



ACCORDO VOLONTARIO PER IL MONITORAGGIO DELLE RICADUTE DEL TERMOVALORIZZATORE SAN LAZZARO

MONITORAGGIO DI PCDD, PCDF, PCB-DL, IPA CON CAMPIONATORI AD ALTO FLUSSO



**PADOVA 2021
RELAZIONE TECNICA**

Progetto e realizzazione

Dipartimento Regionale Qualità dell'Ambiente

Responsabile: R.Bassan

Unità Organizzativa Monitoraggio Aria

Responsabile: G.Marson

Autore: R.Millini

Revisori: C.Zemello, S.Rebeschini, L.Zagolin

Con la collaborazione di:

Dipartimento Regionale Laboratori

Responsabile: A.Benassi

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

12 settembre 2022

Indice

1	Caratterizzazione del monitoraggio	4
1.1	Obiettivi	4
1.2	Siti di monitoraggio	4
1.3	Metodologia di campionamento	5
1.4	Periodi di campionamento nel 2021	6
2	Inquinanti monitorati	7
2.1	Diossine, furani e policlorobifenili diossina simili	7
2.1.1	Diossine [PCDD] e furani [PCDF]	7
2.1.2	Policlorobifenili diossina simili [PCB-DL]	8
2.2	Idrocarburi Policiclici Aromatici [IPA]	8
3	Tossicità equivalente	9
3.1	Definizione di tossicità equivalente	9
3.2	Fattore di tossicità equivalente per diossine e furani	9
3.3	Fattore di tossicità equivalente per PCB diossina-simili	10
3.4	Fattori di tossicità equivalente utilizzati nell'analisi	10
3.5	Trattazione dei congeneri al di sotto del limite di quantificazione	11
4	Analisi dei dati	12
4.1	Valori di tossicità equivalente a Padova, 2015-2020	12
4.2	Sintesi meteorologica	12
4.3	Efficacia di campionamento	13
4.4	Concentrazioni dei congeneri. Anno 2021	13
4.4.1	Incidenza dei congeneri non quantificabili sulle concentrazioni complessive	16
4.4.2	Confronto delle concentrazioni 2020-2021	17
4.5	Analisi della tossicità equivalente 2021	17
4.5.1	Incidenza dei congeneri non quantificabili sulla TEQ complessiva	19
4.5.2	Confronto dei valori di TEQ 2020-2021	19
5	Sintesi dei risultati	21
	Bibliografia	22

Capitolo 1

Caratterizzazione del monitoraggio

1.1 Obiettivi

Il monitoraggio della qualità dell'aria tramite campionatori ad alto flusso a Padova è previsto dall'Accordo per il monitoraggio delle ricadute al suolo delle emissioni gassose e particellari dai camini del Termovalorizzatore San Lazzaro.

La finalità del monitoraggio è quantificare i microinquinanti organici aerodispersi presenti nell'area di massima ricaduta delle emissioni del suddetto impianto.

I microinquinanti organici ricercati e di seguito analizzati sono i seguenti: gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), le diossine e i furani (PCDD e PCDF) e i policlorobifenili diossina simili (PCB-DL) presenti nelle polveri totali (PTS).

Il monitoraggio nel 2021 è stato effettuato tramite due campionatori mobili ad alto flusso installati nei siti già utilizzati nel 2020 e posizionati entro l'area di massima ricaduta al suolo delle emissioni gassose e particellari dai camini del Termovalorizzatore di Padova.

L'area di massima ricaduta, individuata tramite modelli dispersivi, è intesa come la superficie racchiusa entro l'isolinea¹ ove i rapporti percentuali tra la concentrazione media annua degli ossidi di azoto (NOx) e il massimo di NOx simulato in essa e tra la concentrazione media annua di polveri totali sospese (PTS) e il valore massimo di PTS simulato in essa sono maggiori dell'80%.

1.2 Siti di monitoraggio

I due siti di monitoraggio riportati in figura 1.1 (puntatori verde e rosso) si trovano in direzione SudSudOvest a valle del camino del Termovalorizzatore (puntatore blu).

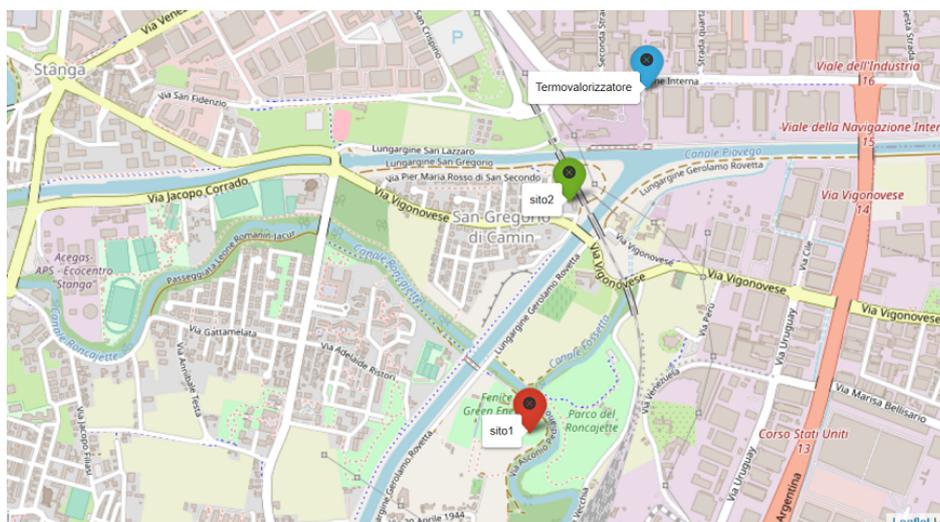


Figura 1.1: Termovalorizzatore San Lazzaro (blu) e siti di campionamento (rosso e verde) con alto volume.

¹Linea che individua tutti i punti con lo stesso valore di concentrazione

Il sito 1 è rappresentativo di un'area non interessata da traffico veicolare o da realtà residenziali vicine (fig 1.2, puntatore rosso in figura 1.1: 958 m a SSW del Termovalorizzatore; Via Lungargine Rovetta, c/o Parco la Fenice; WGS84: LAT 45.399286, LON 11.919726) .

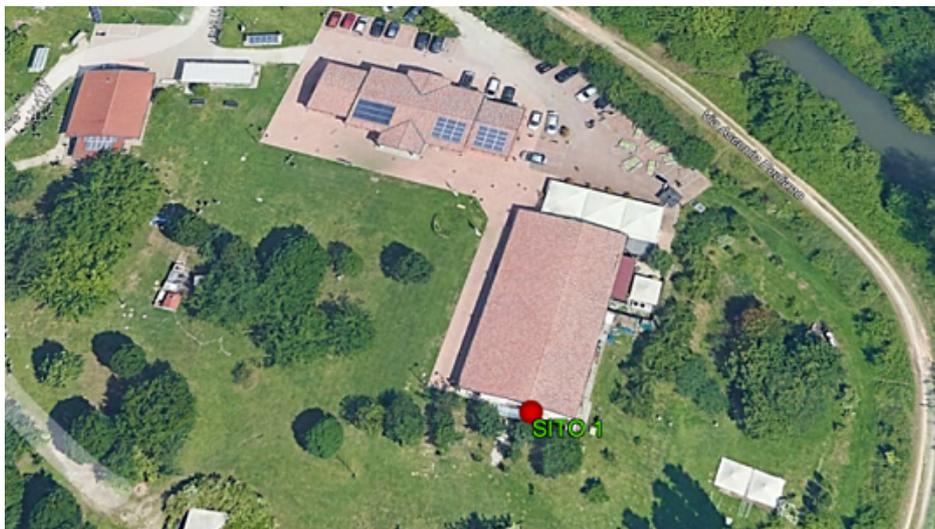


Figura 1.2: Sito1 di campionamento: Parco la Fenice di Padova; il campionatore (indicatore rosso) è posizionato sul pianerottolo al primo piano della scala antincendio, a circa 4 m dal suolo, discosto dalla parete dell'edificio.

Il sito 2 (fig 1.3, puntatore verde in figura 1.1: 258 m circa a SSW del Termovalorizzatore; Via Gino Rocca, c/o Alpini di San Gregorio; WGS84: LAT 45.405610, LON 11.920525) è immerso in un'area residenziale ai margini dell'area industriale con presenza di traffico stradale (a Sud) e ferroviario (a Est).

