile, avendone (presumibilmente) caratteristiche simili e considerando anche i rilevamenti delle emissioni effettuate da Enichem su detta caldaia.

Le attività delle sorgenti possono variare nel tempo (nel corso dell'anno o del giorno) in un intervallo a volte anche molto ampio. Ad esempio le utenze civili per il riscaldamento e il traffico veicolare passano dalla completa inattività a periodi di attività molto intensa. L'emissione globale riferita a tutto l'anno, quindi, può non rappresentare adeguatamente la situazione di una zona in cui, per qualche ragione, una grande attività della sorgente si concentra in periodi molto brevi; inquinanti ad effetto acuto possono così sviluppare in quei periodi situazioni pericolose, anche se il dato di emissione globale riferito all'anno risulta modesto.

In generale, considerata l'estrema difficoltà nell'acquisire e gestire i dettagli della variabilità di una emissione, per lo scopo dell'inventario-archivio delle emissioni, può risultare sufficiente caratterizzare la sorgente in questione in termini di emissione globale riferita all'anno e di emissione di punta riferita al periodo significativo più breve (giorno o ora).

Nel nostro caso, ricordando che le emissioni annue possono essere calcolate a partire dalla conoscenza del consumo di combustibile e dei fattori di emissione, come prodotto tra i due fattori.

Nella Tabella 34 sono riportate le stime di emissione annua di PCDD/F prodotte dallo stabilimento Enichem negli anni 1989-2001.

Tabella 34. Enichem: stima di massima delle emissioni di PCDD/F dalle centrali termoelettriche 4, 5, 6 applicando un fattore di emissione in (ng I-TEQ/t_{COMB}) di 31,5-36 (eccetto che per il gas naturale)

Tipologia combustibile utilizzato	Portata t/a	Stima PCDD/F emesse	
		ng I-TEQ/a	mg I-TEQ/a
1989			
Olio combustibile			
ATZ	4294	248472-283968	} 1,561-1,784
BTZ	3594	248472-283968	
Combustibile non convenzionale	41656	1312157-1499609	
Gasolio	—	—	—
Gas naturale	192142	—	—
1990			
Olio combustibile			
ATZ	38223	1254834-1434096	} 2,350-2,685
BTZ	1613	1254834-1434096	
Combustibile non convenzionale	34760	1094953-1251375	
Gasolio	—	—	—
Gas naturale	171038	—	—
1991			
Olio combustibile			
ATZ	29287	1037925-1186200	} 2,124-2,428
BTZ	3663	1037925-1186200	
Combustibile non convenzionale	34479	1086094-1241251	
Gasolio	14	441-504	}
Gas naturale	182126	—	
1992			
Olio combustibile			
ATZ	47544	1659011-1896012	} 2,609-2,982
BTZ	5123	1659011-1896012	
Combustibile non convenzionale	30146	949606-1085264	
Gasolio	20	630-720	}
Gas naturale	167414	—	
1993			
Olio combustibile			
ATZ	71724	2350089-2685816	} 3,663-4,186
BTZ	2882	2350089-2685816	
Combustibile non convenzionale	31642	1312157-1499609	
Gasolio	17	535,5-612	}
Gas naturale	154072	—	
1994			
Olio combustibile			
ATZ	77527	2633274-3009456	} 3,729-4,261
BTZ	6069	2633274-3009456	
Combustibile non convenzionale	36657	1094953-1251375	
Gasolio	17	535,5-612	}
Gas naturale	150245	—	

segue

continua

Tipologia combustibile utilizzato	Portata t/a	Stima PCDD/F emesse	
		ng I-TEQ/a	mg I-TEQ/a
1995			
Olio combustibile			
ATZ	59911	2190542-2503476	} 3,277-3,746
BTZ	9630	2190542-2503476	
Combustibile non convenzionale	32913	1086094-1241251	
Gasolio	26	819-936	—
Gas naturale	141207	—	—
1996			
Olio combustibile			
ATZ	94782	2998643-3427020	} 3,949-4,513
BTZ	413	2998643-3427020	
Combustibile non convenzionale	30820	949606-1085264	
Gasolio	16	504-576	—
Gas naturale	115531	—	—
1997			
Olio combustibile			
MTZ	116262	3825266-4371732	} 4,743-5,421
BTZ	5175	3825266-4371732	
Combustibile non convenzionale	29107	916871 - 1047852	
Gasolio	29	913,5-1044	—
Gas naturale + OFF GAS	109681	—	—
1998			
Olio combustibile			
MTZ	104843	3673058-4197780	} 4,574-5,227
BTZ	11762	3673058-4197780	
Combustibile non convenzionale	28574	900081 - 1028664	
Gasolio	30	945-1080	—
Gas naturale + OFF GAS	115871	—	—
1999			
Olio combustibile			
MTZ	54314	2662254-3042576	} 3,556-4,064
BTZ	30202	2662254-3042576	
Combustibile non convenzionale	28355	893183 - 1020780	
Gasolio	25	787,5-900	—
Gas naturale + OFF GAS	141866	—	—
2000*			
Olio combustibile			
MTZ	56100	1767150-2019600	} 2,640-3,017
BTZ	—	1767150-2019600	
Combustibile non convenzionale	27700	872550 - 997200	
Gasolio	—	—	—
Gas naturale + OFF GAS	—	—	—
2001			
Olio combustibile			
MTZ	55418	3057516-3494304	} 3,060-3,490
BTZ	41846	3057516-3494304	
Combustibile non convenzionale	—	—	
Gasolio	20	630-720	—
Gas naturale + OFF GAS	144275	—	—

* Dati relativi al totale calcolato fino al mese di ottobre

Nella Tabella 35 si riportano le quantità di rifiuti inceneriti, la concentrazione di emissione di PCDD/F e le portate rilevate nel corso degli anni 1989-1999 per l'impianto di incenerimento Enichem.

Tabella 35. Enichem: quantità di rifiuti inceneriti, concentrazione alla emissione e portate delle emissioni dell'impianto di incenerimento* (punto di emissione 43)

Quantità di rifiuti trattati		Emissione PCDD/F	Portata emissione
Anno	t/a	ng I-TEQ/Nm ³	Nm ³ /h
1989	2057	Dati mancanti	Dati mancanti
1990	Dati mancanti	Dati mancanti	Dati mancanti
1991	Dati mancanti	Dati mancanti	Dati mancanti
1992	Dati mancanti	Dati mancanti	Dati mancanti
1993	Dati mancanti	5,843	18300
1994	Dati mancanti	0,694	13700
1995	Dati mancanti	0,097	9056
1996	2293	0,097	18410
1997	2297	0,097	17700-26950**
1998	2041	0,006	21345
1999	1976	0,008	16230

* Valori desunti dalla documentazione raccolta e stimati considerando 275 giorni di marcia dell'impianto per anno. I valori vengono riportati in termini di I-TEQ, considerando in prima approssimazione (cautelativamente e in assenza di dati più dettagliati) per gli anni 1993-1997, ogni gruppo di isomeri posizionali come se fosse attribuibile *in toto* al congenere 2,3,7,8 T₄CDD sostituito.

** dati ricavati dal censimento CORINAIR

I dati relativi alle PCDD/F per lo stesso impianto vengono riassunti, per comodità di lettura, nella Tabella 36.

La Tabella 37 riporta i giorni di funzionamento per gli impianti di incenerimento e per le centrali termoelettriche dell'Enichem negli anni 2000 e 2001.

Tabella 36. Enichem: stima delle emissioni annue dell'impianto di incenerimento e dei fattori di emissione (dai dati riportati in Tabella 35) (punto di emissione 43)

Anno	Emissione annua stimata mg I-TEQ/a	Fattori di emissione stimati µg I-TEQ/t _{rifiuto}
1993	706	—
1994	63	—
1995	5,8	—
1996	12	5,1
1997	9,6-15*	4,2-6,3*
1998	0,84	0,41
1999	0,85	0,43

- valori stimati dai dati censimento CORINAIR

Tabella 37. Enichem: giorni per mese di funzionamento degli impianti (forno inceneritore e caldaie)

Mese	Anno 2000			Anno 2001		
	Giorno di avvio	Giorno di fermo	N. giorni di funzionamento	Giorno di avvio	Giorno di fermo	N. giorni di funzionamento
Inceneritore						
Gennaio	5	—	32	—	—	—
Febbraio	—	5	—	—	—	—
Marzo	1	—	35	—	—	—
Aprile	—	4	—	—	—	—
Maggio	5	—	56	4	—	41
Giugno	—	30	—	—	13	—
Luglio	—	—	—	—	—	—
Agosto	—	—	—	—	—	—
Settembre	6	25	20	—	—	—
Ottobre	4	—	49	—	—	—
Novembre	—	22	—	—	—	—
Dicembre	6	22	17	—	—	—
Totale			209			41
Caldaia 6						
Gennaio	1	—	31	1	—	31
Febbraio	—	—	29	—	—	28
Marzo	—	—	31	—	—	31
Aprile	—	—	30	—	—	30
Maggio	—	—	31	—	4	4
Giugno	—	—	30	8	30	23
Luglio	—	—	31	—	—	—
Agosto	—	—	31	—	—	—
Settembre	—	29	29	—	—	—
Ottobre	21	—	10	—	—	—
Novembre	—	—	30	—	—	—
Dicembre	—	31	31	—	—	—
Totale			344			147
Caldaia 5						
Gennaio	1	—	31	1	—	31
Febbraio	—	—	29	—	—	28
Marzo	—	—	31	—	—	31
Aprile	—	—	30	—	—	30
Maggio	—	30	30	—	—	31
Giugno	—	—	—	—	8	8
	—	—	—	28	30	3
Luglio	—	—	—	—	—	—
Agosto	21	22	2	—	—	—
Settembre	18	19	2	—	—	—
	25	—	5	—	—	—
Ottobre	—	—	31	—	—	—
Novembre	—	—	30	—	—	—
Dicembre	—	31	31	—	—	—
Totale			252			162

segue

continua

Mese	Anno 2000			Anno 2001		
	Giorno di avvio	Giorno di fermo	N. giorni di funzionamento	Giorno di avvio	Giorno di fermo	N. giorni di funzionamento
Caldaia 4						
Gennaio	1	1	1	—	—	—
Febbraio	—	—	—	—	—	—
Marzo	28	29	2	—	—	—
Aprile	—	—	—	—	—	—
Maggio	—	—	—	3	—	28
Giugno	—	—	—	—	28	28
Luglio	—	—	—	—	—	—
Agosto	—	—	—	—	—	—
Settembre	29	—	30	—	—	—
Ottobre	—	21	21	—	—	—
Novembre	—	—	—	—	—	—
Dicembre	—	—	—	—	—	—
Totale			54			56

6. RILEVAMENTI SUL CAMPO

Per la definizione di un piano di campionamento si è proceduto essenzialmente mediante:

- Indagine preliminare finalizzata alla individuazione, raccolta ed esame dei dati storici e dei dati base dell'area in studio.
- Definizione e conoscenza delle dimensioni dell'area di interesse e suddivisione della stessa in funzione della presunta contaminazione.
- Scelta dei metodi di campionamento (definizione delle procedure di prelievo, conservazione e stoccaggio dei campioni, identificazione dei potenziali problemi logistici e definizione delle necessarie precauzioni di stoccaggio, trasporto, trattamento).
- Preparazione del piano di analisi (metodiche di preparazione del campione, di estrazione, di purificazione, di concentrazione, di analisi; metodologie di elaborazione e restituzione del dato, ecc.).

Per avviare uno studio di caratterizzazione del sito in studio e delle possibili contaminazioni di grande utilità risulta la raccolta di tutti i dati e le informazioni già esistenti, le informazioni storiche costituiscono, infatti, la base per definire i requisiti della successiva indagine (suddivisione dell'area), a tale proposito risulta di grande utilità la descrizione dettagliata delle attività svolte nell'area.

I diversi sopralluoghi effettuati sul sito, con la guida e la collaborazione della ASL e dell'ARPA, hanno consentito di identificare le aree maggiormente interessanti per lo studio anche alla luce delle precedenti indagini effettuate (1, 2) e per un intorno significativo dipendente dalle dimensioni del sito.

L'elaborazione dei dati dell'attività preliminare sopra descritta ha consentito di definire l'estensione dell'area contaminata e ha permesso una preventiva suddivisione del sito in subaree aventi caratteristiche sostanzialmente omogenee e tali da orientare le successive scelte riguardanti le sostanze inquinanti da ricercare e i relativi metodi di campionamento da adottare.

Nell'ambito del presente studio sono state previste campagne di rilevamento sul campo, riguardanti diversi comparti ambientali, nel corso delle quali si è proceduto alla determinazione di microinquinanti organici e inorganici al fine di stimarne i livelli nell'ambiente.

Le sorgenti di microinquinanti nell'area in studio sono molteplici e legate essenzialmente ai processi di combustione, quali quelli che si hanno nel campo industriale, nel campo dello smaltimento dei rifiuti, nel campo del recupero energetico. A queste vanno aggiunte sorgenti di origine non industriale e naturale quali: attività domestiche che comportano combustioni, emissioni da veicoli a motore, incendi boschivi, ecc.

In genere i livelli di contaminazione da microinquinanti nell'ambiente sono influenzati non solo dalle emissioni locali, ma presentano anche una variabilità stagionale, caratterizzata dall'incremento dei flussi di emissione nelle stagioni "fredde" e dalle situazioni meteorologiche che condizionano in maniera differente la dispersione degli inquinanti nell'atmosfera.

La Figura 1 riporta i posizionamenti delle stazioni di campionamento, i siti di prelievo di campioni di aria ambiente e suolo.

In Tabella 38 si riassumono i siti individuati per la matrice aria e per la matrice suolo.

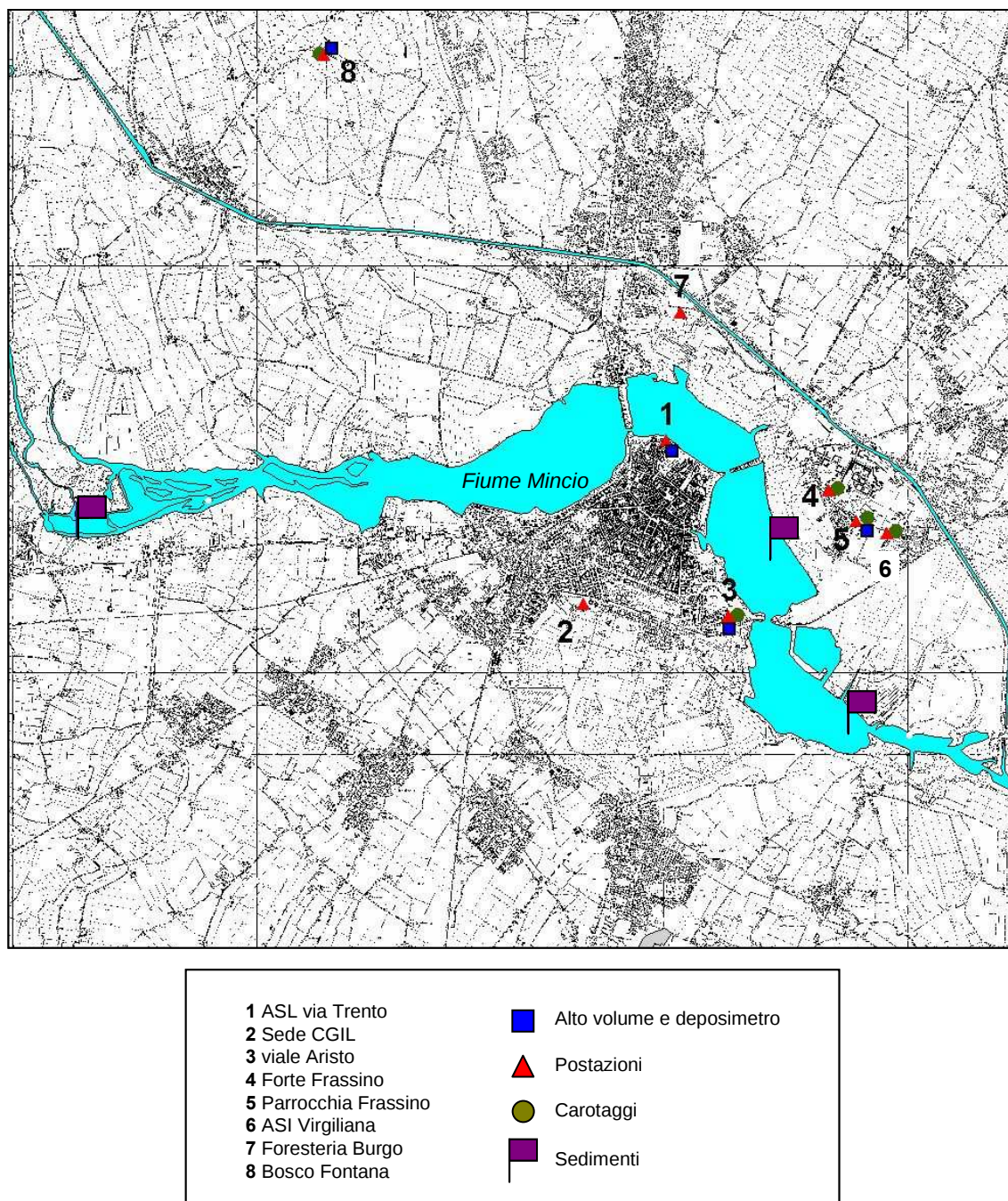


Figura 1. Planimetria dell'area con tutte le postazioni e i tutti siti di campionamento

Tabella 38. Siti di campionamento e campionatori utilizzati

Postazione	Deposimetro (deposizione atmosferica totale)	Dicotomo (PM ₁₀ – PM _{2,5})	Alto volume (PM ₁₀ – HV)	Suolo
1 ASL via Trento	X		X	
2 sede CGIL	X			
3 viale Ariosto	X	X*	X	X (area parco antistante)
4 forte Frassino	X			X
5 Parrocchia Frassino	X		X	X (area antistante il vicino cimitero)
6 Virgilia ASI	X	X		X
7 foresteria Burgo	X			
8 Bosco della Fontana	X		X*	X

* prelevatori posizionati dalla seconda campagna di rilevamento.