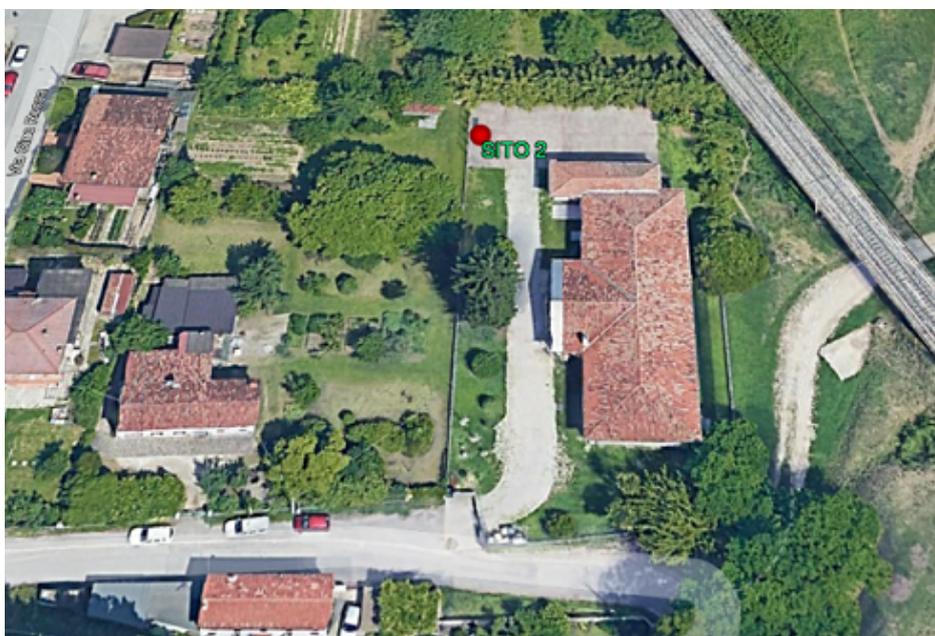


Figura 1.3: Sito2 di campionamento: Sede degli Alpini San Gregorio di Padova; il campionatore (indicatore rosso) è posizionato a circa 1.2 m dal suolo, a ridosso della recinzione.

1.3 Metodologia di campionamento

Il campionamento dei microinquinanti organici è stato condotto con pompe di aspirazione dell'aria di tipo ECHO HiVol Tecora, funzionanti ad alto flusso (225 litri/min). I campionamenti autunnale e invernale sono durati una settimana ciascuno, mentre quello estivo si è protratto per due settimane per compensare le minori concentrazioni di polveri [1].

Il campionatore (a destra in figura 1.4) consta di una pompa che aspira in continuo un volume costante di aria (225 litri/minuto) e di due dispositivi di captazione posti l'uno sopra l'altro in successione. Nello specifico, e a partire dall'alto, il campionatore presenta un filtro bianco in quarzo, del diametro di 102 mm, per l'adsorbimento delle polveri totali sospese (PTS) e, sotto, separato da una rete metallica, un supporto adsorbente in schiuma poliuretanic (PUF, PolyUrethane Foam) per campionare i composti organici volatilizzati dal filtro (sia il filtro in quarzo che il PUF sono riportati a sinistra in figura 1.4).

Grazie al transito del flusso d'aria aspirata attraverso il sistema, lo stesso è in grado di raccogliere in modo efficace sia gli inquinanti presenti nelle polveri totali (su filtro) che quelli in fase di vapore (su PUF).

La presenza di un tubo di fuoriuscita dell'aria aspirata (tubo grigio in figura 1.4), consente il deflusso della stessa ad una moderata distanza dal campionatore.



Figura 1.4: a sinistra: elementi della testa di prelievo (filtro bianco PTS con relativa ghiera e testa retinata di alloggiamento, e PUF nel contenitore in vetro silanizzato e relativa testa cilindrica di alloggiamento); a destra: il campionatore ad alto flusso, con alloggiata testa di prelievo, sensore termico esterno e tubo di scarico dell'aria.

1.4 Periodi di campionamento nel 2021

Nel 2021 sono stati effettuati tre campionamenti per sito, distribuiti nelle stagioni estiva, autunnale e invernale. Nel periodo estivo, date le concentrazioni delle polveri generalmente basse, si sono effettuate due settimane di campionamento [1]. In tabella 1.1 si riportano i dettagli dei periodi di campionamento nei due siti.

Campionamento	Sito	Periodo	Ore campionate	Volume campionato (m ³)
Estivo	Sito1/Fenice	25/05 – 08/06/2021	332	4491
Estivo	Sito2/Alpini	01/07 – 15/07/2021	333	4496
Autunnale	Sito1/Fenice	21/10 – 27/10/2021	142	1916
Autunnale	Sito2/Alpini	21/10 – 27/10/2021	125	1697
Invernale	Sito1/Fenice	09/12 – 16/12/2021	166	2245
Invernale	Sito2/Alpini	09/12 – 16/12/2021	165	2221

Tabella 1.1: Periodi di campionamento con alto volume nel 2021

La non contemporaneità tra i campionamenti estivi nei due siti deriva da un malfunzionamento del campionatore nel sito 2 che ne ha compromesso la campagna, comportandone la ripetizione successiva. Eventuali differenze nelle concentrazioni misurate nei due siti in estate potrebbero quindi dipendere anche alle diverse condizioni meteorologiche dei due periodi. Le differenze inoltre fra i volumi effettivi campionati, ad esempio tra la campagna autunnale e invernale, potrebbero aver giocato anche sulla presenza del numero di congeneri al di sotto del limite di quantificazione (**capitolo 3**).

Capitolo 2

Inquinanti monitorati

L'analisi effettuata concerne quattro classi di inquinanti organici persistenti (POPs, Persistent Organic Pollutants): policloro-dibenzo-diossine (PCDD o diossine), policloro-dibenzo-furani (PCDF o furani), policlorobifenili diossina-simili (PCB-DL) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Nel 2021 il monitoraggio di questi inquinanti si è svolto nei medesimi siti del 2020, tramite i due campionatori ad alto flusso posti a valle del Termovalorizzatore di Padova descritti nel capitolo precedente.

La scelta di tali inquinanti deriva dal fatto che rientrano tra i potenziali prodotti indesiderati della combustione in un impianto di termovalorizzazione e che sono composti tossici, potenzialmente cancerogeni e, secondo recenti studi, forse anche potenzialmente dannosi per lo sviluppo umano ([4]).

Per ogni classe di inquinanti si riportano in maniera sintetica le caratteristiche principali e i congeneri critici da un punto di vista tossicologico. Per approfondimenti si rinvia alla bibliografia essenziale ([5], [1], [2]).

2.1 Diossine, furani e policlorobifenili diossina simili

Diossine, furani e policlorobifenili costituiscono tre delle dodici classi di POPs riconosciute come tossiche per l'uomo e per l'ambiente a livello internazionale.

Si tratta di composti caratterizzati da una forte stabilità, da un'elevata abilità nel transitare da una matrice ambientale all'altra e scarsamente degradabili. Per tutti questi motivi possono determinare un inquinamento cronico e ubiquitario. In questa analisi se ne valuta l'impatto sulla matrice Aria.

Le tre caratteristiche principali che permettono di distinguere queste classi di composti sono:

1. le posizioni dell'atomo di cloro (Cl) sugli anelli aromatici del carbonio (C) in diossine e furani;
2. la sostituzione di atomi di idrogeno (H) con quelli di cloro (Cl) nei policlorobifenili;
3. le affinità di legame di ogni singolo composto con il recettore Ah⁽¹⁾, dalle quali si ricava la tossicità del composto.

2.1.1 Diossine [PCDD] e furani [PCDF]

Diossine⁽²⁾ e furani costituiscono un gruppo di **210 congeneri**, di cui 75 diossine (dibenzo-p-diossine, PCDD) e 135 furani (dibenzo-p-furani, PCDF). Solo 17 di questi congeneri sono critici in termini tossicologici, e nello specifico 7 PCDD (tab 2.1) e 10 PCDF (tab 2.2)⁽³⁾.

La singola tossicità dipende dal numero e dalla posizione degli atomi di cloro sull'anello aromatico del carbonio. I più tossici presentano 4 atomi di cloro legati agli atomi di carbonio β dell'anello aromatico e pochi, o nessun, atomo di cloro legato agli atomi di carbonio α dell'anello. Il congenere più tossico, la 2,3,7,8 TCDD, ha 4 atomi di cloro in β e nessuno in α (formula bruta: C₁₂H₄Cl₄O₂).

¹Ah (Aromatic hydrocarbon): recettore degli idrocarburi aromatici presente nelle cellule degli organismi viventi. I composti aromatici, come le diossine e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), vi combaciano perfettamente, come una chiave in una serratura. Il complesso formato dalla molecola (legante) e dal recettore è in grado di attraversare le membrane cellulari avviando così l'azione tossica [5].

²Il termine generico *diossina* è spesso sinonimo della 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina (2,3,7,8 TCDD), il congenere più tossico, classificato come sicuramente cancerogeno (gruppo 1) dal 1997 (IARC, 1997).

³Si tratta di composti pericolosi perché estremamente stabili (al calore e alla degradazione chimica e biologica) e spiccatamente lipofili. Per ciò tendono ad accumularsi nel tempo nei tessuti degli organismi (bioaccumulo e biomagnificazione). Inoltre sono sostanze facilmente trasportabili dalle correnti atmosferiche [...], rendendo così possibile la contaminazione di luoghi lontani dalle sorgenti di emissione [5].

Dioossine di rilevanza tossicologica [7 congeneri]
2,3,7,8 tetracloro-p-dibenzodiossina (2,3,7,8 TCDD)
1,2,3,7,8 pentacloro-p-dibenzodiossina (1,2,3,7,8 PeCDD)
1,2,3,4,7,8 esacloro-p-dibenzodiossina (1,2,3,4,7,8 HxCDD)
1,2,3,6,7,8 esacloro-p-dibenzodiossina (1,2,3,6,7,8 HxCDD)
1,2,3,7,8,9 esacloro-p-dibenzodiossina (1,2,3,7,8,9 HxCDD)
1,2,3,4,6,7,8 eptacloro-p-dibenzodiossina (1,2,3,4,6,7,8 HpCDD)
octacloro-p-dibenzodiossina (OCDD)

Tabella 2.1: Dioossine di rilevanza tossicologica

Furani di rilevanza tossicologica [10 congeneri]
2,3,7,8 tetracolorodibenzofurano (2,3,7,8 TCDF)
1,2,3,7,8 pentacolorodibenzofurano (1,2,3,7,8 PeCDF)
2,3,4,7,8 pentacolorodibenzofurano (2,3,4,7,8 PeCDF)
1,2,3,4,7,8 esacolorodibenzofurano (1,2,3,4,7,8 HxCDF)
1,2,3,6,7,8 esacolorodibenzofurano (1,2,3,6,7,8 HxCDF)
1,2,3,7,8,9 esacolorodibenzofurano (1,2,3,7,8,9 HxCDF)
2,3,4,6,7,8 esacolorodibenzofurano (2,3,4,6,7,8 HxCDF)
1,2,3,4,6,7,8 eptacolorodibenzofurano (1,2,3,4,6,7,8 HpCDF)
1,2,3,4,7,8,9 eptacolorodibenzofurano (1,2,3,4,7,8,9 HpCDF)
octaclorodibenzofurano (OCDF)

Tabella 2.2: Furani di rilevanza tossicologica

2.1.2 Policlorobifenili diossina simili [PCB-DL]

Sono composti organici di sintesi rappresentati da **209 congeneri**, con struttura molecolare derivata dal bifenile $C_{12}H_{10}$ per sostituzione con atomi di cloro a quelli di idrogeno (formula bruta generica: $C_{12}H_{10-x}Cl_x$).

Dei 209 congeneri, 12 sono individuati come “diossina simili” (**PCB-DL**) (tab 2.3) e spesso appaiati alle diossine nelle analisi e valutazioni delle conseguenze ambientali. Gli altri 197 sono definiti PCB non diossina-simili e non rientrano nell’analisi presente.

PCB diossina-simili [12 congeneri]
3,3',4,4' Tetra-CB (PCB-77)
3,4,4',5 Tetra-CB (PCB-81)
3,3',4,4',5 Penta-CB (PCB-126)
3,3',4,4',5,5' Esa-CB (PCB-169)
2,3,3',4,4' PENTA-CB (PCB-105)
2,3,4,4',5 PENTA-CB (PCB-114)
2,3',4,4',5 PENTA-CB (PCB-118)
2',3,4,4',5 PENTA-CB (PCB-123)
2,3,3',4,4',5 ESA-CB (PCB-156)
2,3,3',4,4',5' ESA-CB (PCB-157)
2,3',4,4',5,5' ESA-CB (PCB-167)
2,3,3',4,4',5,5' EPTA-CB (PCB-189)

Tabella 2.3: Elenco dei PCB-DL

2.2 Idrocarburi Policiclici Aromatici [IPA]

È una classe numerosa di composti organici caratterizzati dalla presenza di due o più anelli aromatici condensati fra loro. Gli IPA possono essere presenti sia come gas che come particolato.

Poco o del tutto insolubili in acqua, gli IPA sono per la maggior parte adsorbiti e trasportati da particelle carboniose (fuliggine) emesse dalle stesse fonti che li originano. Per la loro relativa stabilità gli IPA possono percorrere anche grandi distanze.

Il D.Lgs.n.155/2010 prevede un valore obiettivo solo per le concentrazioni di benzo(a)pirene, pari a $1ng/m^3$ (ng = nanogrammo = $10^{-9}g$) come media di un anno civile. Il valore obiettivo, riferito alla concentrazione presente nella frazione PM10 delle polveri, è la concentrazione nell’aria ambiente stabilita per evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l’ambiente.

Capitolo 3

Tossicità equivalente

3.1 Definizione di tossicità equivalente

La valutazione di diossine, furani e PCB-DL in aria ambiente implica la determinazione di miscele complesse di congeneri, ciascuno dei quali è contraddistinto da un determinato livello di tossicità. Per riuscire ad esprimere la tossicità dei singoli congeneri e comparare campioni diversi, si ricorre al concetto di **fattore di tossicità equivalente (TEF)**.

L'idea di TEF si basa sul fatto che i composti esaminati presentano caratteristiche strutturali, di attivazione e effetti tossici simili. Per calcolare i TEF si confronta l'affinità di legame dei vari composti con il recettore Ah, ponendo pari a uno il TEF del più tossico dei congeneri, cioè la 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina (2,3,7,8 TCDD):

$$TEF_{(2,3,7,8-TCDD)} = 1 \quad (3.1)$$

Stabiliti quindi i valori di TEF per tutti i congeneri, si può ricavare la **tossicità equivalente (TEQ)**, definita come somma dei prodotti tra le concentrazioni dei singoli congeneri (C_i) e i rispettivi fattori di tossicità equivalente (TEF_i):

$$TEQ = \sum_{i=1}^n C_i * TEF_i \quad (3.2)$$

L'equazione 3.2 viene di seguito utilizzata per calcolare la TEQ di diossine, furani e PCB-DL e non per gli IPA. Il motivo sotteso a questa scelta è la non confrontabilità fra la TEQ relativa agli IPA e quella relativa a diossine, furani e PCB-DL, perché i fattori di tossicità sono calcolati a partire da un congenere di riferimento diverso: nel caso degli IPA il congenere di riferimento è il benzo(a)pirene, nel caso di diossine, furani e PCB-DL, come già visto, è la 2,3,7,8 TCDD.

3.2 Fattore di tossicità equivalente per diossine e furani

Per il calcolo della tossicità equivalente TEQ (eq. 3.2) di diossine e furani sono disponibili due schemi di classificazione per i fattori di tossicità equivalente (TEF) necessari per la sua determinazione:

1. **I-TEF**: fattore internazionale di tossicità equivalente; questo schema, proposto dal Committee on the Challenges of Modern Society della NATO (CCMS), risale al 1988;
2. **WHO-TEF**: fattore di tossicità equivalente; questo schema, individuato dalla Organizzazione Mondiale della Sanità [WHO], risale al 1998 e al successivo aggiornamento del 2005 ⁽¹⁾.

Nella tabella 3.1 si riportano i valori dei due riferimenti per i 17 congeneri di TCDD (diossine) e TCDF (furani) di rilevanza tossicologica in termini di I-TEF e WHO-TEF 2005 ⁽²⁾.

¹A titolo informativo, nel giugno 2022 il WHO ha attivato una call internazionale per aggiornare i WHO-TEF includendo ulteriori composti chimici.