6.1. Comparto aria ambiente

Per quanto riguarda gli inquinanti da rilevare nell'ambiente va ricordato che il DM 20/5/91 "Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria" riporta:

La valutazione della qualità dell'aria, oltre ad essere effettuata attraverso la misura della concentrazione di specie di interesse per l'ambiente atmosferico mediante sensori automatici, può essere anche eseguita mediante misure di concentrazione di specie che, per la loro natura, non possono essere determinate in modo automatico".

E ancora:

"Le specie per le quali si richiedono procedure non automatiche sono di varia natura ed interessano sia le reti urbane che industriali e remote nonché gli inquinanti primari e secondari".

Questo comporta che si mettano in atto rilevamenti mirati a specifici inquinanti a seconda delle condizioni locali; tra questi i microinquinanti, sia organici che inorganici, sono da considerare con molta attenzione.

Una sempre maggiore attenzione viene data oltre che agli inquinanti "convenzionali", che trovano già posto in diversi programmi di controllo, a quelli definiti come *hazardous air pollutant* ovvero i contaminanti presenti nell'atmosfera a livello di tracce e con caratteristiche di tossicità e persistenza tale da rappresentare un rischio per la salute umana e l'ambiente.

Per quanto riguarda la tipologia degli inquinanti di notevole interesse sono gli inquinanti che si possono rilevare nel materiale particolato sospeso. Diversi studi evidenziano una distribuzione di inquinanti, quali metalli pesanti, PCDD/F e IPA, prevalentemente nel materiale particolato a minore granulometria (PM₁₀ e PM_{2,5}). Altro aspetto che emerge da detti studi è che la deposizione atmosferica totale rappresenta anch'essa un buon indice per la determinazione dei flussi di contaminazione ambientale, con variazioni consistenti, anche in questo caso, tra zone con caratteristiche diverse e tra le diverse stagioni.

In considerazione di quanto sopra si è ritenuto di primaria importanza procedere al rilevamento degli inquinanti significativi nel materiale particolato sia sospeso a minore granulometria PM₁₀ (frazione toracica) che in quello sedimentabile. In tal modo è stato possibile avere indicazioni sul flusso di deposizione al suolo di microinquinanti organici e sulla presenza degli stessi nel materiale particolato sospeso a bassa granulometria. La Direttiva europea

99/30/UE recepita in Italia dal Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60/2002 ha stabilito il nuovo valore limite per la protezione della salute umana per il piombo.

L'UE ha recentemente emanato una direttiva (37) che stabilisce valori "obiettivo",¹ tra gli altri, per arsenico, cadmio, mercurio e nichel, benzo(a)pirene BaP, nel PM₁₀; tali sostanze compaiono nella lista dell'allegato I della direttiva quadro per la qualità dell'aria. Gli stati membri sono tenuti a prendere tutte le misure necessarie, che non comportino costi sproporzionati, per rispettare tali valori obiettivo entro il 31/12/2012.

6.1.1. Scelta delle postazioni di rilevamento

L'area di interesse è stata individuata considerando la presenza degli insediamenti industriali, quella degli insediamenti abitativi e le aree maggiormente interessate alle ricadute delle emissioni industriali. Sono state individuate le seguenti zone:

- zona caratterizzata da alta densità abitativa;
- zona caratterizzata da bassa densità abitativa;
- zona caratterizzata da media densità abitativa e maggiormente interessata alle ricadute industriali rispetto alle precedenti;
- zone caratterizzate dalla vicinanza all'area industriale.

Inoltre una postazione è stata collocata in una località vicina alla cartiera Burgo in considerazione anche della messa in funzione del nuovo impianto di recupero energetico da residui di cartiera. Un'ultima postazione è stata scelta, come riferimento (bianco – zona remota), in un'area non direttamente influenzata dalle sorgenti di emissioni industriali e/o urbane, al fine di poter disporre di dati utili per le successive valutazioni di contaminazione dell'area. La scelta di dettaglio, nella collocazione puntuale dei singoli campionatori all'interno delle rispettive subaree, è stata effettuata tenendo conto anche di fattori logistici quali: possibilità di utilizzo di energia elettrica, assenza di sorgenti puntuali locali che possano perturbare il campione, protezione da vandalismi e/o manomissioni.

Per quanto riguarda la matrice *aria*, i siti individuati sono stati:

- *Postazione 1*
zona da alta densità abitativa; posizionamento: tetto della ASL, via Trento.
- *Postazione 2*
zona a bassa densità abitativa; posizionamento: tetto della sede CGIL.
- *Postazione 3*
zona con media densità abitativa e maggiormente interessata alle ricadute industriali; posizionamento: stazione di rilevamento dell'ARPA di viale Ariosto.
- *Postazione 4*
zona caratterizzate dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: interno dell'area di Forte Frassino.
- *Postazione 5*
zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: cortile della Parrocchia di Frassino.
- *Postazione 6*
zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: cortile Azienda Servizi Informativi (ASI), piazza S. Isidoro n. 5, frazione Virgiliana.

¹ "Concentrazione nell'aria ambiente fissata onde evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e l'ambiente nel suo complesso che dovrà essere raggiunta per quanto possibile nel corso di un dato periodo".

- *Postazione 7*
zona caratterizzata dalla vicinanza della Cartiera Burgo; posizionamento: nel giardino della foresteria della Burgo.
- *Postazione 8*
zona caratterizzata dalla assenza di insediamenti; posizionamento: Bosco della Fontana, nei pressi della stazione di rilevamento della ARPA di Mantova.

6.1.2. Inquinanti rilevati e metodologie di rilevamento

Gli inquinanti per i quali è stata determinata la concentrazione in aria sono:

- *metalli pesanti:*
 - arsenico (As)
 - cadmio (Cd),
 - mercurio (Hg),
 - nichel (Ni),
 - piombo (Pb),
 - rame (Cu).
 - vanadio (V);
- *IPA;*
- *PCDD-PCDF.*

La scelta delle modalità operative (tipologia di inquinanti, metodologie di rilevamento e analitiche, strumentazione utilizzata) è stata effettuata considerando sia metodiche di legge sia, in alcuni casi, metodi e tipi di strumenti che pur non essendo riportati nella normativa sono ormai di uso comune e verificati o riconosciuti validi dagli operatori del settore.

Tuttavia, in generale, si sono seguite le indicazioni reperibili nella legislazione nazionale:

- DPCM 28 marzo 1983 “Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni di esposizione relativi ad inquinanti dell’aria nell’ambiente esterno”.
- DPR 24 maggio 1988 n. 203 “Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell’aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell’art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183”.
- DM 20 maggio 1991 “Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell’aria” e del DM 25/11/94 “Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994”.

Inoltre si sono considerati anche gli aggiornamenti normativi e in particolare il recepimento della direttiva 96/62/CE con il DL.vo 351/99 e della direttiva 99/30/CE con il Decreto 2/4/02 n. 60.

Riassumendo, sono state impiegate le seguenti metodologie e apparecchiature:

- *Materiale particellare PM_{10} e $PM_{2,5}$*
Prelievo mediante campionatori a basso volume (tipo “dicotomo”, Figura 2), su detti campioni si procederà alla determinazione ponderale del materiale particellare, alla determinazione della concentrazione dei metalli.

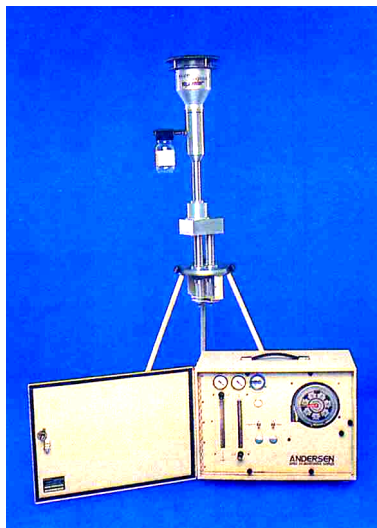


Figura 2. Prelevatore tipo "dicotomo"

– *Materiale particellare PM_{10}*

Prelievo mediante campionatori ad alto volume (Figura 3), su detti campioni si procederà alla determinazione ponderale del materiale particellare, alla determinazione della concentrazione degli IPA e dei PCDD/PCDF.



Figura 3. Prelevatore tipo "alto volume"

– *Deposizione atmosferica totale*

Prelievo mediante deposimetri di tipo "bulk" (Figura 4) in vetro aventi diametro nella sezione di deposito di 30 cm, su detti campioni si procederà alla determinazione ponderale del materiale particellare sia insolubile che solubile, alla determinazione della concentrazione dei metalli, degli IPA e delle PCDD/PCDF.

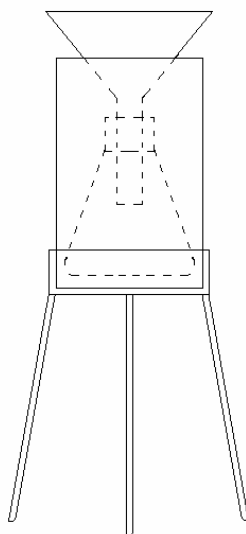


Figura 4. Prelevatore tipo "Deposimetro"

I rilevamenti si sono protratti per un intero anno al fine di poter valutare un largo arco temporale e tener conto di eventuali variazioni stagionali dovute a condizioni meteorologiche e/o legate alla variabilità dei cicli delle lavorazioni industriali e delle attività civili (riscaldamenti, flussi di traffico, ecc.). La serie dei prelievi sarà diversificata a seconda dei campionamenti: mensile per i campionatori deposimetrici e stagionale, a campagne, per gli altri sistemi di prelievo. In particolare per quanto riguarda l'analisi dei PCDD/F e IPA si sono effettuate, viste le concentrazioni attese, l'analisi per gruppi di campioni omogenei, relativi alla stessa sub-area, pur mantenendo la possibilità di verificare andamenti stagionali di detti inquinanti.

La scelta di dettaglio, nella collocazione puntuale dei singoli prelevatori, all'interno delle rispettive subaree, è stata effettuata tenendo conto anche di fattori logistici (possibilità di utilizzo di energia elettrica, assenza di sorgenti puntuali locali che possano perturbare il campione, protezione da vandalismi e/o manomissioni); di seguito si riportano i posizionamenti delle stazioni di campionamento.

6.1.3. Campionamento aria ambiente

6.1.3.1. Materiale particellare sospeso

Il prelievo di materiale particellare, per la misura della concentrazione di massa, è stato effettuato mediante campionatori ad alto volume con testa di prelievo PM_{10} omnidirezionale (conforme alle specifiche della US EPA), operante a una portata complessiva di $1,13 \text{ m}^3/\text{min}$. I filtri utilizzati sono in fibra di vetro senza leganti chimici, e con prelevatori di tipo dicotomo con testa di prelievo PM_{10} omnidirezionale operante ad una portata complessiva di $16,7 \text{ L/min}$ per il PM_{10} e $1,67 \text{ L/min}$ per il $PM_{2,5}$. Le particelle sono state raccolte separatamente su filtri in PTFE (porosità $2 \mu\text{m}$ e diametro 37 mm). Sono stati effettuati prelievi della durata di 24 h , intervallati nell'arco di dodici mesi.

La determinazione della concentrazione di massa del materiale particellare raccolto è stata eseguita con metodo gravimetrico manuale, mediante una bilancia Sartorius con risoluzione di 1 µg, dopo condizionamento dei filtri per almeno 48 h a 50 ± 5 RH%, 293 ± 1 K (in camera a T e RH% controllate).

6.1.3.1.1. Materiale particellare sospeso PM_{10} e $PM_{2,5}$

In Appendice A (Tabelle A1-A4) si riportano i risultati dei rilevamenti per le postazioni: n. 1 ASL via Trento, n. 3 viale Ariosto, n. 5 Parrocchia Frassino, n. 6 Virgiliana ASI. In particolare nella stazione n. 3 e 6 è stato rilevato anche il materiale particellare $PM_{2,5}$ e la concentrazione dei metalli.

6.1.3.1.2. Metalli nel materiale particellare sospeso PM_{10} e $PM_{2,5}$

I campioni da sottoporre alle determinazioni analitiche sono stati raccolti su filtri in PTFE mediante prelievi di 24 ore ripetuti ogni cinque giorni per ciascuna delle frazioni $PM_{2,5}$ e PM_{10} . I campioni sono stati sottoposti alle procedure di mineralizzazione, dopo eliminazione dell'anello in polimetilpentene che mantiene in tensione la membrana di PTFE.

La mineralizzazione, necessaria per solubilizzare i metalli contenuti nel materiale particellare, è stata eseguita mediante un forno a microonde sottopressione: il filtro è stato introdotto in speciali inserti di quarzo, muniti di tappo, con 1 ml di acido nitrico concentrato; il tutto è stato inserito in contenitori di PTFE nei quali erano stati preventivamente aggiunti 5 ml di una soluzione di perossido di idrogeno al 5%. La funzione del perossido di idrogeno è quella di assorbire i fumi acidi di ossidi di azoto, provenienti dalla riduzione dell'acido nitrico, e sottrarli all'equilibrio. Le analisi di controllo del perossido di idrogeno utilizzato per lo scopo sopra descritto, non hanno rilevato presenza di metalli superiore al limite di rivelabilità strumentale.

La tecnica analitica usata per la determinazione dei metalli è stata la Spettroscopia di Assorbimento Atomico. È stata verificata l'accuratezza e la precisione dei metodi di analisi attraverso l'utilizzo di un materiale di riferimento certificato dal NIST (SRM 1648-*Urban particulate matter*). Sono stati inoltre stimati il limite di rivelabilità e di quantificazione per i diversi metalli analizzati attraverso la valutazione del valore medio e della deviazione standard dei valori di assorbanza ottenuti dall'analisi di dieci bianchi, trattando filtri non esposti allo stesso modo dei filtri esposti. Il metodo analitico seguito nel presente studio non differisce in modo significativo da quello recentemente messo a punto dal CEN (59).