²Per un confronto fra i valori di WHO-TEF 1998 e 2005 si rinvia al link indicato in bibliografia [8].

Composto TCDD	I-TEF 1988	WHO-TEF 2005
2,3,7,8 TCDD	1	1
1,2,3,7,8 PeCDD	5×10^{-1}	1
1,2,3,4,7,8 HxCDD	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,6,7,8 HxCDD	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,7,8,9 HxCDD	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	1×10^{-2}	1×10^{-2}
OCDD	1×10^{-3}	3×10^{-4}
Composto TCDF	I-TEF 1988	WHO-TEF 2005
2,3,7,8 TCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,7,8 PeCDF	5×10^{-2}	3×10^{-2}
2,3,4,7,8 PeCDF	5×10^{-1}	3×10^{-1}
1,2,3,4,7,8 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,6,7,8 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,7,8,9 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}
2,3,4,6,7,8 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	1×10^{-2}	1×10^{-2}
1,2,3,4,7,8,9 HpCDF	1×10^{-2}	1×10^{-2}
OCDF	1×10^{-3}	3×10^{-4}

Tabella 3.1: Fattori di tossicità equivalente; riferimenti per diossine e furani

Anche se i furani presentano TEF inferiori (tabella 3.1), la loro minor tossicità è generalmente compensata da una maggiore presenza a livello ambientale.

3.3 Fattore di tossicità equivalente per PCB diossina-simili

Per i 12 congeneri diossina-simili (DL) dei PCB il WHO ha fissato dei TEF per poterne valutare la tossicità cumulativamente a quella di diossine e furani. I valori sono riportati in tabella 3.2.

Composto PCB-DL	WHO-TEF 2005
PCB-126	1×10^{-1}
PCB-169	3×10^{-2}
PCB-77	1×10^{-4}
PCB-81	3×10^{-4}
PCB-105	3×10^{-5}
PCB-114	3×10^{-5}
PCB-118	3×10^{-5}
PCB-123	3×10^{-5}
PCB-156	3×10^{-5}
PCB-157	3×10^{-5}
PCB-167	3×10^{-5}
PCB-189	3×10^{-5}

Tabella 3.2: Fattori di tossicità equivalente per i PCB, fonte: WHO

3.4 Fattori di tossicità equivalente utilizzati nell'analisi

Poiché le misure oggetto della presente indagine comprendono anche i valori di concentrazione di PCB-DL, i cui TEF sono forniti solo dal WHO, di seguito si utilizzano per diossine e furani i WHO-TEF 2005 come principali fattori e, per completezza di informazione ed eventuali confronti in letteratura, si riportano anche i valori calcolati tramite gli I-TEF.

Infine, non esistendo una regolamentazione in merito ai livelli di diossine, furani e PCB-DL in aria ambiente a livello europeo o a scala inferiore, in linea con le relazioni precedenti si ricorda che l'unico riferimento, da prendersi come cautelativo, è quello del Comitato Federale tedesco per il controllo dell'inquinamento atmosferico (LAI), risalente al 2004 e pari a $150 \text{ fg}/\text{m}^3$ espressi come WHO-TEQ⁽³⁾.

³Il LAI propose nel 1994 un limite cautelativo per l'aria ambiente di $150 \text{ fg}/\text{m}^3$ espressi come I-TEQ per diossine e furani; in seguito ad una revisione congiunta con WHO, il limite è stato convertito nel 2004 per la concentrazione totale in aria di miscele di diossine, furani e PCB-DL in $150 \text{ fg}/\text{m}^3$ espressi però come WHO-TEQ.

3.5 Trattazione dei congeneri al di sotto del limite di quantificazione

Per l'analisi dei dati di concentrazione dei composti in esame, esistono tre possibili approcci di calcolo della tossicità equivalente in dipendenza dalla tipologia di trattazione dei dati analitici quando le concentrazioni dei congeneri risultano inferiori al limite di quantificazione (LOQ⁴, limit of quantification).

In particolare, il contributo di ogni congenero non rilevabile ξ lo si può considerare seguendo uno dei tre approcci sintetizzati nell'espressione 3.3:

$$\xi \equiv \begin{cases} 0 & \text{lower bound [limite inferiore]} \\ LOQ/2 & \text{medium bound [limite intermedio]} \\ LOQ & \text{upper bound [limite superiore]} \end{cases} \quad (3.3)$$

In merito a come effettuare la scelta dell'approccio più opportuno, è utile considerare che per concentrazioni basse di diossine, furani o policlorobifenili presenti nei campioni, il numero dei congeneri che possono risultare non quantificabili può essere elevato e quindi, a seconda dell'approccio scelto, si può ottenere una sottostima o una sovrastima della TEQ finale. Nel caso in cui, invece, non vi siano congeneri non quantificabili, la scelta dell'uno o dell'altro approccio è ininfluente in quanto la TEQ risultante non varia.

In un'ottica cautelativa di massimizzazione del peso nel calcolo della TEQ associato al numero di congeneri non quantificabili, di seguito si adotta l'approccio **upper bound**, in linea con l'analisi ARPAV del 2015 [1].

⁴LOQ: il limite di quantificazione è il limite di concentrazione fino al quale è possibile ottenere strumentalmente una misura quantitativa con relativa incertezza.

Capitolo 4

Analisi dei dati

Di seguito si analizzano le concentrazioni misurate nel 2021¹ secondo i criteri individuati da ARPAV [1].

Per diossine, furani e policlorobifenili, a partire dalle concentrazioni si calcola la tossicità equivalente (TEQ), seguendo l'approccio **upper bound** precedentemente descritto (**capitolo 3**).

Per quanto riguarda gli IPA, invece, essendo parte dei congeneri monitorati continuativamente - con misure a basso flusso - in alcune stazioni fisse della città di Padova, si effettua una valutazione empirica dei risultati derivanti dai due diversi metodi di misura.

Al termine dell'analisi, i valori di concentrazione dei congeneri monitorati nel 2021 vengono confrontati con quelli del 2020, questi ultimi essendo stati qui ricalcolati con approccio **upper bound**.

Per poter contestualizzare nella realtà storica padovana i risultati del 2021, a monte dell'analisi si riporta una breve sintesi dei valori di tossicità equivalente per diossine, furani e PCB-DL misurati a Padova dal 2015.

Essendo infine le condizioni meteorologiche un fattore determinante per le concentrazioni di inquinanti in aria ambiente, se ne riporta un estratto relativo alle campagne di monitoraggio 2021.

4.1 Valori di tossicità equivalente a Padova, 2015-2020

Nel 2015/2016 ARPAV effettuò uno studio a livello regionale per individuare i valori di fondo, cioè le concentrazioni calcolate in situazioni non emergenziali, per diossine, furani e policlorobifenili [1]. Per la città di Padova si prese come riferimento la stazione di qualità dell'aria di fondo urbano di Mandria ove la TEQ complessiva stagionale di diossine, furani e PCB-DL, calcolata tramite il fattore di tossicità WHO-TEF 2005, risultò compresa nell'intervallo $6 \div 74 fg/m^3$ (²), con valori minimi nel periodo estivo e massimi in quello invernale.

Successivamente, nel 2019 e 2020, ARPAV ha effettuato ulteriori indagini [3] non più nella stazione di fondo urbano di Mandria, ma in sedi che, benché diverse tra loro nelle due annualità, rientrano tutte nell'area di massima ricaduta del Termovalorizzatore. Ebbene, i risultati di queste due annualità non si discostano di molto dai valori del 2015/2016 di Mandria e le concentrazioni risultano comprese nell'intervallo $11 \div 54 fg/m^3$.

Come risulterà dalla presente analisi, **i valori misurati nel 2021** negli stessi siti di misura del 2020 **risultano confrontabili con i precedenti** e compresi nell'intervallo $6 \div 47 fg/m^3$ (³).

Si noti che i suddetti intervalli di valori di TEQ sono ben al di sotto del limite cautelativo individuato per l'aria ambiente dal LAI nel 2004 ($150 fg/m^3$, espresso in termini di WHO-TEQ) e che le differenze interannuali tra i valori di TEQ è probabile dipendano maggiormente dalle distinte condizioni meteorologiche che da altri fattori.

4.2 Sintesi meteorologica

La tabella 4.1 sintetizza i principali fattori meteorologici che possono aver influito sulle concentrazioni di inquinanti durante i campionamenti del 2021.

¹Le unità di misura utilizzate nell'analisi sono le seguenti: nanogrammo ($1ng \equiv 10^{-9}g$), picogrammo ($1pg \equiv 10^{-12}g$) e femtogrammo ($1fg \equiv 10^{-15}g$).

²Il valore 74 si riferisce ad una campagna effettuata a gennaio, anziché a dicembre come le campagne 2019-2021. Si precisa questo perché in genere le concentrazioni di inquinanti aerodispersi nel mese di gennaio sono superiori a quelle di dicembre, il che potrebbe essere all'origine del valore superiore riportato.

³Gli intervalli qui indicati sono ricavati dalle somme di TEQ di diossine, furani e PCB-DL stagionali. È infatti il valore relativo alla singola campagna ad essere confrontato con il limite cautelativo LAI-2004.

Campionamento	Sito	Periodo	Sintesi meteorologica
Estivo 1	Sito1/Fenice	25/05 – 08/06/2021	2 giorni di precipitazioni deboli; abbastanza dispersivo in termini di vento
Estivo 2	Sito2/Alpini	01/07 – 15/07/2021	piovoso dal 1 al 4, poi assenza di precipitazioni; abbastanza dispersivo in termini di vento
Autunnale	Sito1/Sito2	21/10 – 27/10/2021	assenza di precipitazioni; condizioni poco dispersive
Invernale	Sito1/Sito2	09/12 – 16/12/2021	1 giorno di precipitazioni molto deboli; condizioni poco dispersive

Tabella 4.1: Periodi di campionamento e fattori meteorologici principali

Si noti che lo sfasamento temporale tra il campionamento nei due siti in estate aggiunge alla variabile ubicazione dei due siti due ulteriori fattori che potrebbero aver comportato eventuali differenze nelle concentrazioni degli inquinanti misurati: le diverse condizioni emissive e meteorologiche intervallo-specifiche.

4.3 Efficacia di campionamento

Lo scopo del metodo di campionamento è prelevare elevati volumi di aria ambiente così da minimizzare il numero di congeneri non rilevabili, rendendo quindi il più possibile ininfluenza la scelta dell'approccio per la trattazione degli stessi (**capitolo 3**). In altri termini, quanto minore è il numero di congeneri non rilevabili, tanto più efficace è il campionamento.

In figura 4.1 si riporta la numerosità complessiva, sia assoluta che percentuale, per singola campagna, dei congeneri non rilevabili nel 2021. Il conteggio include tutti i 44 composti di seguito analizzati (15 IPA, 17 diossine e furani e 12 PCB-DL).

La distribuzione dei congeneri non rilevabili risulta massima nel periodo estivo e minima in quello invernale. Il maggior contributo a queste variazioni infrastagionali deriva da diossine e furani, le cui concentrazioni nel periodo estivo sono molto basse. Si nota altresì che l'unica stagione in cui i due siti si differenziano è quella estiva. Quest'ultimo risultato potrebbe dipendere dallo sfasamento temporale tra i campionamenti di cui sopra.

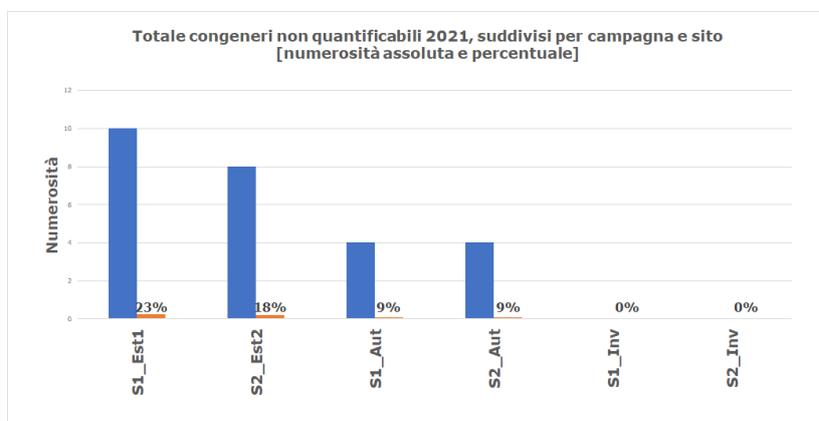


Figura 4.1: Congeneri non quantificabili per sito e per campagna, in termini di numerosità assoluta e percentuale rispetto al totale. Anno 2021. [S1 e S2 indicano rispettivamente i siti la Fenice e Alpini, mentre Est1 e Est2 indica i diversi periodi di campionamento estivi]

4.4 Concentrazioni dei congeneri. Anno 2021

Nelle tabelle 4.2, 4.3, 4.4 si riportano i valori dei congeneri misurati nell'area di massima ricaduta del Termovalorizzatore di San Lazzaro, sia come concentrazione del singolo congenero che come somma delle concentrazioni di tutti i congeneri per gruppo di composti e per stagione, al fine di poterli confrontare con gli analoghi del 2020.

I valori riportati in corsivo nelle tabelle rappresentano le concentrazioni dei congeneri non rilevabili, e che nella presente analisi sono poste pari al LOQ, secondo quanto precedentemente scritto in merito alla scelta dell'approccio per la valutazione dei congeneri non rilevabili (**capitolo 3**). Il simbolo Σ nelle tabelle rappresenta la sommatoria stagionale dei congeneri per sito di misura.

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
DIOSINE	[fg/m ³]					
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	4.7	4.63	41.8	42	90.5	93.5
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	9.33	10.1	101	92.4	156	195
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.557	0.562	2.42	2.19	5.94	5.3
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.557	0.629	4.65	4.8	13.1	10.2
1,2,3,7,8-PeCDD	0.557	0.562	4.01	1.3	14.5	12.7
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.557	0.562	4.36	4.02	9.37	8.02
2,3,7,8-TCDD	0.111	0.112	0.295	0.574	2.61	2.41
Σ diossine	16.4	17.2	147.3	158.5	327.1	292.0
FURANI	[fg/m ³]					
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	5.1	6.49	53.3	40.3	87.3	89.5
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	2.4	4.4	52	26	39.6	56.6
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1.58	1.57	10.6	10	25.1	24.6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.557	0.966	6.66	4.59	11.3	11.2
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1.56	1.69	11.1	9.66	25.3	24.3
1,2,3,7,8-PeCDF	1.31	1.55	7.31	7.41	22.7	21.8
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.557	0.562	1.47	1.3	3.6	3.52
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1.05	1.64	7.19	7.15	19.5	12.5
2,3,4,7,8-PeCDF	1.47	1.78	11.9	10.8	38.5	37
2,3,7,8-TCDF	2.36	3.62	9.31	10	31.8	31.7
Σ furani	17.9	24.3	127.2	170.8	312.7	304.7

Tabella 4.2: Concentrazioni di diossine e furani. Anno 2021

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
PCB-DL	[pg/m ³]					
PCB 105	3.05	5.1	0.611	0.583	1.43	1.4
PCB 114	0.203	0.36	0.0365	0.0353	0.111	0.104
PCB 118	9.06	17.5	1.64	1.62	4.59	4.44
PCB 123	0.735	1.45	0.0887	0.0766	0.41	0.374
PCB 126	0.0312	0.0764	0.0104	0.0177	0.0223	0.0225
PCB 156	0.332	0.51	0.136	0.0825	0.379	0.279
PCB 157	0.0579	0.108	0.0157	0.0118	0.0624	0.054
PCB 167	0.185	0.326	0.0678	0.0412	0.178	0.126
PCB 169	0.0022	0.0022	0.0052	0.0059	0.00445	0.0045
PCB 189	0.02	0.0202	0.0052	0.0059	0.0312	0.0315
PCB 77	1.09	2.47	0.214	0.33	0.232	0.239
PCB 81	0.0512	0.0966	0.0104	0.0177	0.0178	0.018
Σ PCB-DL	14.8	28.0	2.8	2.8	7.5	7.1