Nelle Tabella A5 e A6 sono riportati i valori delle concentrazioni medie di 24 ore di arsenico, cadmio, nichel, piombo, vanadio, mercurio e rame rivelati nel $PM_{2,5}$ e PM_{10} per gli anni 2000 e 2001; mentre nella Tabella A7 si riportano le medie mensili.

Nella Tabella 39 sono riportati i valori medi annuali delle concentrazioni di materiale particellare e di metalli, rilevati nelle postazioni equipaggiate con prelevatore dicotomo per le diverse tipologie di aree (rurali, urbane, industriali).

Tabella 39. Valori medi annuali, delle concentrazioni di materiale particellare e di metalli per diverse tipologie di aree

Area	PM_{10}	$PM_{2,5}$	Cd PM_{10}	Cd $PM_{2,5}$	Ni PM_{10}	Ni $PM_{2,5}$	Pb PM_{10}	Pb $PM_{2,5}$	Cu PM_{10}	Cu $PM_{2,5}$
	($\mu g/m^3$)	($\mu g/m^3$)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)
ASI	41	31	0,43	0,35	3,8	2,6	23	18	6,1	3,1
Ariosto	44	25	0,45	0,33	3,9	2,6	26	17	9,9	3,9

Le medie relative alla postazione ASI sono relative a periodi di campionamento intervallati nell'intero anno

6.1.3.1.3. PCDD/F nel materiale particolato sospeso PM₁₀

Le determinazioni delle PCDD/F sono state effettuate sul materiale particolato PM₁₀. I campioni sono stati prelevati su filtri in fibra di vetro 20 x 25 cm, con un campionatore d'aria ad alto volume, con testa di prelievo PM₁₀ operante a una portata di 1,13 m³/min.

I dati relativi alle concentrazioni di PCDD/F nel materiale particolato (PM₁₀), sono stati espressi come equivalenti tossicologici della 2,3,7,8-T₄CDD (I-TEQ), riferite all'aria (fg/m³) e al materiale particolato (ng/g). Nelle Tabelle 40-42 si riportano le concentrazioni rilevate nella campagna estiva stagione "calda" e invernale stagione "fredda" e quelle rilevate nella "stagione intermedia".

Tabella 40. Campagna stagione calda: concentrazioni medie di PCDD/F nella frazione PM₁₀ del materiale particolato (esprese in fg/m³ e in fg I-TEQ/m³)*

PCDD/F	fg/m ³	ng/g
Postazione 1 (ASL via Trento)		
PCDD + PCDF (totali)	231	7,48
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	5,02	0,16
Postazione 3 (viale Ariosto)		
PCDD + PCDF (totali)	213	4,48
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	6,24	0,13
Postazione 5 (Parrocchia Frassino)		
PCDD + PCDF (totali)	242	5,28
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	6,09	0,13
Postazione 8 (Bosco della Fontana) (differita al giugno-luglio 2001, 7 campioni giornalieri)		
PCDD + PCDF (totali)	134	4,13
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	4,42	0,14

* 9 campioni giornalieri, rilevati negli stessi giorni nelle diverse postazioni, periodo rilevamento: agosto-settembre 2000 (giorni utilizzati per formare il campione rappresentativo del periodo: 10/8/00, 15/8/00, 20/8/00, 24/8/00, 27/8/00, 17/9/00, 20/9/00, 25/9/00, 28/9/00).

Tabella 41. Campagna stagione fredda: concentrazioni medie di PCDD/F nella frazione PM₁₀ del materiale particolato (esprese in fg/m³ e in fg I-TEQ/m³)*

PCDD/F	fg/m ³	ng/g
Postazione 1 (ASL via Trento)		
PCDD + PCDF (totali)	1206	43,1
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	63	2,25
Postazione 3 (viale Ariosto)		
PCDD + PCDF (totali)	1107	31,4
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	62	1,76
Postazione 5 (Parrocchia Frassino)		
PCDD + PCDF (totali)	1482	42,9
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	75	2,17
Postazione 8 (Bosco della Fontana)		
PCDD + PCDF (totali)	3136	55,0
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	195	3,42

* 4 campioni giornalieri, rilevati negli stessi giorni nelle diverse postazioni, periodo rilevamento: dicembre 2000 - gennaio 2001 (giorni utilizzati per formare il campione rappresentativo del periodo: 17/12/00, 4/1/01, 9/1/01, 14/1/01).

Tabella 42. Campagna stagione intermedia: concentrazioni medie di PCDD/F nella frazione PM₁₀ del materiale particolato (esprese in fg/m³ e in fg I-TEQ/m³)*

PCDD/F	fg/m ³	ng/g
Postazione 1 (ASL via Trento)		
PCDD + PCDF (totali)	144	5,89
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	4,70	0,19
Postazione 3 (viale Ariosto)		
PCDD + PCDF (totali)	150	3,32
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	4,88	0,11
Postazione 5 (Parrocchia Frassino)		
PCDD + PCDF (totali)	171	4,21
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	5,32	0,13
Postazione 8 (Bosco della Fontana)		
PCDD + PCDF (totali)	268	7,42
PCDD + PCDF (tossicità equivalente)	7,18	0,20

* 9 campioni giornalieri, rilevati nei giorni 3/4/01, 7/4/01, 11/4/01, 21/4/01, 26/4/01, 1/5/01, 7/5/01, 22/5/01, 27/5/01.

6.1.3.1.4. IPA nel materiale particolato sospeso PM₁₀

Le determinazioni di IPA sono state effettuate sul materiale particolato PM₁₀, secondo il metodo di riferimento definito dalla normativa italiana (DM 25/11/1994). I campioni sono stati prelevati su filtri in fibra di vetro 20 x 25 cm, con un campionatore d'aria ad alto volume, con testa di prelievo PM₁₀ operante a una portata di 1,13 m³/min. Nella Tabella 43 si riportano le concentrazioni rilevate nella campagna estiva stagione "calda" e invernale stagione "fredda".

Tabella 43. Concentrazione media di IPA espressa in ng/m³ nel materiale particolato PM₁₀ nelle campagne stagionali estiva e invernale

IPA	Post. 1 ASL v. Trento	Post. 3 v.le Ariosto	Post. 5 Parrocchia Frassino	Post. 8 Bosco della Fontana
Stagione calda*				
benzo(a)pirene	< 0,1	< 0,1	0,4	—
benz(a)antracene	< 0,1	< 0,1	0,3	—
benzo(b+k+j) fluorantene	< 0,2	< 0,2	0,2	—
Indeno(1,2,3-cd)pirene	< 0,1	< 0,1	0,2	—
Dibenzo(a,h)antracene	< 0,2	< 0,2	<0,2	—
Dibenzo(a,l)pirene	< 0,4	< 0,4	<0,4	—
Dibenzo(a,e)pirene	< 1,0	< 1,0	<1,0	—
Dibenzo(a,i)pirene	< 1,0	< 1,0	<1,0	—
Dibenzo(a,h)pirene	< 0,4	< 0,4	<0,4	—
Stagione fredda**				
benzo(a)pirene	< 0,1	0,2	0,8	0,8
benz(a)antracene	< 0,1	0,2	0,2	0,2
benzo(b+k+j) fluorantene	< 0,2	0,6	0,8	0,8
Indeno(1,2,3-cd)pirene	< 0,1	0,2	0,6	0,6
Dibenzo(a,h)antracene	< 0,2	0,1	0,2	0,4
Dibenzo(a,l)pirene	< 0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Dibenzo(a,e)pirene	< 1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dibenzo(a,i)pirene	< 1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dibenzo(a,h)pirene	< 0,4	<0,4	<0,4	<0,4

* Periodo rilevamento: 10/8/00, 15/8/00, 20/8/00, 24/8/00, 27/8/00, 17/9/00, 20/9/00, 25/9/00, 28/9/00.

** Periodo rilevamento: 17/12/00, 4/1/01, 9/1/01, 14/1/01.

6.1.3.2. Deposizioni atmosferiche totali

La deposizione atmosferica totale può essere campionata mediante deposimetri di tipo *bulk*, che raccoglie in uno stesso recipiente sia la deposizione atmosferica totale secca che quella umida, o raccogliendo separatamente i due tipi di deposizione atmosferica totale mediante campionatori *wet & dry*.

Nel presente studio i campioni di deposizione atmosferica totale sono stati raccolti per circa dieci mesi (agosto 2000 - aprile 2001), per valutare gli andamenti stagionali dovuti a condizioni meteorologiche e alla variabilità delle attività civili (riscaldamento, flussi di traffico, ecc.). Il prelievo è stato effettuato mediante deposimetro di tipo *bulk*. La durata di ciascun prelievo è stata mediamente di 30 giorni. Al termine di ogni prelievo, il campione è stato filtrato su filtri in esteri misti di cellulosa (diametro 47 mm, porosità 0,8 µm) per la determinazione dei metalli o su filtri in fibra di vetro (diametro 47 mm, porosità 1 µm) per la determinazione delle PCDD/F, IPA dando luogo ad una frazione solubile (surnatante) e una insolubile (polvere su filtro). I filtri sui quali è stata raccolta la frazione insolubile sono stati condizionati in camera climatica, a una temperatura di 20°C e umidità relativa 50% per almeno 48 h e pesati fino a costanza di peso. Nel caso di prelievi per la determinazione dei metalli la frazione solubile è stata acidificata a pH 2 con acido nitrico ad elevata purezza o per analisi in traccia (65%) e analizzata tal quale. Su entrambe le frazioni sono state determinate le concentrazioni di cadmio, mercurio, nichel, piombo, rame e vanadio mediante la spettrofotometria di assorbimento atomico con fornello di grafite. Nel caso di prelievi per la determinazione dei microinquinanti organici la frazione solubile viene estratta con solvente. Su entrambe le frazioni sono state determinate le concentrazioni di PCDD/F.

6.1.3.2.1. Metalli nelle deposizioni atmosferiche totali

Nel presente studio, campioni di deposizioni atmosferiche totali sono stati raccolti in due campagne di circa un mese ciascuno, dal 15 ottobre 2000 al 8 novembre 2000 e dal 2 febbraio al 5 aprile 2001. Nella Tabella 44 sono riportate le concentrazioni medie del contenuto totale di cadmio, mercurio, nichel, piombo, rame, vanadio, rivelate nei campioni di deposizione atmosferica totale.

Tabella 44. Concentrazione media di metalli espressa in µg/(m²d) nelle deposizioni atmosferiche*

Analiti	Post. 1 ASL v. Trento	Post. 2 Sede CGIL	Post. 3 v.le Ariosto	Post. 4 Forte Frassino	Post. 5 Parrocchia Frassino	Post. 6 ASI Virgiliana	Post. 7 Foresteria Burgo	Post. 8 Bosco Fontana
1ª campagna	15/10- 6/11/00	15/10- 4/11/00	15/10- 6/11/00	15/10- 6/11/00	15/10- 6/11/00	15/10- 4/11/00	15/10- 6/11/00	15/10- 8/11/00
Cd <i>solubile</i>	0,30	0,70	0,40	0,30	0,30	2,1	0,50	0,30
Cd <i>insolubile</i>	0,041	0,014	0,010	0,031	0,11	0,015	0,024	0,016
Cd <i>totale</i>	0,34	0,71	0,41	0,33	0,41	2,1	0,52	0,31
Hg <i>solubile</i>	0,53	0,63	0,47	0,53	0,53	0,57	0,50	0,45
Hg <i>insolubile</i>	0,05	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
Hg <i>totale</i>	0,58	0,67	0,48	0,54	0,55	0,60	0,51	0,46
Ni <i>solubile</i>	<4,0	<4,0	4,0	4,0	<4,0	5,0	<4,0	<4,0
Ni <i>insolubile</i>	2,0	1,0	2,9	1,5	5,6	4,5	0,40	0,50
Ni <i>totale</i>	4,0	3,0	6,9	5,5	7,6	9,5	2,4	2,5
Pb <i>solubile</i>	<7,0	<7,0	9,0	<7,0	<7,0	<7,0	<7,0	<7,0
Pb <i>insolubile</i>	4,2	1,1	1,9	1,2	7,2	3,2	0,10	0,60
Pb <i>totale</i>	7,7	4,6	11	4,7	11	6,7	3,6	4,2
Cu <i>solubile</i>	<2,0	<2,0	10	15	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Cu <i>insolubile</i>	8,0	0,60	1,1	1,6	4,9	1,6	0,70	1,0
Cu <i>totale</i>	9,0	1,6	11	17	5,9	2,6	1,7	2,0
V <i>solubile</i>	<9,0	<9,0	15	<9,0	10	10	<9,0	<9,0
V <i>insolubile</i>	4,0	2,2	5,9	3,2	13	8,4	0,30	0,40
V <i>totale</i>	8,5	6,7	21	7,7	23	18	4,8	4,9

segue

continua

Analiti	Post. 1 ASL v. Trento	Post. 2 Sede CGIL	Post. 3 v.le Ariosto	Post. 4 Forte Frassino	Post. 5 Parrocchia Frassino	Post. 6 ASI Virgiliana	Post. 7 Foresteria Burgo	Post. 8 Bosco Fontana
2 ^a campagna	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01	2/2-5/4/01
Cd solubile	0,20	0,50	0,20	0,30	0,20	1,3	0,30	0,30
insolubile	0,0050	0,0070	0,0060	0,0050	0,0060	0,0070	0,0050	0,003
totale	0,20	0,50	0,20	0,30	0,20	1,3	0,30	0,30
Hg solubile	0,33	0,38	0,23	0,42	0,34	0,32	0,35	0,40
insolubile	0,020	0,020	0,0010	0,0001	0,020	0,0001	0,010	0,010
totale	0,35	0,40	0,24	0,42	0,36	0,32	0,36	0,41
Ni solubile	<2,0	<3,0	<2,0	<3,0	<2,0	2,0	<2,0	<3,0
insolubile	1,3	1,6	2,4	1,6	3,5	3,7	0,8	0,2
totale	2,3	3,1	3,4	3,1	4,5	5,7	1,8	1,7
Pb solubile	<4,0	<5,0	<3,0	<5,0	<5,0	<4,0	<4,0	<5,0
insolubile	8,1	5,0	7,6	3,7	11,9	5,8	3,8	1,7
totale	10	7,5	9,1	6,2	14	7,8	5,8	4,2
Cu solubile	5,0	4,0	2,0	6,0	6,0	2,0	4,0	11
insolubile	5,9	2,1	3,5	2,3	4,1	3,3	2,2	0,70
totale	11	6,1	5,5	8,3	10	5,3	6,2	12
V solubile	<7,0	<8,0	<5,0	<8,0	<7,0	<6,0	<7,0	<8,0
insolubile	1,1	0,53	1,6	0,87	3,5	2,0	0,08	0,13
totale	4,6	4,5	4,1	4,9	7,0	5,0	3,7	4,1

*nella somma dei dati relativi alla frazione solubile, i valori inferiori al limite di rilevabilità sono stati considerati, cautelativamente, al 50% come valore da sommare al dato della frazione insolubile

6.1.3.2.2. PCDD/F nelle deposizioni atmosferiche totali

Nel presente studio i campioni di deposizione atmosferica totale sono stati raccolti per circa nove mesi, dall'agosto 2000 All'aprile 2001.

Nella Tabella 45 sono riportate le concentrazioni medie rilevate nella campagna estiva (stagione "calda") e invernale (stagione "fredda") espresse come equivalenti tossicologici della 2,3,7,8-T₄CDD (I-TEQ) (pg/m²d) rivelate nei campioni di deposizione atmosferica totale.

In Appendice A si riportano in dettaglio il contenuto dei singoli congeneri di PCDD/F nelle postazioni individuate.