Tabella 4.3: Concentrazioni di PCB-DL. Anno 2021

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
IPA	[pg/m ³]					
Antracene	12	6.74	600	463	2940	2790
Benzo(a)antracene	20.8	16.5	663	613	3770	3880
Benzo(a)pirene	11.9	9.24	955	901	4990	5580
Benzo(b)fluorantene	43	30.3	1220	1230	5080	5000
Benzo(e)pirene	28.7	24.3	1060	1070	3520	3850
Benzo(ghi)perilene	34.3	26.3	950	972	4330	4310
Benzo(j)fluorantene	22.7	14.8	835	801	3330	3540
Benzo(k)fluorantene	16.2	13.3	590	547	2520	2880
Crisene	75.9	76.2	1220	1600	6060	5990
Dibenzo(ah)antracene	6.68	6.74	149	117	445	545
Fenantrene	490	181	10200	7010	29500	23700
Fluorantene	692	333	7830	4800	15000	13600
Indeno(123-cd)pirene	33.8	18.2	1020	960	3310	4270
Perilene	6.68	6.74	157	137	682	752
Pirene	485	335	3610	2660	12000	11600
Σ IPA	2.0	1.1	31.1	23.9	97.5	92.3
Σ congeneri in grassetto	0.2	0.2	6.8	6.9	30.5	32.5

Tabella 4.4: Concentrazioni di IPA. Anno 2021

In tabella 4.4 sono evidenziati in grassetto quei congeneri IPA che sono monitorati continuamente in quattro stazioni della città di Padova (Mandria, APS1, APS2 e Granze). Il confronto, per tali congeneri e a parità di periodi, tra i valori misurati nei siti ad alto flusso e nelle stazioni fisse, indica intervalli di concentrazioni fra loro compatibili. Per tale motivo si ritiene che, a parità di congeneri, le concentrazioni di IPA rilevati nella zona di massima ricaduta del Termovalorizzatore rientrino nei valori di concentrazioni misurate nel territorio cittadino⁴.

Le figure successive (fig 4.2, fig 4.3, fig 4.4) sintetizzano i valori di concentrazione dei singoli congeneri di diossine e furani, policlorobifenili diossina simili e IPA riportati nelle tabelle precedenti.

Gli andamenti grafici, così come le tabelle precedenti, evidenziano concentrazioni più elevate nella stagione fredda per diossine, furani e ipa, mentre i policlorobifenili diossina-simili presentano concentrazioni maggiori nel periodo estivo, in linea con quanto già emerso dagli studi precedenti.

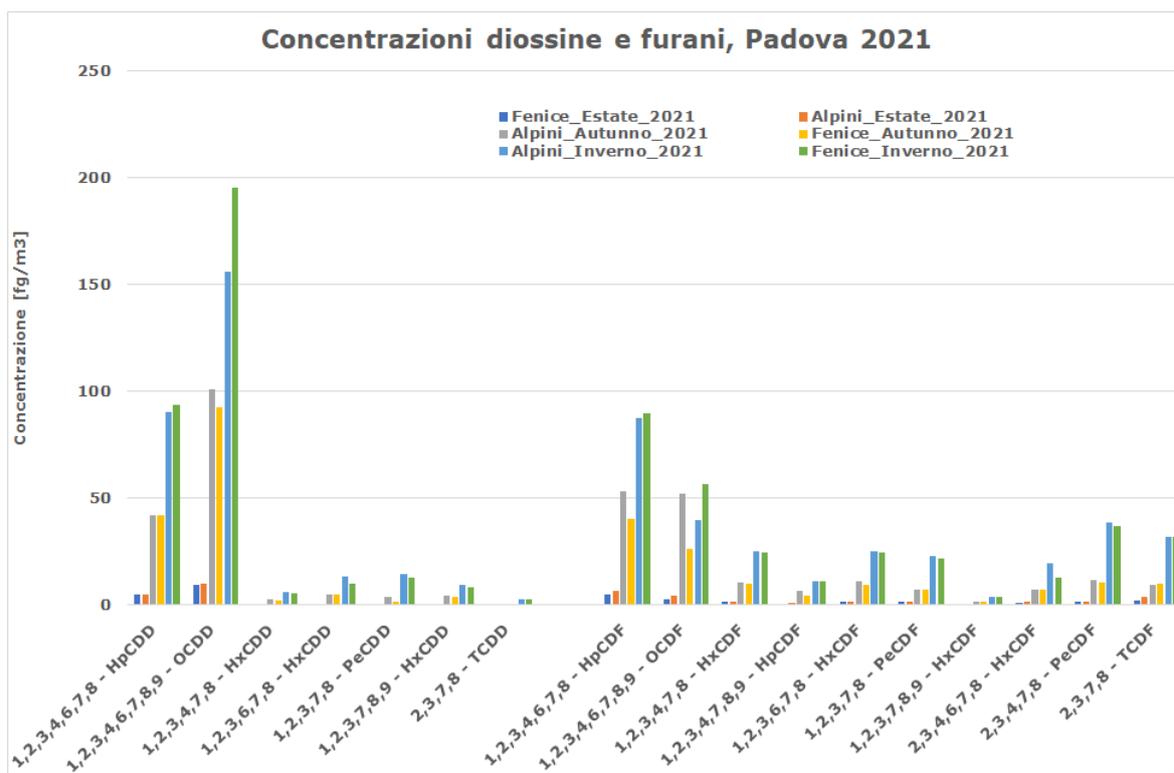


Figura 4.2: Concentrazioni diossine e furani 2021

⁴**Metodo utilizzato per il confronto degli IPA:** le misure di concentrazione nelle stazioni fisse derivano da strumenti che operano a basso flusso e che forniscono, tramite successive analisi di laboratorio sui filtri, dei valori di concentrazione in alcuni giorni della settimana. In linea di principio, quindi, i valori di concentrazione delle stazioni fisse (basso flusso) e quelli ricavati dai due siti qui in esame (alto flusso) non sono direttamente confrontabili. Se lo si facesse, si otterrebbero per le stazioni fisse degli intervalli di concentrazione per gli IPA in grassetto in tabella 4.4 decisamente diversi da quelli dei due siti ad alto flusso. Essendo però noti i flussi giornalieri nelle stazioni fisse, si possono calcolare dei valori di concentrazione *simil alto flusso*, calcolando prima a ritroso i valori di massa e poi considerando la somma di tali valori rispetto al volume totale dei giorni di campionamento. In altri termini, si passa da un valore di concentrazione C espresso come $\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n (m/V)_i$, ad un valore di C pari a $\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n (m)_i / \sum_{i=1}^n (V)_i$, dove m , V , i sono rispettivamente la massa, il volume e il numero di giorni di campionamento. Si consideri infine che il numero di giorni di campionamento con alto flusso è diverso da quello relativo al campionamento degli IPA nelle stazioni fisse, per cui, per poter arrivare a degli intervalli di concentrazione confrontabili è necessario considerare anche il rapporto tra i due diversi intervalli temporali.

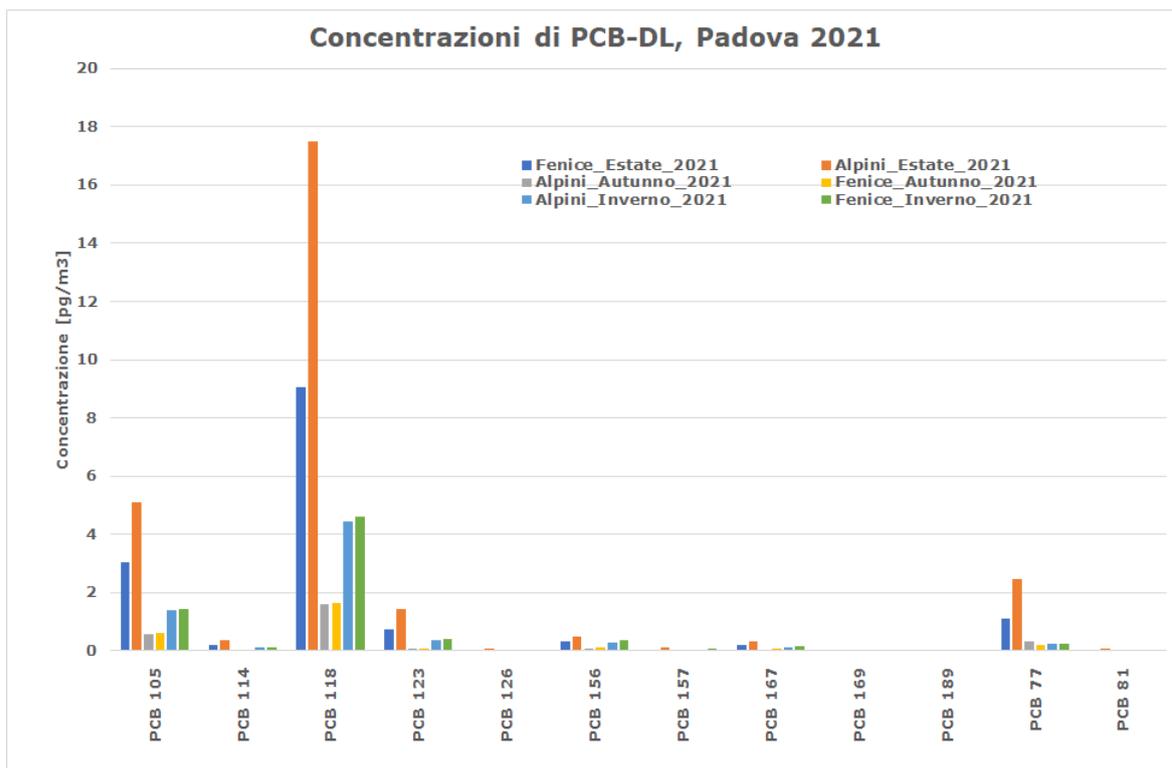


Figura 4.3: Concentrazioni di PCB-DL 2021

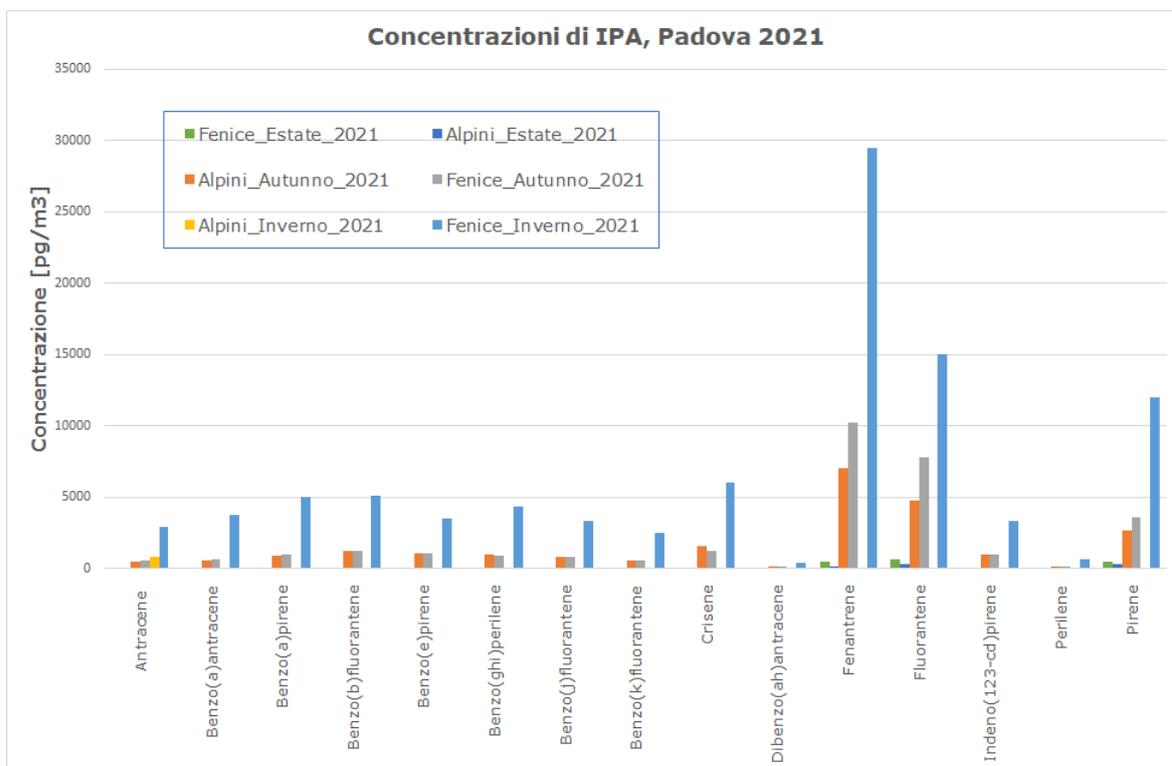


Figura 4.4: Concentrazioni IPA 2021

4.4.1 Incidenza dei congeneri non quantificabili sulle concentrazioni complessive

Calcolando la differenza percentuale tra i valori di concentrazione riportati nelle tabelle 4.2, 4.3, 4.4 e valutati secondo l'approccio upper bound e quelli calcolati seguendo l'approccio lower bound, si ottengono con il primo

approccio variazioni in eccesso dello $0 \div 2\%$ per tutti i composti e per tutte le stagioni. Unica eccezione a questo risultato è rappresentata dalle diossine e dai furani nella stagione estiva, quando la differenza percentuale tra le concentrazioni ottenute con il metodo upper bound e quelle con il metodo lower bound si aggira nell'intervallo $2 \div 14\%$, effetto della minore concentrazione di inquinanti in aria ambiente.

4.4.2 Confronto delle concentrazioni 2020-2021

Nella tabella 4.5 si riportano le somme delle concentrazioni stagionali e totali per gruppo di congeneri per gli anni 2020 e 2021. Per entrambe le annualità i valori riportati sono ricavati applicando il metodo upper bound.

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
Σ diossine 2021 [fg/m ³]	16.4	17.2	147.3	158.5	327.1	292.0
Σ diossine 2020 [fg/m ³]	20.0	21.8	85.3	97.9	364.3	360.5
Σ furani 2021 [fg/m ³]	17.9	24.3	127.2	170.8	312.7	304.7
Σ furani 2020 [fg/m ³]	28.5	21.4	85.6	118.2	312.7	314.7
Σ PCB-DL 2021 [pg/m ³]	14.8	28.0	2.8	2.8	7.5	7.1
Σ PCB-DL 2020 [pg/m ³]	15.5	23.6	4.7	7.3	7.0	8.0
Σ IPA 2021 [ng/m ³]	1.98	1.1	31.1	23.9	97.5	92.3
Σ IPA 2020 [ng/m ³]	0.9	0.6	8.3	10.2	77.4	78.2

Tabella 4.5: Concentrazioni 2020-2021: diossine, furani, PCB-DL e IPA.

Gli scarti più evidenti tra le due annualità in tabella 4.5 si registrano nelle concentrazioni di IPA che, nel 2021 e in entrambi i siti, risultano superiori, per effetto delle maggiori concentrazioni autunnali. Invero, se si escludono i PCB-DL, tutti gli altri gruppi di congeneri, nell'autunno 2021 evidenziano maggiori concentrazioni rispetto al 2020.

Si ritiene plausibile che questa differenza sia prevalentemente da attribuirsi alle diverse condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato le campagne autunnali 2020-2021. A confortare questa ipotesi, e semplicemente considerando la stazione meteorologica di Legnaro, si osserva che la campagna autunnale 2020 è risultata più piovosa e ventosa rispetto alla corrispondente 2021, mentre le altre campagne stagionali, *mutatis mutandis*, sono molto più simili fra loro nelle due annualità.

A mero titolo informativo e a completamento delle informazioni precedenti, si fa presente che le concentrazioni giornaliere di PM10 misurate nei periodi di campagna 2021 nelle stazioni fisse presenti in città sono comprese entro i seguenti intervalli: $2 \div 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna estiva a Parco Fenice; $4 \div 44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna estiva presso la sede degli Alpini; $10 \div 79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna autunnale e $15 \div 84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in quella invernale.

4.5 Analisi della tossicità equivalente 2021

Per il calcolo della TEQ si è fatto ricorso prioritariamente ai fattori di tossicità equivalente (TEF) dell'Organizzazione Mondiale della Sanità WHO-TEF 2005 in quanto sono gli unici che comprendono anche i PCB-DL e quindi permettono di calcolare la somma di diossine, furani e PCB-DL (tabella 4.7).

Di seguito si riportano i valori di TEQ per il 2021, valutati a partire da una trattazione dei dati con approccio **upper bound**, cautelativo, in quanto la TEQ ottenuta corrisponde al massimo del valore ottenibile a partire dal campione dato. I dati, come in precedenza, sono riportati sia in forma tabellare che grafica.

Per completezza di informazione in tabella 4.6 figurano per diossine e furani anche i valori di TEQ calcolata a partire dalla I-TEF del 1988 (valori che non vengono riportati in grafico).