Tabella 45. Concentrazione media di PCDD/F espressa in pg I-TEQ /m²d nelle deposizioni atmosferiche totali

PCDD/F	Post. 1 ASL v. Trento	Post. 2 Sede CGIL	Post. 3 v.le Ariosto	Post. 4 Forte Frassino	Post. 5 Parrocchia Frassino	Post. 6 ASI Virgiliana	Post. 7 Foresteria Burgo	Post. 8 Bosco Fontana
Stagione calda								
Totali	63,6	43,5	28,7	30,1	39,4	72,8	63,3	30,1
Tossicità equivalente	1,50	2,26	1,20	1,27	2,41	1,83	4,72	1,28
Stagione fredda								
Totali	71,1	85,9	79,2	92,5	85,4	67,3	62,0	60,3
Tossicità equivalente	3,82	4,77	4,20	5,13	4,53	2,75	3,26	2,71

6.2. Comparto suolo

6.2.1. Scelta delle postazioni di rilevamento

Per quanto riguarda la matrice *suolo*, i siti individuati sono stati individuati in analogia a quelli considerati per gli altri prelievi:

- *Postazione 3*
zona maggiormente interessata alle ricadute industriali; posizionamento: area del parco antistante la stazione di rilevamento dell'ARPA di viale Ariosto
- *Postazione 4*
zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: interno dell'area di Forte Frassino.
- *Postazione 5*
zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: area antistante il Cimitero e a lato della Parrocchia di Frassino.
- *Postazione 6*
zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: cortile Azienda Servizi Informativi (ASI), piazza S. Isidoro n. 5, frazione Virgiliana.
- *Postazione 8*
zona caratterizzata dalla assenza di insediamenti; posizionamento: Bosco della Fontana, nei pressi della stazione di rilevamento della ASL di Mantova.

6.2.2. Inquinanti rilevati e metodologie di rilevamento

Gli inquinanti per i quali è stata determinata la concentrazione nei suoli sono:

- *metalli pesanti:*
 - cadmio (Cd),
 - mercurio (Hg),
 - nichel (Ni),
 - piombo (Pb),
 - rame (Cu).
 - vanadio (V);
- *PCDD-PCDF.*

6.2.3. Campionamento suolo

Il rimescolamento del suolo, dovuto a lavori agricoli, comporta una diluizione dei diversi inquinanti depositati sulla superficie dei suoli, pertanto si sono considerati soltanto siti nei quali i suoli, per quanto è stato possibile valutare, non risultavano perturbati. A tale proposito va anche considerato che l'utilizzo nelle pratiche agricole di preparati (fitofarmaci, fertilizzanti chimici, concimi, ammendanti, compost, ecc.) può ridurre la rappresentatività del campione, a causa di apporti di sostanze chimiche presenti nei formulati anche come impurezza.

Per il prelievo si è proceduto a predisporre un "carotatore" in acciaio inox, di tipo manuale che consente di prelevare cilindri di terreno del diametro di circa 8 cm e di un'altezza di circa 10 cm, per un peso approssimativo di 700 g di suolo. Detto strumento è stato lavato con tensioattivi, abbondantemente risciacquato con acqua corrente, con acqua bidistillata ed, infine, sottoposto ad

un trattamento finale con acetone (previa rimozione della guarnizione in materiale plastico presente alla congiunzione della fustella di carotaggio con il manico del carotatore stesso).

In ogni punto di campionamento si sono prelevati campioni fino ad una profondità di circa 50 cm, effettuando 5 carotaggi successivi da 10 cm circa (nel sito 5, a causa della particolarità del terreno si è limitato il carotaggio a 30 cm).

Per tutti i campioni si è proceduto ad analizzare i primi 10 cm e solo per alcuni (successivamente e in base ai dati ottenuti) analizzare anche gli altri tratti di carota, al fine di verificare l'eventuale presenza di diossine in profondità e il profilo verticale delle concentrazioni.

Ogni tratto di carota è stato estratto quantitativamente dal carotatore e posto in un sacchetto di plastica ed etichettato con i necessari riferimenti, quali: posizione, ora e data, profondità del prelievo, note descrittive del luogo. Dopo ogni carotaggio si è proceduto alla pulizia della sezione metallica di campionamento mediante asportazione meccanica del suolo, eventualmente rimasto adeso sulle pareti, con carta da filtro, lavaggio con acqua bidistillata, asciugatura con carta da filtro e passaggio finale con tampone di carta da filtro imbevuto di acetone.

I siti nei quali si è già proceduto ad effettuare carotaggi (vedi Figura 1) di suolo sono:

- *Sito 1*
Zona maggiormente interessata alle ricadute industriali; posizionamento: area antistante la stazione di rilevamento dell'ARPA di viale Ariosto (postazione 3).
- *Sito 2*
Zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: interno dell'area di Forte Frassino (postazione 4).
- *Sito 3*
Zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: area antistante il Cimitero e a lato della Parrocchia di Frassino (postazione 5).
- *Sito 4*
Zona caratterizzata dalla vicinanza all'area industriale; posizionamento: cortile Azienda Servizi Informativi (ASI), piazza S. Isidoro n. 5, frazione Virgiliana (postazione 6).
- *Sito 5*
Zona caratterizzata dalla assenza di insediamenti, zona remota (postazione 8); posizionamento: Bosco della Fontana, nei pressi della stazione di rilevamento della ASL di Mantova (postazione 8).

I campioni di suolo sono stati essiccati all'aria a temperatura ambiente (al riparo da luce diretta e da fonti di calore), successivamente sottoposti a leggera frantumazione mediante mortaio manuale e a vagliatura mediante setaccio (luce 1 mm).

Il sottovaglio è stato raccolto e avviato alle operazioni di estrazione, purificazione e analisi. I campioni analizzati sono quindi relativi ad una serie di carote cilindriche di suolo; il prelievo è stato effettuato campionando sezioni di suolo dello spessore di 10 cm a partire dalla superficie del suolo fino ad una profondità di 50 cm.

In una prima fase, si è ritenuto di effettuare l'analisi dei campioni, su tutti i 5 punti, relativamente al primo strato (circa 10 cm) ritenuto (anche alla luce di analoghe indagini e dei dati riportati nella letteratura scientifica) il più significativo. Successivamente, al fine di verificare l'ipotesi di una penetrazione negli strati sottostanti più profondi, si è proceduto su tre punti ad analizzare anche le sezioni 10-20 e 20-30 cm. Per i diversi campioni di suolo la percentuale di sottovaglio rispetto al totale del suolo sottoposto a setacciatura è stata la seguente:

- *Postazione 3 (Viale Ariosto)*
campione: sezione 0-10 cm sottovaglio/totale = 91,6%

- *Postazione 4 (Forte Frassino)*
campione: sezione 0-10 cm sottovaglio/totale = 90,7%
sezione 10-20 cm sottovaglio/totale = 93,8%
sezione 20-30cm sottovaglio/totale = 81,6%
- *Postazione 5 (Cimitero, nei pressi di Parrocchia Frassino)*
campione: sezione 0-10 cm sottovaglio/totale = 78,5%
- *Postazione 6 (ASI Virgiliana)*
campione: sezione 0-9 cm sottovaglio/totale = 26,6%
sezione 10-20 cm sottovaglio/totale = 38,4%
sezione 20-30 cm sottovaglio/totale = 47,7%
- *Postazione 8 (Bosco Fontana)*
campione: sezione 0-9 cm sottovaglio/totale = 34,8%
sezione 10-20 cm sottovaglio/totale = 23,3%
sezione 20-30 cm sottovaglio/totale = 69,7%

6.2.3.1. Metalli nei campioni di suolo

In Tabella 46 si riporta il contenuto dei metalli relativa alla sola frazione del sottovaglio.

Tabella 46. Concentrazione media dei metalli espressa in µg/g nei suoli relativa alle sole frazioni di sottovaglio secco (carote: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm)

Postazione e profondità delle carote		Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	V
Postazione 3							
Parco viale Ariosto	0-10	0,26	12	0,20	11	17	–
	10-20	–	–	–	–	–	–
	20-30	0,31	11	0,30	15	8,0	30
Postazione 4							
Forte Frassino	0-10	0,22	11	0,20	5,2	50	29
	10-20	0,29	7	0,20	6,1	15	22
	20-30	0,29	4	0,20	5,7	4	18
Postazione 5							
Parrocchia cimitero	0-10	0,25	9	0,20	7,9	13	30
	10-20	–	–	–	–	–	–
	20-30	0,26	13	0,20	9,8	16	29
Postazione 6							
ASI Virgiliana	0-10	0,30	11	0,20	7,6	33	33
	10-20	0,30	7	0,20	6,5	17	27
	20-30	0,31	11	0,40	6,9	26	34
Postazione 8							
Bosco Fontana	0-10	0,68	9	0,20	11	51	34
	10-20	0,46	7	0,20	18	32	33
	20-30	0,32	5	0,10	13	16	34

6.2.3.2. PCDD/F nei campioni di suolo

Nella Tabella 47 si riportano i risultati concentrazioni di PCDD/F nei campioni di suolo prelevati nelle diverse postazioni. In Appendice B si riportano in dettaglio il contenuto dei singoli congeneri di PCDD/F nelle postazioni individuate per le diverse profondità delle carote.

Tabella 47. Concentrazione media di PCDD/F espressa in ng I-TEQ/kg rilevata nei suoli relativi alla frazione di sottovaglio secco (carote: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm)

Postazione e profondità delle carote		PCDD/F	
		<i>totale (ng/kg)</i>	<i>tossicità equivalente (ng I-TEQ/kg)</i>
Postazione 3			
Parco viale Ariosto	0-10	35,6	0,934
	10-20	—	—
	20-30	—	—
Postazione 4			
Forte Frassino	0-10	33,1	0,546
	10-20	3,96	0,129
	20-30	1,46	0,152
Postazione 5			
Parrocchia cimitero	0-10	23,6	0,449
	10-20	—	—
	20-30	—	—
Postazione 6			
ASI Virgiliana	0-10	76,4	1,25
	10-20	31,6	0,548
	20-30	8,43	0,233
Postazione 8			
Bosco Fontana	0-10	207	5,31
	10-20	40,6	0,888
	20-30	12,9	0,309

6.3. Comparto sedimenti

Al fine di avere ulteriori indicazioni, anche se di larga massima, sui livelli ambientali di microinquinanti si è ritenuto utile inserire nel presente studio alcuni rilevamenti di sedimenti dei laghi di Mantova. Detti rilevamenti possono essere intesi come indagine preliminare tesa ad una valutazione degli ordini di grandezza delle possibili concentrazioni di microinquinanti, in zone tra loro diverse e diversamente sottoposte alla influenza delle ricadute delle emissioni.

6.3.1. Scelta dei siti di campionamento

Al fine di avere ulteriori indicazioni, anche se di larga massima, sui livelli ambientali di microinquinanti, come concordato anche nell'ambito delle riunioni della Commissione del Ministero della Salute, si è ritenuto utile procedere ad alcuni rilevamenti di sedimenti in tre diversi punti dei laghi di Mantova. Detti rilevamenti, effettuati in data 8 aprile 2002 e possono essere intesi come indagine preliminare tesa ad una valutazione degli ordini di grandezza delle possibili concentrazioni di microinquinanti, in zone tra loro diverse e diversamente sottoposte alla influenza delle emissioni dell'area industriale.

Considerando le specifiche finalità dello studio, sono stati scelti tre diversi punti nei quali effettuare il campionamento di sedimenti al fine di rilevare la presenza di microinquinanti. I siti in questione sono stati prescelti, considerando la finalità dell'indagine, con l'obiettivo di poter considerare aree diverse:

- non interessata dalle ricadute atmosferiche industriali e/o industriali,
- a ridosso dell'area urbana,

- interessata alle ricadute atmosferiche della zona industriale, ma non direttamente sottoposta agli scarichi dei reflui industriali.

Con tale impostazione sono stati prescelti i punti riportati di seguito; gli stessi sono stati individuati su di una mappa georeferenziata mediante l'ausilio di GPS (vedi Figura 1):

- *Sito 1*
Lago superiore, zona non interessata dalle emissioni industriali;
posizionamento: in vista di Santa Maria delle Grazie;
(long. Nord 45° 09' 29,0" lat. Est 010° 41' 48,1")
fondale: 1,5-2 m
- *Sito 2*
Lago di mezzo, zona urbana;
posizionamento: in vista di Porto Catena;
(long. Nord 45° 09' 13,3" lat. Est 010° 48' 05,5")
fondale: 1,5-2 m
- *Sito 3*
Lago di sotto, zona in vicinanza dell'area industriale;
posizionamento: le Vallazze;
(long. Nord 45° 07' 58,4" lat. Est 010° 49' 34,8")
fondale: 2-2,5 m

6.3.2. Inquinanti rilevati e metodologie di rilevamento

Gli inquinanti per i quali è stata determinata la concentrazione nei sedimenti sono:

- *metalli pesanti:*
 - cadmio (Cd),
 - mercurio (Hg),
 - nichel (Ni),
 - piombo (Pb),
 - rame (Cu).
 - vanadio (V);
- *PCDD-PCDF.*

6.3.3. Campionamento sedimenti

I campioni sono stati prelevati mediante l'utilizzo di benna manuale munita di chiusura superiore, tipo Ekman-Birge che consente di campionare ad una profondità di 10-15 cm, mantenendo imperturbata la superficie del campione stesso durante il sollevamento.

I sedimenti sono stati prelevati su ogni bennata, mediante carotaggio con fustelle in materiale plastico inerte (diametro 3,5 cm; altezza 11 cm).

I campioni così ottenuti, dopo sigillatura mediante foglio di alluminio e *parafilm*, sono stati conservati a bassa temperatura (prima in borsa frigorifera e successivamente in frigorifero).

Successivamente, si è proceduto alla estrusione dei campioni dal sistema di carotaggio; gli stessi sono stati suddivisi in due aliquote sezionando ogni carota (di circa 10 cm) in due parti uguali (di circa 5 cm) al fine di poter analizzare lo strato più superficiale a contatto con l'acqua (sezione superiore) e quello sottostante (sezione inferiore).

Si è quindi proceduto ad effettuare un campione unico (relativamente ad ogni bennata) riunendo e omogeneizzando le due sezioni superiori e le due sezioni inferiori. I campioni così ottenuti sono stati omogeneizzati ed essiccati all'aria, a temperatura ambiente, al riparo da luce diretta e da fonti di calore.

Successivamente sono stati sottoposti a leggera frantumazione, mediante mortaio manuale, e avviati alle operazioni di estrazione, purificazione e analisi.

6.3.3.1. Metalli nei campioni di sedimento

In Tabella 48 si riportano le concentrazioni dei metalli rilevate nei sedimenti, espresse in termini di µg per g di sedimento secco, calcolati per le due sezioni (inferiore e superiore).

Tabella 48. Concentrazioni di metalli nelle carote di sedimenti nelle due sezioni

Sito e sezione delle carote	Cd µg/g (ppm)	Cu µg/g (ppm)	Hg µg/g (ppm)	Ni µg/g (ppm)	Pb µg/g (ppm)	V µg/g (ppm)
Sito 1						
Le Grazie (Lago Superiore)						
sezione inferiore	0,477	24	0,136	13,0	41,8	51,6
sezione superiore	0,424	27	0,106	15,3	44,0	42,0
Sito 2						
Porto Catena (Lago di Sotto)						
sezione inferiore	0,362	38,8	1,50	12,5	121	32,4
sezione superiore	0,376	28,7	1,71	9,8	109	29,2
Sito 3						
Le Vallazze (Lago di Sotto)						
sezione inferiore	0,335	20,1	1,28	28,0	41,8	49,5
sezione superiore	0,316	18,2	0,91	24,8	39,0	50,0

6.3.3.2. PCDD/F nei campioni di sedimento

In Tabella 49 si riportano le concentrazioni di PCDD/F rilevate nei sedimenti, espresse in termini di ng totali e ng I-TEQ per kg di sedimento secco, calcolati per le due sezioni (superiore e inferiore).

Tabella 49. Concentrazione media di PCDD/F in ng I-TEQ/kg nei sedimenti per le due sezioni

Sito e profondità delle carote	PCDD/F	
	totale (ng/kg)	tossicità equivalente (ng/kg I-TEQ)
Sito 1		
Le Grazie (Lago Superiore)		
sezione inferiore	149	2,93
sezione superiore	163	3,14
Sito 2		
Porto Catena (Lago di Sotto)		
sezione inferiore	58,2	2,19
sezione superiore	39,7	1,83
Sito 3		
Le Vallazze (Lago di Sotto)		
sezione inferiore	411	3,49
sezione superiore	263	2,95

Nella Appendice B si riportano in dettaglio il contenuto dei singoli congeneri di PCDD/F nei sedimenti.

I valori rilevati evidenziano una sostanziale uniformità delle concentrazioni delle PCDD e PCDF nei diversi siti considerati; inoltre non si riscontrano differenze significative tra le concentrazioni nello strato di sedimento superiore (a contatto con l'acqua) rispetto a quello inferiore. Ad una prima analisi, questi dati appaiono confrontabili con quelli rilevati in sedimenti considerati rappresentativi di zone urbane o di riferimento/fondo.

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

Lo studio ha consentito di delineare, per quanto riguarda i microinquinanti, la situazione ambientale relativamente al comparto aria ambiente; inoltre le rilevazioni effettuate anche sui comparti suolo e sedimenti, pur con minore estensione e periodicità, hanno permesso di meglio inquadrare la situazione nell'area in studio.

Si riportano per i singoli comparti le considerazioni finali:

– Comparto aria ambiente

In linea generale, per l'*aria ambiente*, i dati relativi alla stagione “fredda” presentano valori di concentrazione di inquinanti maggiori rispetto a quelli rilevati nel periodo stagionale “caldo”. Tale quadro, attribuibile alle diverse condizioni meteorologiche e al maggiore uso di combustibili, è caratteristico e riscontrabile in aree urbane e industriali simili del territorio nazionale.

Il materiale particolato sospeso PM_{10} ha presentato, per i periodi di indagine, concentrazioni che non si differenziano in maniera sostanzialmente tra le postazioni considerate. I valori riscontrati essendo stati rilevati a campagne, su diversi periodi stagionali consentono una valutazione anche alla luce della normativa in vigore, ad esclusione della Postazione Bosco della Fontana per la quale non è stato possibile rilevare i dati relativi al materiale particolato sospeso PM_{10} per la stagione “calda” (avaria dello strumento). Quindi, pur con le considerazioni fatte sui rilevamenti non continuativi, i dati evidenziano una presenza di materiale particolato sospeso PM_{10} che è inferiore al valore del limite da considerare con l'incremento del margine di tolleranza per l'anno 2001 ($70 \mu g/m^3$, ma superiore al limite annuale che entrerà in vigore nel 2005 ($40 \mu g/m^3$), ad esclusione della postazione ASL via Trento. Questo porta a considerare la necessità della messa in atto di strategie mirate alla riduzione delle sorgenti fisse e mobili di emissione di materiale particolato e, soprattutto, di suoi precursori. Va inoltre rilevato che il citato DM 2/4/02, n. 60, riporta anche un limite giornaliero di $50 \mu g/m^3$ (da non superare per più di 35 volte l'anno), che con i “margini di tolleranza” consentiti era di $70 \mu g/m^3$ per il 2001 e di $65 \mu g/m^3$ per il 2002.

Il materiale particolato sospeso $PM_{2,5}$ ha presentato, per i periodi di indagine, concentrazioni che non si differenziano in maniera sostanziale tra le postazioni considerate. La brevità della serie storica, la scarsità di dati nazionali sul $PM_{2,5}$ e l'assenza di riferimento normativo europeo e nazionale rendono difficile una valutazione. Tuttavia è raccomandata già da oggi l'installazione di punti di campionamento in siti fissi, ove possibile coincidenti con quelli dove si esegue il monitoraggio del PM_{10} .

Per quanto riguarda i metalli presenti nel materiale particolato sospeso PM_{10} , per la postazione considerate (ASI Virgiliana e viale Ariosto), si sono privilegiati quelli che potevano essere indice di ricaduta di prodotti di combustione di oli minerali, di residui petroliferi, di rifiuti e che presentavano un maggiore interesse igienico-sanitario. I valori di concentrazione sono risultati per tutti molto contenuti e, per alcuni di essi, al di sotto del limite di rivelabilità. In particolare per il piombo è possibile effettuare un confronto con i limiti in vigore e con il futuro limite di $0,5 \mu g/m^3$ (pur considerando che si tratta di medie annuali); i dati rilevati risultano inferiori di circa un ordine di grandezza. Per gli altri metalli si possono prendere come riferimento i valori delle concentrazioni tipiche di fondo rilevabili in letteratura e le indicazioni delle linee guida di qualità dell'aria della OMS (9). Per le concentrazioni di arsenico, vanadio e mercurio i dati sono risultati per la

maggior parte dei campioni inferiori al limite di rivelabilità e quindi non si è proceduto alla loro determinazione su tutto il periodo. Per quanto riguarda il mercurio va considerato che il prelievo, essendo relativo al solo materiale particellare, non ha considerato l'eventuale frazione allo stato vapore. Per il cadmio e il nichel i valori sono confrontabili con quelli rilevabili in letteratura relativamente alle aree rurali; inoltre per il cadmio si evidenziano concentrazioni di circa dieci volte inferiore alle linee guida della OMS. Sia per il nichel che per il cadmio è possibile effettuare un confronto con i valori obiettivo della Direttiva comunitaria 2004/107.

Il rilevamento degli IPA, nel materiale particellare sospeso PM_{10} , ha evidenziato (per le tre postazioni considerate: ASL viale Trento, viale Ariosto, Parrocchia Frassino) situazioni sostanzialmente simili. Nella stagione "calda" si sono avute concentrazioni non rivelabili per tutti gli IPA considerati (postazioni della ASL viale Trento di viale Ariosto) o solo per alcuni di essi (postazione della Parrocchia Frassino). In quest'ultima postazione, il benzo(a)pirene è risultato essere presente (pur considerando il breve periodo di rilevamento) in concentrazione inferiore (di circa il 50%) al valore di 1 ng/m^3 (obiettivo di qualità DM 21/11/94, Direttiva 2004/107).

Nella stagione "fredda" si sono rilevati i caratteristici incrementi di concentrazioni per tutti gli IPA, tranne che per i quattro dibenzopirene. Il valore di concentrazione del benzo(a)pirene, pur rimanendo al di sotto del valore di 1 ng/m^3 , è risultato di $0,8 \text{ ng/m}^3$ per due postazioni (Parrocchia Frassino e Bosco della Fontana).

Il rilevamento di PCDD/F ha consentito di individuare nel materiale particellare sospeso PM_{10} valori sostanzialmente comparabili nelle postazioni considerate; detti valori appaiono confrontabili con quelli rilevabili in letteratura relativamente a siti urbani. Inoltre si rileva un sostanziale incremento (circa un ordine di grandezza) delle concentrazioni dei campioni della stagione "fredda" rispetto a quelli della stagione "calda" e della stagione intermedia; tale differenza può essere imputata sia a condizioni meteorologiche poco favorevoli alla diffusione degli inquinanti sia a maggior uso di combustibili e carburanti nel periodo invernale. La postazione di Bosco della Fontana ha registrato il valore più alto rispetto agli altri siti nella stagione "fredda", mentre per le altre due stagioni i valori sono stati comparabili o inferiori a quelli delle altre postazioni. Non è stato possibile avere un termine di paragone con la stagione "calda" dello stesso anno, 2000, (causa avaria dello strumento); tuttavia a completamento dell'indagine si è effettuato un campionamento nella stagione "calda" del 2001. Il valore rilevato, inferiore a quelli riscontrati nelle altre zone, indicherebbe che il dato relativo al periodo "freddo" potrebbero aver risentito di fonti locali sporadiche di emissione (ad esempio combustioni improprie).

Il quadro relativo alla concentrazione di PCDD/F nella deposizione atmosferica totale evidenzia, per tutte le otto postazioni, un flusso di deposizione simile fra le diverse aree con valori confrontabili con quelli rilevabili in letteratura per le aree rurali e urbane. Anche in questo caso si sono rilevati valori superiori per il periodo invernale.

– *Comparto suolo*

Per i suoli, il rilevamento dei metalli ha evidenziato, per tutti i siti considerati, valori che possono considerarsi bassi se si prendono a confronto i valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo, riferiti alla specifica destinazione d'uso "verde pubblico, privato e residenziale" dei siti da bonificare (DM 25/10/99, n. 471).

I dati relativi al rilevamento di PCDD/F sui campioni di suolo, relativi alla frazione di sottovaglio, hanno indicato valori confrontabili con quelli riscontrabili in suoli rurali. Facendo riferimento sia ai valori contenuti nel DM 25/10/99 n. 471, sia alle già citate

indicazioni della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale, tali dati appaiono avere concentrazioni inferiori ai valori indicati rispettivamente per i siti ad uso “verde pubblico, privato e residenziale” e per “terreno coltivabile”. L’analisi, per i tre campioni delle postazioni di Forte Frassino, ASI Virgiliana e Bosco della Fontana, della sezione sottostante (da –10 a –20 cm) ha evidenziato una consistente riduzione di PCDD/F di circa 80% per Forte Frassino e Bosco della Fontana e di circa 45% per ASI Virgiliana.

– *Comparto sedimenti*

Per i sedimenti, i metalli rilevati mostrano una maggiore differenziazione di alcuni di essi tra i diversi siti: il piombo risulta superiore a “Porto catena” (vicinanza area urbana) rispetto a “Le Grazie” (zona di fondo) e a “Le Vallazze” (zona industriale). Diversamente il mercurio risulta avere concentrazioni inferiori di circa un ordine di grandezza a “Le Grazie” (zona remota) rispetto alle altre due postazioni.

Il rilevamento di PCDD/F nei sedimenti ha evidenziato valori sostanzialmente uniformi delle concentrazioni di PCDD/F nei diversi siti considerati; inoltre non si riscontrano differenze significative tra le concentrazioni nello strato di sedimento superiore (a contatto con l’acqua) rispetto a quello inferiore. Questi dati appaiono confrontabili con quelli rilevati in sedimenti considerati rappresentativi di zone urbane o di riferimento/fondo.

BIBLIOGRAFIA

1. Marsili G (Ed.) *La valutazione del rischio di area. Il caso dell'area industriale di Mantova*. Milano: Franco Angeli; 2000.
2. Comba P, Benedetti M, Belli S, Ricci P, Gatti L, Tieghi A, Nesti M, Marinaccio A, Ascoli V. *I sarcomi dei tessuti molli a Mantova: stima dell'incidenza e indagine caso-controllo sulla residenza in prossimità del polo industriale*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2000.
3. Italia. Decreto Presidente della Repubblica 23 luglio 1998. Piano Sanitario Nazionale 1998-2000. *Gazzetta Ufficiale* n. 288, 10 dicembre 1998.
4. Italia. Decreto Ministeriale 19 novembre 1997, n. 503. Regolamento recante norme per l'attuazione delle direttive 89/369/CEE e 89/429/CEE concernenti la prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani e la disciplina delle emissioni e delle condizioni di combustione degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani, di rifiuti speciali non pericolosi, nonché di taluni rifiuti sanitari. *Gazzetta Ufficiale* n. 23, 29 gennaio 1998.
5. Italia. Decreto 25 febbraio 2000, n. 124. Regolamento recante i valori limite di emissione e le norme tecniche riguardanti le caratteristiche e le condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento e di co-incenerimento dei rifiuti pericolosi, in attuazione della direttiva 94/67/CE del Consiglio del 16 dicembre 1994, e ai sensi dell'articolo 3, comma 2, del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, e dell'articolo 18, comma 2, lettera a), del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. *Gazzetta Ufficiale* n. 114, 18 maggio 2000.
6. Italia. Decreto legislativo 11 maggio 2005, n. 133. Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti. *Gazzetta Ufficiale – Suppl. n. 122 alla G.U. n. 163*, 15 luglio 2005.
7. Italia. Decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59. Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento. *Gazzetta Ufficiale* n. 93, 22 aprile 2005.
8. Italia. Decreto Ministeriale 2 aprile 2002, n. 60. Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio. *Gazzetta Ufficiale – Suppl. n. 77 n. 87*, 13 aprile 2002.
9. World Health Organisation (WHO). *Air quality guidelines for Europe. Second Edition*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe Regional Publications; 2000. (European Series, n. 91).
10. European Communities. Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position Paper. Prepared by the Working Group On As, Cd and Ni compounds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2001. Disponibile all'indirizzo: http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp_as_cd_ni.pdf; ultima consultazione: 20/11/2005.
11. CAFE (Clean Air For Europe) Working Group on Particulate Matter. *Second position paper on particulate matter*. Final draft. Brussels: Unione Europea; 2004. Disponibile all'indirizzo: http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/pdf/working_groups/2nd_position_paper_pm.pdf; ultima consultazione: 20/11/05.
12. Unione Europea (UE), Commissione Europea. Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla Qualità dell'Aria ed un'Aria più Pulita per l'Europa. *COM (2005) 447 final*, 21 settembre 2005.
13. Commissione delle Comunità Europee. *Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento europeo. Strategia tematica sull'inquinamento atmosferico*. Brussels: Unione europea; 2005. Accessibile dal sito: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/it/com/2005/com2005_0446it01.pdf; ultima consultazione: 23/1/07.

14. Unione Europea. Direttiva 2004/107/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 15 dicembre 2004 concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea* L 23/3 del 26/1/2005.
15. Menichini E, Settimo G, Viviano G. *Metodi per la determinazione di arsenico, cadmio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici nelle deposizioni atmosferiche*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/38).
16. US Environmental Protection Agency (USEPA). *Compilation of air pollutant emission factors. Volume 1: Stationary point and area sources*. Washington, DC: EPA; 2005. Disponibile all'indirizzo: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>; ultima consultazione 23/1/07.
17. Unione Europea. European IPPC Bureau, Integrated pollution prevention and control. Reference document on best available techniques for waste incineration, Brussels: Unione europea; 2006. Disponibile all'indirizzo: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>; ultima consultazione 23/1/07.
18. Commissione nazionale ex art. 3, comma 2, del DL.vo 372/99. *Linee guida inceneritori. linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili per gli impianti di incenerimento dei rifiuti*. Disponibile all'indirizzo: <http://provincia.savona.it/temi/ambiente04/Bat/BATincenerimento.pdf>; ultima consultazione 23/1/07.
19. Viviano G, Rubrichi G, Mastromattei L, Mazzoni F, Settimo G. Impianti di incenerimento: emissione di microinquinanti, limiti alle emissioni e prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento. In: *Atti Convegno Nazionale "Utilizzazione termica dei rifiuti" 20-21 maggio 1999, Abano Terme*. Padova: Università di Padova; 1999. (Biblioteca di Termotecnica n. 8). p. 427-33
20. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. *Censimento delle sorgenti di emissioni*. Roma: ANPA; 2000.
21. Gruppo di Lavoro del Ministero dell'Ambiente: ANPA, CNR, ISS, PMP, SSC. *Rapporto sulla Caratterizzazione e valutazione comparata delle emissioni derivanti dall'utilizzo di Orimulsion 400, carbone e ATZ*. Roma, 1999.
22. Miniero R, Comba P, Stacchini G. *Impatto ambientale e sanitario degli stadi produttivi e dello smaltimento del cloruro di polivinile (PVC)*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1999. (Rapporti ISTISAN 99/26).
23. Menichini E. Campionamento e analisi degli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria. In: Valerio F, Turci R, Minoia C, Apostoli P (Ed.). *Nell'aria delle città italiane: benzo(a)pirene a 1 ng/m3 nell'anno 2000?* Milano: Morgan Edizioni Tecniche; 1997. p. 79-88.
24. Fiedler H, Buckley-Golder D, Coleman P, King K, Petersen A. Compilation of EU dioxin exposure and health data: environmental levels. *Organohalogen Compounds* 1999;43:151-4.
25. Turrio Baldassarri L, Carere A, di Domenico A, Fuselli S, Iacovella N, Rodriguez F. PCDD, PCDF, and PCB contamination of air and inhalable particulate in Rome. *Fresenius Journal of analytical chemistry* 1994;348:144-7.
26. Couthino M, Boia C, Borrego C, Mata P, Costa J, Rodrigues R, Gomes P, Neves M. Environmental baseline levels of dioxins and furans in the region of Oporto. *Organohalogen Compounds* 1999;43:131-6.
27. Hippelein M, Kaupp H, Dorr G, McLachlan M, Hutzinger O. Baseline contamination assessment for new resource recovery facility in Germany. Part II: atmospheric concentrations of PCDD/F. *Chemosphere* 1996;32 (8):1605-16.
28. Duarte-Davidson R, Clayton P, Coleman P, Davis BJ, Halsall CJ, Harding-Jones P, Pettit K, Woodfield MJ, Jones KC. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and furans (PCDFs) in urban air and deposition in the United Kingdom. *Environ Sci Pollut Res* 1994;1:262-70.
29. Duarte-Davidson, R, Sewart A, Alcock RE, Cousins IT, Jones KC. Exploring the balance between sources, deposition and the environmental burden of PCDD/F in the UK terrestrial environment: an aid to identifying uncertainties and research needs. *Environ Sci Technol* 1997;31:1-11.

30. König J, Theisen J, Günther WJ, Liebl KH, Büchen M. Ambient air levels of polychlorinated dibenzofurans and dibenzo(p)dioxins at different sites in Hessen. *Chemosphere* 1993;26:851-61.
31. Kaupp H, McLachlan MS. Distribution of polychlorinated dibenzo-P-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) within the full size range of atmospheric particles. *Atmospheric Environment* 2000;34:73-83.
32. Buckland SJ, Howard K, Salter RT. PCDDs, PCDFs and PCBs in ambient air in New Zealand. *Organohalogen Compounds* 1999;43:117-21.
33. Watanabe I, Ugawa M. Halogenated dibenzo-*p*-dioxin and -dibenzofurans in atmospheric deposition in an urban area (Osaka) in Japan. *Organohalogen Compounds* 1999;43:243-7.
34. Berlincioni M, Martellini F, Croce G, Dellatte E, Donati P, Lolini M, Marsico AM, Baldassini M, Guerranti G, di Domenico A. Polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs) in the urban air of Florence, Italy – A preliminary evaluation. *Organohalogen Compounds* 2002;56:465-8.
35. Berlincioni M, Croce G, di Domenico A, La Rocca C, Lolini M, Megli A, Pupp M, Rizzi L. Reliability assessment of a method for detecting priority organicmicrocontaminants in urban air. *Organohalogen Compounds* 1993;11:171-4.
36. Schuhmacher M, Granero S, Domingo JL, Liobr JM, de Kok AM. Monitoring PCDD/F in the vicinity of an old municipal waste incinerator, 1996-1998. Part II: Vegetation monitoring. *Organohalogen Compounds* 1999;43:123-6.
37. Schuhmacher M, Granero S, Llobet JM, de Kok HAM, Domingo JL. Assessment of Baseline concentrations of PCDD/F's in soils in the neighbourhood of a new hazardous waste incinerator in Catalonia Spain. *Chemosphere* 1997;35:1947-58.
38. Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Muller L, Sunderhauf W, Jager J. Baseline concentrations of PCDD/F's in vegetation samples collected in the vicinity of a new hazardous waste incinerator in Catalonia, Spain. *Chemosphere* 1998;36:2581-91.
39. Della Sala S, Scazzola R, Terrabujo C, Giandon P, Wenning RJ, Dodge DG, Luxemburg WJ, Weagraff SW. Assessment of PCDD/Fs, PCBs, and heavy metals in soil: a measure of impact of the industrial zone of Porto Marghera on in land coastal areas of Italy. *Organohalogen Compounds* 1999;43:137-42.
40. Rose CL, McKay WA. PCDDs (dioxins) and PCDFs (furans) in selected UK lake and reservoir sites-concentrations and TEQs in sediment and fish samples. *The Science of the Total Environment* 1996; 177:43-56.
41. Smith RM, O'Keefe P, Aldous K, Briggs R, Hilker D, Connor S. Measurement of PCDFs and PCDDs in air samples and lake sediments at several locations in upstate New York. *Chemosphere* 1992;25:95-8.
42. Kamenik C, Koinig KA, Schmidt R, Appleby PG, Dearing JA, Lami A, Thompson, Psenner R. Eight hundred years of environmental changes in hig Alpine lake (Gossenköllesee, Tyrol) inferred from sediment records. *J. Limnol* 2000;59;1: 43-52.
43. Lami A, Marchetto A, Lo Bianco R, Appleby PG, Guilizzoni F. The last ca 2000 years paleoclimatology of Lake Candia (N. Italy): inorganic geochemistry, fossil pigments and temperature time-series analyses. *J Limnol* 2000;59;1:31-46.
44. Appleby PG. Radiometric dating of sediments records in European mountain lakes. *J Limnol* 2000;59;1:1-14.
45. Appleby PG, Oldfield F. The calculations of ²¹⁰Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment. *Catena* 1978;5:1-8.
46. Appleby PG. Dating recent sediments by ²¹⁰Pb: Problems and solutions. In: *Proc. 2nd NKS/EKO-1 Seminar, Helsinki, 2-4 April 1997*. Helsinki: STUK; 1997. p. 7-24.

47. Appleby PG, Oldfield F. The assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia* 1983;103:29-35.
48. Cook PM, Batterman AR, Lodge KR. Laboratory measurement of lake trout bioaccumulation of 2,3,7,8-TCDD from Lake Ontario sediment, food and simulated water. In: *32nd Conference on Great Lakes Research*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin; 1989.
49. Servos MR, Muir DCG. Effect of dissolved organic matter from Canadian Shield lakes on the bioavailability of 1,3,6,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin to the amphipod *Crangonyx lauretianus*. *Environ Toxicol Chem* 1989;8:2 141-50.
50. Czuczwa JM, Hites RA. Environmental fate of combustion-generated polychlorinated dioxins and furans. *Environ Sci Technol* 1984;18:444-50.
51. Tyler AO, Millward GE. Distribution and partitioning of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated biphenyls in the Humber Estuary, UK. *Mar Poll Bull* 1996;32(5):397-403.
52. Fattore E, Viganò L, Mariani G, Gzzi A, Benfenati E, Fanelli R. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and furans (PCDFs) in the river Po sediments. In: *21st International Symposium Dioxin on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs*. Gyeongju, Korea, 2001. p. 53-57.
53. Di Domenico A (Ed.). Orientamenti per la definizione di livelli d'azione ambientali per policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF). Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1988. (Rapporti ISTISAN 88/3).
54. Italia. Decreto ministeriale 25 ottobre 1999, n. 471. Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni. *Gazzetta Ufficiale – Suppl. n. 218 alla Gazzetta Ufficiale* n. 293, 15 dicembre 1999.
55. Melluso G, Esposito A, Guida M, Maurano F, Trief NM, Pagano G. Distribution of inorganic and organic pollutants in river sediments in Campania, Italy. *Bull Environmental Contamination and Toxicology* 1994;52:13-8.
56. Minissi S, Lombi E. Heavy metal content and mutagenic activity, evaluated by *Vicia faba* micronucleus test, of Tiber river sediments. *Mutation Research* 1997;39:17-21.
57. CONCAWE (The oil companies' European organization for environment, health and safety). *Motor vehicle emission regulations and fuel specifications, Part 2 detailed information and historic review*. report 95/54. Concawe 1995.
58. EMEP/CORINAIR. *Atmospheric emission inventory guidebook*. 3rd ed. Copenhagen: European Environment Agency; 2001.
59. UNI EN 14902. *Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As, e Ni nella frazione PM10 del particolato in sospensione*. Milano: Ente Italiano di Unificazione; 2005.

APPENDICE A

**Aria ambiente: valori medi giornalieri e/o mensili
per materiale particellare sospeso
e deposizione atmosferica totale**

**Tabella A1. POSTAZIONI 1, 3, 5 e 8: concentrazioni di massa giornaliere di PM₁₀ (in µg/m³)
(campionamento mediante prelevatore ad alto volume)**

Data		Post. 1 <i>ASL v. Trento</i>	Post.3 <i>v.le Ariosto</i>	Post.5 <i>Parrocchia Frassino</i>	Post. 8 <i>Bosco della Fontana</i>
2000:	10/8	37	59	56	
	15/8	25	54	31	
	20/8	35	56	44	
	24/8	50	25	62	
	27/8	23	41	41	
	17/9	26	52	49	
	20/9	28	46	38	
	25/9	48	58	64	
	28/9	73	90	96	
	29/10	79	74	92	
	6/11	13	14	11	
	9/11	15	21	—	
	14/11	23	27	25	
	19/11	24	30	26	
	23/11	—	—	39	
	1/12	51	64	81	
	7/12	49	59	—	
	12/12	21	30	29	
	17/12	38	45	53	60
2001:	4/1/	24	29	32	63
	9/1	34	45	33	73
	14/1	16	22	18	32
	19/1	61	66	81	—
	24/1	—	39	44	87
	29/1	—	30	32	54
	13/2	—	—	86	—
	18/2	58	78	—	—
	22/2	66	89	45	—
	27/2	21	44	—	—
	3/3	35	—	47	—
	8/3	22	29	32	—
	13/3	22	37	29	103
	18/3	29	38	39	109
	22/3	—	30	28	52
	26/3	19	33	34	31
	30/3	11	12	—	24
	3/4	56	83	93	106
	7/4	25	27	33	53
	11/4	10	11	13	21
	16/4	20	35	32	—
	21/4	12	19	17	20
	26/4	20	39	31	32
	1/5	30	66	43	46
	7/5	25	41	29	35
	22/5	36	52	65	58
	27/5	28	68	41	39
	1/6	22	48	57	28
	6/6	41	54	54	71
	11/6	22	39	28	26
	16/6	26	48	47	—
	21/6	34	68	66	—
	1/7	17	40	34	—
	6/7	42	54	88	—
	11/7	31	—	—	34
	16/7	17	100	28	16
	21/7	20	28	28	17
	26/7	35	54	50	35

**Tabella A2. POSTAZIONE 6 (ASI Virgiliana): concentrazioni di massa giornaliere di PM_{2,5} e PM₁₀ (in µg/m³)
(campionamento mediante prelevatore dicotomo)**

Data	PM ₁₀	PM _{2,5}
2000		
10/8	44	35
15/8	31	24
20/8	34	24
24/8	72	41
27/8	25	16
17/9	29	20
20/9	28	15
25/9	52	39
28/9	76	61
29/10	72	55
6/11	20	16
9/11	22	19
14/11	28	23
19/11	32	26
23/11	42	36
1/12	59	45
7/12	51	40
12/12	26	17
17/12	87	74
2001		
4/1	38	31
9/1	50	41
14/1	30	23
19/1	87	78
24/1	49	43
29/1	36	27
3/3	46	39
8/3	28	24
13/3	34	23
18/3	28	26
22/3	24	19
26/3	14	7,0
30/3	13	2,0
3/4	86	48
7/4	28	25
11/4	14	13
16/4	24	20
21/4	12	11
26/4	17	12
1/5	20	13
7/5	24	18
22/5	37	28
27/5	26	19
1/6	17	9,0
6/6	41	36
11/6	18	8,0
16/6	21	14
21/6	25	13
1/7	18	10
6/7	26	14
11/7	55	41
16/7	18	10
21/7	17	12
26/7	37	14

**Tabella A3. POSTAZIONE 3 (V.le Ariosto): concentrazioni di massa giornaliere di PM_{2,5} e PM₁₀ (in µg/m³)
(campionamento mediante prelevatore dicotomo)**

Data	PM ₁₀	PM _{2,5}
2000		
1/12	152	141
7/12	146	107
12/12	38	24
17/12	103	67
2001		
4/1	34	26
9/1	47	29
14/1	41	16
19/1	53	39
24/1	38	27
29/1	40	19
3/2	59	37
7/2	41	28
13/2	57	37
18/2	62	36
22/2	69	43
27/2	34	14
3/3	25	16
8/3	28	17
13/3	31	14
18/3	23	7,0
22/3	22	8,0
26/3	21	5,0
30/3	23	10
3/4	66	26
7/4	25	13
11/4	6,0	4,0
16/4	35	25
21/4	15	7,0
26/4	23	7,0
1/5	26	13
7/5	32	13
22/5	38	19
27/5	48	14
1/6	23	9,0
6/6	17	7,0
11/6	28	8,0
16/6	28	7,0
21/6	46	11
1/7	31	9,0
6/7	34	10
11/7	52	21
16/7	23	7,0
21/7	14	5,0

Tabella A4. POSTAZIONI 3 e 6: concentrazioni medie mensili (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ (campionamento mediante prelevatore dicotomo)

Mese	Postazioni	PM ₁₀			PM _{2,5}		
		Media	Min-Max	DS	Media	Min-Max	DS
2000							
agosto	6. ASI Virgiliana	41	25-72	18	28	16-41	9,9
	3. V.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
settembre	6. ASI Virgiliana	46	28-76	23	34	15-61	21
	3. V.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
ottobre	6. ASI Virgiliana	72	—	—	55	—	—
	3. V.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
novembre	6. ASI Virgiliana	29	20-42	8,8	24	16-36	7,7
	3. V.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
dicembre	6. ASI Virgiliana	56	26-87	25	44	17-74	23
	3. V.le Ariosto	110	38-152	53	85	24-141	50
2001							
gennaio	6. ASI Virgiliana	48	30-87	20	41	23-78	20
	3. V.le Ariosto	42	34-53	6,8	26	16-39	8,1
febbraio	6. ASI Virgiliana	—	—	—	—	—	—
	3. V.le Ariosto	54	34-69	13	33	14-43	10
marzo	6. ASI Virgiliana	27	13-46	11	20	2,0-39	12
	3. V.le Ariosto	25	21-31	3,6	11	5,0-17	4,7
aprile	6. ASI Virgiliana	30	12-86	28	22	11-48	14
	3. V.le Ariosto	28	6,0-66	21	14	4,0-26	9,6
maggio	6. ASI Virgiliana	27	20-37	7,3	20	13-28	6,2
	3. V.le Ariosto	36	26-48	9,4	15	13-19	2,9
giu/01	6. ASI Virgiliana	24	17-41	9,8	16	8,0-36	11
	3. V.le Ariosto	28	17-46	11	8,0	7,0-11	1,7
luglio	6. ASI Virgiliana	29	17-55	20	17	10-41	12
	3. V.le Ariosto	31	14-52	14	10	5,0-21	6,2

Tabella A5. POSTAZIONE 3: concentrazioni (in ng/m³) di cadmio, nichel, piombo e rame nel PM_{2,5} e nel PM₁₀ (campionamento mediante prelevatore dicotomo)

Data	Cd		Ni		Pb		Cu	
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
2000								
1/12	2,2	1,9	9,1	6,6	92	82	29	13
7/12	1,6	1,3	11	7,8	95	70	31	15
12/12	0,43	0,32	3,5	2,4	27	19	10	3,8
17/12	1,3	0,99	6,7	4,1	108	73	39	14
2001								
4/1	0,38	0,27	2,9	2,2	37	28	7,1	3,7
9/1	0,41	0,33	6,7	6,1	17	5,0	13	6,4
14/1	0,38	0,31	1,5	0,90	19	14	9,0	3,9
19/1	0,59	0,46	3,0	2,0	37	26	13	4,9
24/1	0,40	0,34	2,6	2,1	22	17	5,9	3,2
29/1	0,31	0,20	< 0,50	< 0,50	19	12	5,2	0,10
3/2	0,25	0,17	1,3	< 0,50	16	10	4,1	1,3
7/2	0,22	0,19	4,7	3,5	19	15	2,9	1,4
13/2	0,31	0,25	4,0	2,5	30	21	11	4,4
18/2	0,27	0,10	4,4	3,0	28	20	10	3,7
22/2	0,84	0,66	5,6	4,4	21	14	11	4,6
27/2	0,25	0,17	2,8	1,9	10	6,0	4,3	1,7
3/3	0,65	0,32	2,4	1,6	49	11	7,7	3,5
8/3	0,27	0,17	1,4	0,90	13	10	9,8	3,8
13/3	0,69	0,53	1,8	1,2	10	7,0	10	4,2
18/3	0,28	0,17	1,9	1,4	7,0	5,0	8,3	3,3
22/3	0,38	0,25	2,2	1,2	9,0	4,0	6,0	2,3
26/3	0,22	0,13	8,6	8,2	3,0	2,0	6,5	2,6
30/3	0,35	0,27	2,7	1,8	10	9	5,0	2,7
3/4	0,43	0,28	5,5	3,1	14	9,0	15	3,5
7/4	0,25	0,16	3,2	1,6	15	13	30	23
11/4	0,25	0,11	1,2	0,60	13	2,0	1,9	0,40
16/4	0,33	0,21	3,5	2,5	35	18	4,8	1,5
21/4	0,20	0,12	1,0	0,70	37	22	4,9	1,2
26/4	0,25	0,15	2,7	1,7	37	20	5,7	2,3
1/5	0,30	0,21	3,3	2,1	44	27	6,2	2,2
7/5	0,14	0,10	1,4	0,60	12	6,0	6,6	2,0
22/5	0,20	0,12	1,4	0,80	14	6,0	5,1	1,1
27/5	0,21	0,14	5,6	4,0	19	11	5,0	1,5
1/6	0,10	0,06	3,8	2,3	7,0	4,0	0,70	0,10
6/6	0,13	0,10	3,9	2,0	6,0	4,0	1,9	1,2
11/6	0,31	0,23	5,6	4,1	13	8,0	5,2	1,9
16/6	0,21	0,10	2,3	0,60	6,0	3,0	6,6	0,8
21/6	0,55	0,39	3,4	1,6	13	8,0	7,9	2,4
1/7	0,21	0,12	4,8	2,8	6,0	4,0	6,2	1,4
6/7	0,62	0,51	6,5	4,4	11	3,0	7,4	2,5
11/7	0,29	0,12	4,6	2,0	13	2,0	7,8	0,8
16/7	0,14	0,080	2,8	1,6	8,0	5,0	7,9	4,3
21/7	0,24	0,14	2,4	1,2	20	13	7,2	2,0

Tabella A6. POSTAZIONE 6 (ASI Virgiliana): concentrazioni (in ng/m³) di cadmio, nichel, piombo, rame nel PM_{2,5} e nel PM₁₀ (campionamento mediante prelevatore dicotomo)

Data	Cd		Ni		Pb		Cu	
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
2000:								
10/8	0,22	0,18	3,7	2,1	25	20	8,1	6,3
15/8	0,16	0,13	2,3	1,6	18	13	6,1	4,9
20/8	0,21	0,19	2,1	1,7	17	16	3,8	2,0
24/8	1,0	0,90	4,5	3,2	14	9,0	7,6	1,7
27/8	0,19	0,15	1,5	1,0	9,0	8,0	3,8	1,7
17/9	0,16	0,080	2,1	0,90	18	12	4,4	1,9
20/9	0,13	0,040	1,5	0,70	11	9,0	3,5	1,6
25/9	0,24	0,10	2,3	1,1	28	19	6,2	2,5
28/9	0,28	0,11	2,3	1,2	29	22	6,6	3,3
29/10	0,35	0,27	5,9	4,1	34	25	12	5,9
6/11	0,20	0,18	0,70	0,50	6,0	5,0	2,1	1,0
9/11	0,48	0,38	1,9	1,1	16	12	3,2	1,1
14/11	0,64	0,50	2,5	1,5	17	10	7,5	2,5
19/11	0,52	0,42	4,6	3,5	14	9,0	7,5	3,6
23/11	0,39	0,33	3,8	2,2	24	18	4,1	1,8
1/12	0,51	0,41	6,4	4,5	44	34	7,0	2,9
7/12	0,72	0,58	2,8	1,8	39	30	11	6,4
12/12	0,36	0,24	5,6	2,6	16	11	4,7	2,2
17/12	1,6	1,3	12	7,7	82	61	23	12
2001:								
4/1	0,50	0,38	8,2	2,0	16	13	11	3,0
9/1	0,73	0,66	5,7	4,3	42	36	13	8,1
14/1	0,21	0,19	--	--	41	31	1,2	1,0
19/1	0,69	0,55	3,4	2,2	34	28	9,7	4,1
24/1	0,55	0,53	2,1	1,9	26	23	5,0	4,1
29/1	0,46	0,38	1,6	1,1	22	18	5,8	3,2
3/2	0,93	0,90	4,7	3,3	43	40	7,1	4,4
7/2	0,21	0,12	2,6	1,4	10	6,0	2,9	0,80
13/2	0,62	0,61	4,1	3,3	41	37	9,5	5,1
18/2	0,85	0,72	3,8	2,6	30	25	6,6	3,9
22/2	1,4	1,3	11	9,7	30	25	13	8,2
27/2	0,37	0,33	2,6	1,9	10	8,0	2,9	1,6
3/3	0,44	0,39	3,3	3,0	21	15	3,4	2,0
8/3	0,36	0,30	3,4	3,0	9,0	7,0	3,1	2,9
13/3	1,0	0,99	3,8	3,1	9,0	8,6	7,7	5,8
18/3	0,39	0,31	2,8	2,6	11	10	5,4	2,1
22/3	0,75	0,65	3,0	2,3	11	11	6,0	3,6
26/3	0,24	0,10	2,1	0,60	3,0	< 1,0	3,6	2,1
30/3	0,29	0,090	1,4	0,60	17	14	2,9	1,1
3/4	0,53	0,43	5,9	4,3	27	24	6,9	3,2
7/4	0,52	0,47	2,8	2,4	20	8,0	5,4	3,8
11/4	0,47	0,36	2,6	1,5	51	50	3,4	2,9
16/4	0,32	0,25	2,4	1,8	28	27	2,3	1,3
21/4	0,23	0,16	1,7	1,2	21	20	2,0	1,4
26/4	0,29	0,21	1,9	1,5	41	38	3,2	1,5
1/5	0,29	0,18	2,3	1,7	25	22	2,4	1,1
7/5	0,22	0,19	2,8	2,1	32	21	3,4	1,4
22/5	0,28	0,26	2,2	1,8	11	10	3,9	2,8
27/5	0,11	0,080	6,6	4,3	7,0	5,0	1,5	0,60
1/6	0,19	0,15	5,4	4,1	8,0	5,0	1,7	0,70
6/6	0,51	0,50	4,3	3,4	15	14	1,5	1,1
11/6	0,23	0,20	2,7	1,8	16	14	1,8	0,50
16/6	0,30	0,24	2,6	2,4	8,0	6,0	3,3	1,4
21/6	0,55	0,46	2,3	1,6	8,0	5,0	4,5	1,8
1/7	0,31	0,23	3,8	2,7	3,0	2,0	3,4	1,5
6/7	0,47	0,35	4,0	1,8	9,0	5,0	4,4	0,70
11/7	0,29	0,13	5,3	2,7	8,0	3,0	3,9	1,1
16/7	0,15	0,090	3,7	2,5	7,0	5,0	2,7	1,4
21/7	0,28	0,19	2,9	1,8	19	15	7,7	4,5
26/7	0,28	0,16	6,1	2,1	17	9,0	8,4	2,6

Tabella A7. POSTAZIONE 6 E 3: concentrazioni di vanadio superiori al limite di rilevabilità (3 ng/m³)

Data	PM ₁₀	PM _{2,5}
Postazione 6		
14/11/00	4,0	2,0
9/1/01	3,0	3,0
1/6/01	3,0	2,0
11/6/01	5,0	3,0
1/7/01	4,0	4,0
Postazione 3		
2/12/00	5,0	4,0
8/12/00	11	8,0
13/12/00	4,0	3,0
17/12/00	5,0	3,0
10/1/01	3,0	2,0
23/2/01	4,0	3,0
12/6/01	4,0	2,0
22/6/01	4,0	2,0
2/7/01	6,0	4,0
7/7/01	11	8,0

Tabella A8. POSTAZIONI 6 e 3: concentrazioni medie mensili (in ng/m³) di PM₁₀ e PM_{2,5},
(campionato mediante prelevatore dicotomo)

Mese	Postazione	PM ₁₀			PM _{2,5}		
		media	min-max	DS	media	min-max	DS
Cadmio							
2000							
agosto	6. ASI Virgiliana	0,35	0,16-1,01	0,4	0,31	0,13-0,90	0,3
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
settembre	6. ASI Virgiliana	0,20	0,13-0,28	0,1	0,08	0,04-0,11	0,0
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
ottobre	6. ASI Virgiliana	0,35	—	—	0,27	—	—
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
novembre	6. ASI Virgiliana	0,45	0,20-0,64	0,2	0,36	0,18-0,50	0,1
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
dicembre	6. ASI Virgiliana	0,79	0,36-1,6	0,5	0,64	0,24-1,32	0,5
	3. v.le Ariosto	1,4	0,43-2,2	0,8	1,13	0,32-1,94	0,7
2001							
gennaio	6. ASI Virgiliana	0,52	0,21-0,73	0,2	0,45	0,19-0,66	0,2
	3. v.le Ariosto	0,41	0,31-0,59	0,1	0,32	0,20-0,46	0,1
febbraio	6. ASI Virgiliana	0,72	0,21-1,4	0,4	0,66	0,12-1,29	0,4
	3. v.le Ariosto	0,36	0,22-0,84	0,1	0,26	0,09-0,66	0,1
marzo	6. ASI Virgiliana	0,50	0,24-1,0	0,3	0,40	0,09-0,99	0,3
	3. v.le Ariosto	0,41	0,22-0,69	0,2	0,26	0,13-0,53	0,1
aprile	6. ASI Virgiliana	0,39	0,23-0,53	0,1	0,31	0,16-0,47	0,1
	3. v.le Ariosto	0,29	0,20-0,43	0,1	0,17	0,11-0,28	0,1
maggio	6. ASI Virgiliana	0,23	0,11-0,29	0,1	0,18	0,08-0,26	0,1
	3. v.le Ariosto	0,21	0,14-0,30	0,1	0,14	0,09-0,21	0,1
giugno	6. ASI Virgiliana	0,35	0,19-0,55	0,2	0,31	0,15-0,51	0,2
	3. v.le Ariosto	0,26	0,10-0,55	0,2	0,17	0,06-0,39	0,1
luglio	6. ASI Virgiliana	0,30	0,15-0,47	0,1	0,19	0,09-0,35	0,1
	3. v.le Ariosto	0,30	0,14-0,62	0,2	0,19	0,08-0,51	0,2

segue

continua

Mese	Postazione	PM ₁₀			PM _{2,5}		
		media	min-max	DS	media	min-max	DS
Nichel							
2000							
agosto	6. ASI Virgiliana	2,8	1,5-4,5	1,2	1,9	1,0-3,2	0,8
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
settembre	6. ASI Virgiliana	2,1	1,5-2,3	0,4	1,0	0,7-1,2	0,2
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
ottobre	6. ASI Virgiliana	5,9	—	—	4,1	—	—
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
novembre	6. ASI Virgiliana	2,7	0,7-4,6	1,5	1,8	0,5-3,5	1,2
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
dicembre	6. ASI Virgiliana	6,7	2,8-11,9	3,8	4,2	1,8-7,7	2,6
	3. v.le Ariosto	7,5	3,5-10,8	3,2	5,2	2,4-7,8	2,4
2001							
gennaio	6. ASI Virgiliana	4,2	1,6-8,2	2,7	2,3	1,1-4,3	1,2
	3. v.le Ariosto	2,8	<0,5-6,7	2,2	2,3	<0,5-6,1	2,0
febbraio	6. ASI Virgiliana	4,8	2,6-10,8	3,1	3,7	1,4-9,7	3,0
	3. v.le Ariosto	3,8	1,3-5,6	1,5	2,6	<0,5-4,4	1,4
marzo	6. ASI Virgiliana	2,8	1,4-3,8	0,8	2,2	0,6-3,1	1,1
	3. v.le Ariosto	3,0	1,4-8,6	2,5	2,3	0,9-8,2	2,6
aprile	6. ASI Virgiliana	2,9	1,7-5,9	1,5	2,1	1,2-4,3	1,1
	3. v.le Ariosto	2,9	1,0-5,5	1,7	1,7	0,6-3,1	1,0
maggio	6. ASI Virgiliana	3,5	2,2-6,6	2,1	2,5	1,7-4,3	1,2
	3. v.le Ariosto	2,9	1,4-5,6	2,0	1,9	0,6-4,0	1,6
giugno	6. ASI Virgiliana	3,5	2,3-5,4	1,3	2,7	1,6-4,1	1,1
	3. v.le Ariosto	3,8	2,3-5,6	1,2	2,1	0,6-4,1	1,3
luglio	6. ASI Virgiliana	4,3	2,9-6,1	1,2	2,3	1,8-2,7	0,4
	3. v.le Ariosto	4,2	2,4-6,5	1,7	2,4	1,2-4,4	1,3
Piombo							
2000							
agosto	6. ASI Virgiliana	17	9,0-25	5,9	13	8,0-20	5,1
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
settembre	6. ASI Virgiliana	22	11-29	8,6	16	9,0-22	6,0
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
ottobre	6. ASI Virgiliana	34	—	—	25	—	—
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
novembre	6. ASI Virgiliana	15	6,0-24	6,5	11	5,0-18	4,8
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
dicembre	6. ASI Virgiliana	45	16-82	27	34	11-61	20,6
	3. v.le Ariosto	81	27-108	36	61	19-82	28,5
2001							
gennaio	6. ASI Virgiliana	30	16-42	11	25	13-36	8,5
	3. v.le Ariosto	25	17-37	9,3	17	5,0-28	8,7
febbraio	6. ASI Virgiliana	27	10-43	14	24	6,0-40	14,2
	3. v.le Ariosto	21	16-30	7,5	14,0	6,0-21	5,8
marzo	6. ASI Virgiliana	12	3,0-21	5,9	10,0	<1-15	4,8
	3. v.le Ariosto	14	3,0-49	16	7,0	2,0-11	3,5
aprile	6. ASI Virgiliana	31	20-51	12	28	8,0-50	14,5
	3. v.le Ariosto	25	13-37	12	14	2,0-22	7,6
maggio	6. ASI Virgiliana	19	7,0-32	12	15	5,0-22	8,3
	3. v.le Ariosto	22	12-44	15	13	6,0-27	9,9
giugno	6. ASI Virgiliana	11	8,0-16	4,1	9,0	5,0-14	4,8
	3. v.le Ariosto	9,0	6,0-13	3,7	5,0	3,0-8	2,4
luglio	6. ASI Virgiliana	11	3,0-19	6,2	7,0	3,0-15	4,6
	3. v.le Ariosto	12	6,0-20	5,4	5,0	2,0-13	4,4

segue

continua

Mese	Postazione	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		media	min-max	DS	media	min-max	DS
Rame							
2000							
agosto	6. ASI Virgiliana	5,9	3,8-8,1	2,0	3,3	1,7-6,3	2,1
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
settembre	6. ASI Virgiliana	5,2	3,5-6,6	1,5	2,3	1,6-3,3	0,7
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
ottobre	6. ASI Virgiliana	11,9	—	—	5,9	—	—
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
novembre	6. ASI Virgiliana	4,9	2,1-7,5	2,5	2,0	1,0-3,6	1,1
	3. v.le Ariosto	—	—	—	—	—	—
dicembre	6. ASI Virgiliana	11,3	4,7-23	8,1	6,0	2,2-12	4,6
	3. v.le Ariosto	27,4	10-39	12,1	11,3	3,8-15	5,1
2001							
gennaio	6. ASI Virgiliana	7,7	1,2-13	4,4	3,9	1,0-8,1	2,3
	3. v.le Ariosto	8,9	5,2-13	3,5	3,7	0,1-6,4	2,1
febbraio	6. ASI Virgiliana	7,0	2,9-13	3,8	4,0	0,8-8,2	2,6
	3. v.le Ariosto	7,2	2,9-11	3,8	2,9	1,3-4,6	1,6
marzo	6. ASI Virgiliana	4,6	2,9-7,7	1,8	2,8	1,1-5,8	1,5
	3. v.le Ariosto	7,6	5,0-10	1,9	3,2	2,3-4,2	0,7
aprile	6. ASI Virgiliana	3,9	2,0-6,9	1,9	2,4	1,3-3,8	1,1
	3. v.le Ariosto	10,3	1,9-30	10,4	5,3	0,4-23	8,7
maggio	6. ASI Virgiliana	2,8	1,5-3,9	1,1	1,5	0,6-2,8	0,9
	3. v.le Ariosto	5,7	5,0-6,6	0,8	1,7	1,1-2,2	0,5
giugno	6. ASI Virgiliana	2,6	1,5-4,5	1,3	1,1	0,5-1,8	0,5
	3. v.le Ariosto	4,5	0,70-7,9	3,1	1,3	0,1-2,4	0,9
luglio	6. ASI Virgiliana	5,1	2,7-8,4	2,4	2,0	0,7-4,5	1,4
	3. v.le Ariosto	7,3	6,2-7,9	0,7	2,2	0,8-4,3	1,3

Tabella A9. Valori dei limiti di rilevabilità per i diversi analiti

Analiti	ng/mL soluzione analisi	ng/m ³
Materiale particolato PM ₁₀	-	4,0
Materiale particolato PM _{2,5}	-	4,0
Arsenico	10	4,0
Cadmio	0,1	0,04
Nichel	1,0	0,50
Piombo	2,0	1,0
Rame	0,8	0,30
Vanadio	6,0	3,0
Mercurio	0,050	0,020

Tabella A10. Concentrazioni dei congeneri di PCDD/F nel materiale particolare sospeso PM₁₀ (in fg/m³)

Congeneri	Post. 1 ASL v. Trento	Post.3 v.le Ariosto	Post.5 Parrocchia Frassino	Post. 8 Bosco della Fontana
Stagione calda				
2,3,7,8-TCDD	< 0,89	< 0,75	< 0,41	< 0,61
1,2,3,7,8-PeCDD	< 1,6	< 1,9	< 1,0	< 1,1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 1,2	< 1,0	0,989	0,754
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1,53	< 0,86	1,26	1,78
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,28	< 0,85	1,14	2,27
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	18,4	21,7	19,7	22,3
OCDD	75,9	55,9	65,4	41,4
2,3,7,8-TCDF	< 1,3	0,986	0,949	2,22
1,2,3,7,8-PeCDF	1,55	< 2,4	1,72	0,998
2,3,4,7,8-PeCDF	2,23	2,99	3,95	2,38
1,2,3,4,7,8-HxCDF	4,81	5,78	7,10	3,30
1,2,3,6,7,8-HxCDF	4,46	7,64	4,29	2,82
1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 2,6	< 5,3	< 2,9	< 0,77
2,3,4,6,7,8-HxCDF	7,24	12,1	10,0	7,07
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	38,5	35,6	43,6	22,5
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	7,40	8,95	9,47	3,68
OCDF	63,8	54,6	70,0	19,8
Stagione fredda				
2,3,7,8-TCDD	2,37	1,55	1,74	2,83
1,2,3,7,8-PeCDD	7,52	10,4	12,2	26,2
1,2,3,4,7,8-HxCDD	19,3	10,5	6,66	39,8
1,2,3,6,7,8-HxCDD	28,4	24,4	30,3	90,5
1,2,3,7,8,9-HxCDD	21,2	19,6	27,2	56,9
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	190	175	243	474
OCDD	426	411	548	980
2,3,7,8-TCDF	22,4	24,6	94,7	94,7
1,2,3,7,8-PeCDF	20,7	24,4	30,8	94,9
2,3,4,7,8-PeCDF	55,9	59,8	57,3	186
1,2,3,4,7,8-HxCDF	40,3	37,2	46,2	117
1,2,3,6,7,8-HxCDF	33,7	36,8	51,6	109
1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 1,8	< 2,2	< 3,2	< 4,9
2,3,4,6,7,8-HxCDF	66,4	50,3	104	197
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	155	136	161	406
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	21,8	16,7	22,7	52,5
OCDF	94,5	68,1	87,8	206
Stagione intermedia				
2,3,7,8-TCDD	< 1,2	< 0,64	< 0,38	< 0,97
1,2,3,7,8-PeCDD	< 1,4	< 1,2	0,928	< 1,7
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1,05	1,14	1,07	0,804
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2,78	1,88	3,11	4,28
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,74	2,01	2,29	3,83
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	20,2	20,5	21,8	39,4
OCDD	52,3	56,0	66,3	100
2,3,7,8-TCDF	0,71	1,33	1,82	0,96
1,2,3,7,8-PeCDF	1,74	1,77	1,73	1,95
2,3,4,7,8-PeCDF	1,99	2,86	2,94	4,35
1,2,3,4,7,8-HxCDF	4,12	4,11	4,59	5,06
1,2,3,6,7,8-HxCDF	3,87	3,44	3,80	4,76
1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 1,1	< 0,87	< 0,54	< 1,6
2,3,4,6,7,8-HxCDF	6,38	7,34	7,98	8,84
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	21,1	26,6	26,3	44,9
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3,88	3,62	4,83	8,50
OCDF	20,1	15,7	20,9	38,5

Nel calcolo della concentrazione totale sono stati anche inseriti valori inferiori al limite di rivelabilità considerandoli cautelativamente pari al 50% del limite di rilevabilità.

Tabella A11. Concentrazioni dei congeneri di PCDD/F nella deposizione atmosferica totale (in pg/m²d)

Congeneri	Post. 1 ASL v. Trento	Post. 2 Sede CGIL	Post. 3 v.le Ariosto	Post. 4 Forte Frassino	Post. 5 Parrocchia Frassino	Post. 6 ASI Virgiliana	Post. 7 Foresteria Burgo	Post. 8 Bosco Fontana
Stagione calda								
2,3,7,8-TCDD	< 0,53	< 0,90	< 0,37	< 0,23	< 0,89	< 0,33	< 0,42	< 0,22
1,2,3,7,8-PeCDD	< 1,2	< 1,4	< 0,55	< 0,35	< 1,1	< 0,77	< 0,83	< 0,71
1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 1,2	< 2,3	< 0,69	< 0,49	< 2,2	< 0,69	< 1,2	< 0,85
1,2,3,6,7,8-HxCDD	< 1,0	< 2,1	< 0,63	< 0,44	< 1,6	< 0,59	< 0,88	< 0,77
1,2,3,7,8,9-HxCDD	< 1,3	< 2,7	< 0,80	< 0,56	< 2,1	< 0,66	< 1,1	< 0,98
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3,94	5,51	2,71	2,83	4,15	4,40	4,61	2,16
OCDD	20,8	14,7	13,2	12,5	14,7	17,1	21,6	10,3
2,3,7,8-TCDF	1,03	0,924	0,670	0,604	< 0,63	0,716	1,47	0,401
1,2,3,7,8-PeCDF	0,935	< 1,7	< 0,59	0,727	< 1,2	0,414	0,426	0,827
2,3,4,7,8-PeCDF	1,32	< 1,8	0,694	0,959	1,28	0,876	0,984	0,899
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1,21	< 1,8	0,839	1,11	1,17	1,13	0,930	0,675
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1,07	< 1,8	0,768	0,764	0,835	0,722	0,706	0,805
1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 0,79	< 2,4	< 0,59	< 0,54	< 0,69	< 0,53	< 0,41	< 0,45
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1,00	< 2,0	0,64	1,22	1,05	1,29	0,739	0,877
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	4,39	5,36	3,49	3,91	5,08	7,29	4,08	3,43
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,782	< 1,6	0,343	0,415	< 1,2	1,26	0,586	1,00
OCDF	3,14	5,70	3,19	3,84	4,20	26,6	8,56	6,78
Stagione fredda								
2,3,7,8-TCDD	<0,21	0,410	<0,11	<0,24	0,260	<0,16	<0,18	<0,082
1,2,3,7,8-PeCDD	0,575	0,682	0,594	0,752	0,811	0,527	0,503	0,600
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,764	0,854	0,838	0,904	0,859	0,381	0,586	0,614
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1,34	1,04	1,72	1,60	1,21	1,13	1,24	0,918
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,48	0,844	0,989	1,57	1,52	1,01	1,07	0,993
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	9,96	11,7	10,5	12,7	11,9	8,29	8,26	9,61
OCDD	25,6	31,2	30,0	34,5	32,6	29,3	24,3	23,4
2,3,7,8-TCDF	3,98	4,02	3,99	3,64	4,04	3,29	1,60	1,86
1,2,3,7,8-PeCDF	2,27	2,47	1,92	2,53	3,07	1,65	1,73	1,44
2,3,4,7,8-PeCDF	3,10	4,00	4,01	4,87	3,67	1,98	3,17	2,13
1,2,3,4,7,8-HxCDF	2,28	2,66	2,46	3,18	3,02	1,79	1,88	2,00
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1,96	2,66	1,94	2,18	2,33	1,67	1,91	1,83
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0,46	<0,80	<0,34	<0,87	<0,36	<0,45	<0,29	<0,22
2,3,4,6,7,8-HxCDF	3,44	3,78	2,94	4,26	3,08	2,02	2,08	1,96
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	7,75	10,1	9,06	11,0	8,63	6,14	7,04	7,06
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	1,02	1,25	1,13	1,66	1,21	0,797	0,950	1,02
OCDF	5,20	7,80	6,82	6,65	7,06	6,93	5,52	4,70

Nel calcolo della concentrazione totale sono stati anche inseriti valori inferiori al limite di rivelabilità considerandoli cautelativamente pari al 50% del limite di rilevabilità.

APPENDICE B

**Suolo e sedimenti:
valori di PCDD/F per i singoli congeneri**

Tabella B1. Concentrazioni dei congeneri di PCDD/F nei suoli (pg/g) per le diverse profondità delle carote

Congeneri	Post. 3 <i>v.le Ariosto</i>	Post. 4 <i>Forte Frassino</i>	Post. 5 <i>Parrocchia Frassino</i>	Post. 6 <i>ASI Virgiliana</i>	Post. 8 <i>Bosco Fontana</i>
Carota 0-10 cm					
2,3,7,8-TCDD	<0,24	<0,18	<0,13	0,149	0,375
1,2,3,7,8-PeCDD	<0,52	<0,23	<0,37	0,258	0,918
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<0,20	<0,37	<0,18	0,193	1,56
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<0,20	<0,19	<0,18	0,302	1,90
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<0,20	<0,27	<0,18	0,248	1,94
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3,48	1,82	2,21	8,50	19,6
OCDD	22,2	9,09	13,4	49,9	80,9
2,3,7,8-TCDF	0,788	0,315	0,266	1,07	3,56
1,2,3,7,8-PeCDF	0,477	<0,33	<0,15	0,378	0,903
2,3,4,7,8-PeCDF	0,635	<0,27	0,217	0,710	3,48
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,574	0,665	0,255	0,918	5,15
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,419	0,286	<0,12	0,514	1,71
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0,29	<0,21	<0,12	<0,35	<0,34
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,312	0,317	0,143	0,441	3,41
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2,54	6,65	2,95	6,34	39,5
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,390	0,633	0,330	0,527	4,44
OCDF	2,91	12,3	3,15	5,73	37,3
Carota 10-20 cm					
2,3,7,8-TCDD	—	<0,058	—	<0,058	<0,074
1,2,3,7,8-PeCDD	—	<0,11	—	<0,14	<0,16
1,2,3,4,7,8-HxCDD	—	<0,11	—	<0,091	0,128
1,2,3,6,7,8-HxCDD	—	<0,11	—	0,280	0,363
1,2,3,7,8,9-HxCDD	—	<0,11	—	0,140	0,388
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	—	0,164	—	3,29	4,06
OCDD	—	0,883	—	18,8	12,6
2,3,7,8-TCDF	—	<0,037	—	0,371	0,473
1,2,3,7,8-PeCDF	—	<0,080	—	0,266	0,324
2,3,4,7,8-PeCDF	—	<0,077	—	0,336	0,487
1,2,3,4,7,8-HxCDF	—	<0,11	—	0,563	0,945
1,2,3,6,7,8-HxCDF	—	<0,086	—	0,324	0,861
1,2,3,7,8,9-HxCDF	—	<0,11	—	<0,14	<0,18
2,3,4,6,7,8-HxCDF	—	<0,10	—	0,383	0,924
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	—	0,701	—	2,65	6,22
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	—	0,113	—	0,324	0,707
OCDF	—	1,55	—	3,62	11,9
Carota 20-30 cm					
2,3,7,8-TCDD	—	<0,12	—	<0,069	<0,15
1,2,3,7,8-PeCDD	—	<0,12	—	<0,094	<0,14
1,2,3,4,7,8-HxCDD	—	<0,095	—	<0,107	0,128
1,2,3,6,7,8-HxCDD	—	<0,076	—	0,201	0,363
1,2,3,7,8,9-HxCDD	—	<0,080	—	<0,091	0,388
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	—	0,075	—	1,01	4,06
OCDD	—	0,155	—	4,73	12,6
2,3,7,8-TCDF	—	<0,072	—	0,138	0,473
1,2,3,7,8-PeCDF	—	<0,081	—	0,088	0,324
2,3,4,7,8-PeCDF	—	<0,082	—	0,108	0,487
1,2,3,4,7,8-HxCDF	—	<0,10	—	0,165	0,945
1,2,3,6,7,8-HxCDF	—	<0,079	—	0,130	0,861
1,2,3,7,8,9-HxCDF	—	<0,12	—	<0,076	<0,18
2,3,4,6,7,8-HxCDF	—	<0,10	—	0,164	0,924
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	—	0,240	—	0,665	6,22
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	—	<0,059	—	0,989	0,707
OCDF	—	0,438	—	0,717	11,9

Nel calcolo della concentrazione totale sono stati anche inseriti valori inferiori al limite di rivelabilità considerandoli cautelativamente pari al 50% del limite di rivelabilità.

Tabella B2. Concentrazioni dei congeneri di PCDD/F nei sedimenti (pg/g)

Congeneri	Sito 1 Le Grazie		Sito 2 Porto Catena		Sito 3 Le Vallazze	
	sezione inferiore	sezione superiore	sezione inferiore	sezione superiore	sezione inferiore	sezione superiore
2,3,7,8-TCDD	0,287	<0,12	0,193	0,111	<0,11	0,141
1,2,3,7,8-PeCDD	<0,61	<0,70	<0,57	<0,51	<0,45	<0,49
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<0,45	0,638	<0,83	<0,42	<0,46	<0,33
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,881	1,01	<0,63	0,443	1,47	0,768
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,552	0,659	<0,67	0,396	0,815	0,565
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	14,1	15,4	3,92	3,76	24,3	16,3
OCDD	98,6	105	33,7	18,3	341	205
2,3,7,8-TCDF	2,78	2,65	2,62	2,81	4,30	3,72
1,2,3,7,8-PeCDF	1,51	1,38	1,35	1,18	3,07	2,75
2,3,4,7,8-PeCDF	2,43	2,69	1,73	1,35	2,27	1,85
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1,24	1,54	1,36	1,13	3,52	3,61
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1,03	1,62	1,09	1,17	1,75	1,52
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0,41	<0,60	<0,72	<0,43	<0,72	<0,71
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1,59	2,38	1,44	1,15	0,94	0,88
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	9,53	10,6	4,69	4,45	8,42	6,64
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,587	0,805	0,824	0,389	1,57	1,19
OCDF	13,0	15,9	3,52	2,42	17,3	16,9

Nel calcolo della concentrazione totale sono stati anche inseriti valori inferiori al limite di rivelabilità considerandoli cautelativamente pari al 50% del limite di rilevabilità.

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN
deve essere preventivamente autorizzata.
Le richieste possono essere inviate a: pubblicazioni@iss.it.*

*Stampato da Tipografia Facciotti srl
Vicolo Pian Due Torri 74, 00146 Roma*

Roma, dicembre 2006 (n. 4) 7° Suppl.