Tossicità equivalente (TEQ). Padova 2021 [fg/m ³]						
Sede	Fenice			Alpini		
Periodo	Estate	Autunno	Inverno	Estate	Autunno	Inverno
DIOSSINE e FURANI (WHO 2005)	2.1	11.2	40.9	2.5	14.3	44.7
DIOSSINE e FURANI (I-TEF 1988)	2.2	12.9	42.6	2.6	14.9	45.7
PCB-DL (WHO 2005)	3.7	1.3	2.6	8.7	2.1	2.6

Tabella 4.6: TEQ 2021: diossine, furani e PCB-DL.

Dalla tabella 4.6 si nota che i valori di TEQ misurati con il fattore I-TEF 1988 sono leggermente superiori e quindi l'utilizzo del fattore WHO-2005 comporta una sottovalutazione della TEQ di diossine e furani indicativamente del 3 ÷ 6% (meno di $4\text{fg}/\text{m}^3$). Si ricorda peraltro che il fattore WHO-2005 è l'unico che consente di calcolare la TEQ per furani, diossine e PCB-DL insieme e che, in ogni caso, il valore di TEQ complessivo (diossine + furani + PCB-DL) è ben al di sotto del limite cautelativo LAI-2004 di $150\text{fg}/\text{m}^3$.

Le figure 4.5, 4.6 riportano i valori di TEQ misurata nel 2021 nei due siti monitorati per diossine e furani e per PCB-DL rispettivamente.

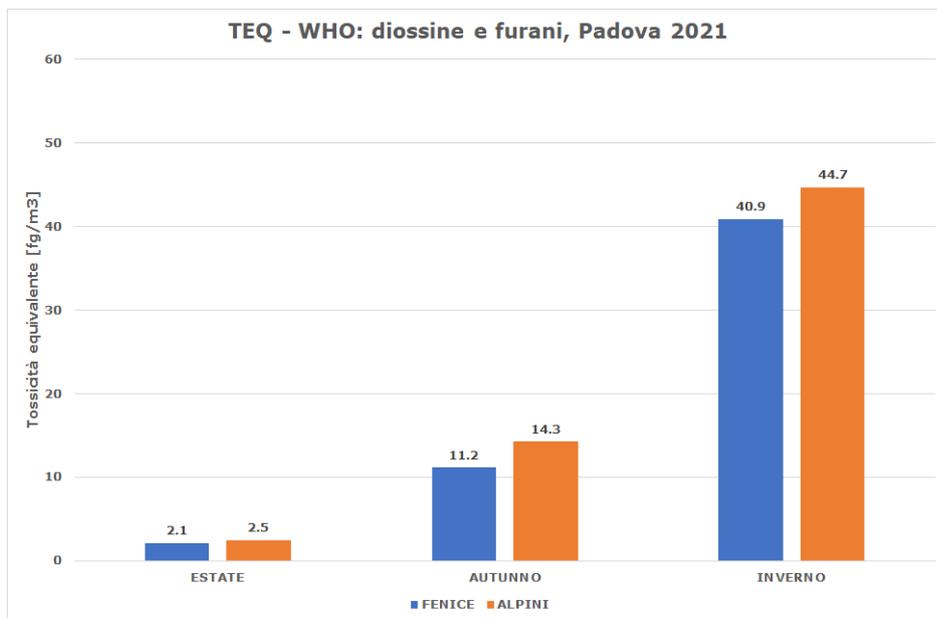


Figura 4.5: TEQ-WHO 2005 per diossine e furani. Anno 2021

Si noti l'andamento complementare tra le TEQ di figura 4.5 e quelle della successiva 4.6, esattamente come per le concentrazioni che, per quanto riguarda i PCB-DL risultano più significative nel periodo estivo.

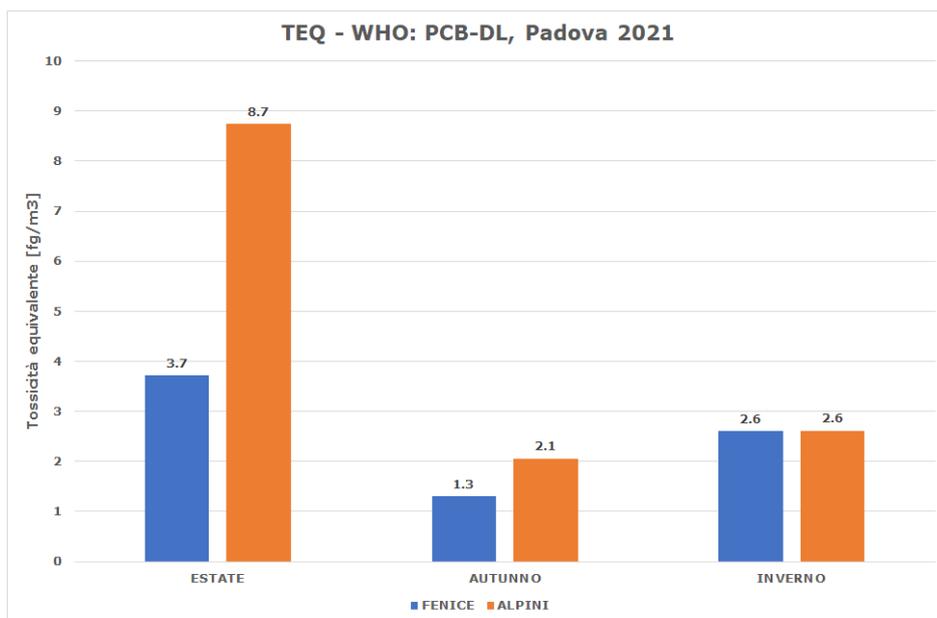


Figura 4.6: TEQ-WHO 2005 per PCB-DL. Anno 2021

4.5.1 Incidenza dei congeneri non quantificabili sulla TEQ complessiva

Per valutare quanto incida sui valori di TEQ complessiva in ciascun sito la scelta dell'approccio upper bound rispetto a quello lower bound, si è valutata la differenza percentuale tra i due valori ottenuti. Ebbene, nel Sito2 (Alpini), dove le concentrazioni di inquinanti sono più elevate, le differenze percentuali tra i due approcci si attestano fra il 3 ÷ 4% in estate e autunno e risultano nulle in inverno. Nel Sito1 (Fenice), le concentrazioni più basse portano ad un aumento delle differenze percentuali tra i due approcci con valori che si attestano fra il 13 ÷ 16% in estate e autunno, e si mantengono nulle nel periodo invernale.

4.5.2 Confronto dei valori di TEQ 2020-2021

In tabella 4.7 si riportano i valori di TEQ WHO-2005 calcolati con approccio upper bound sia per il 2020 che per il 2021. I valori del 2021 sono equivalenti ai corrispondenti riportati in tabella 4.6. La differenza sta nel fatto che in tabella 4.7 vengono esplicitate le singole componenti (diossine, furani e PCB-DL) e di queste viene poi effettuata la somma. Il valore di tale somma va poi confrontato con il livello cautelativo LAI-2004 di $150\text{fg}/\text{m}^3$.

TEQ WHO-2005 a Padova				
Biennio 2020-2021				
[fg/m³]				
Fenice		Estate	Autunno	Inverno
2021	Diossine	0.9	3.4	18.5
	Furani	1.2	7.7	22.4
	PCB-DL	3.7	1.3	2.6
	Σ	6	12	44
2020	Diossine	1.0	4.7	23.1
	Furani	1.4	5.7	24.2
	PCB-DL	8.2	2.5	3.7
	Σ	11	13	51
Alpini		Estate	Autunno	Inverno
2021	Diossine	0.9	5.9	20.9
	Furani	8.4	8.4	23.8
	PCB-DL	8.7	2.1	2.6
	Σ	18	16	47
2020	Diossine	1.1	5.5	25.1
	Furani	7.7	7.7	24.1
	PCB-DL	9.2	3.0	3.2
	Σ	18	16	52

Tabella 4.7: Confronto tra i valori di tossicità equivalente del periodo 2020-2021 a Padova

In definitiva, quindi, non si riscontrano sostanziali differenze tra i valori di TEQ del 2020 e del 2021 e in generale il sito 2 registra valori di concentrazioni e quindi di TEQ leggermente superiori. I valori di TEQ complessiva, stagione per stagione, risultano ben al di sotto del livello cautelativo del LAI-2004.

In figura 4.7 si riportano, stagione per stagione, i valori di TEQ WHO-2005 per ciascun sito nel biennio 2020-2021.

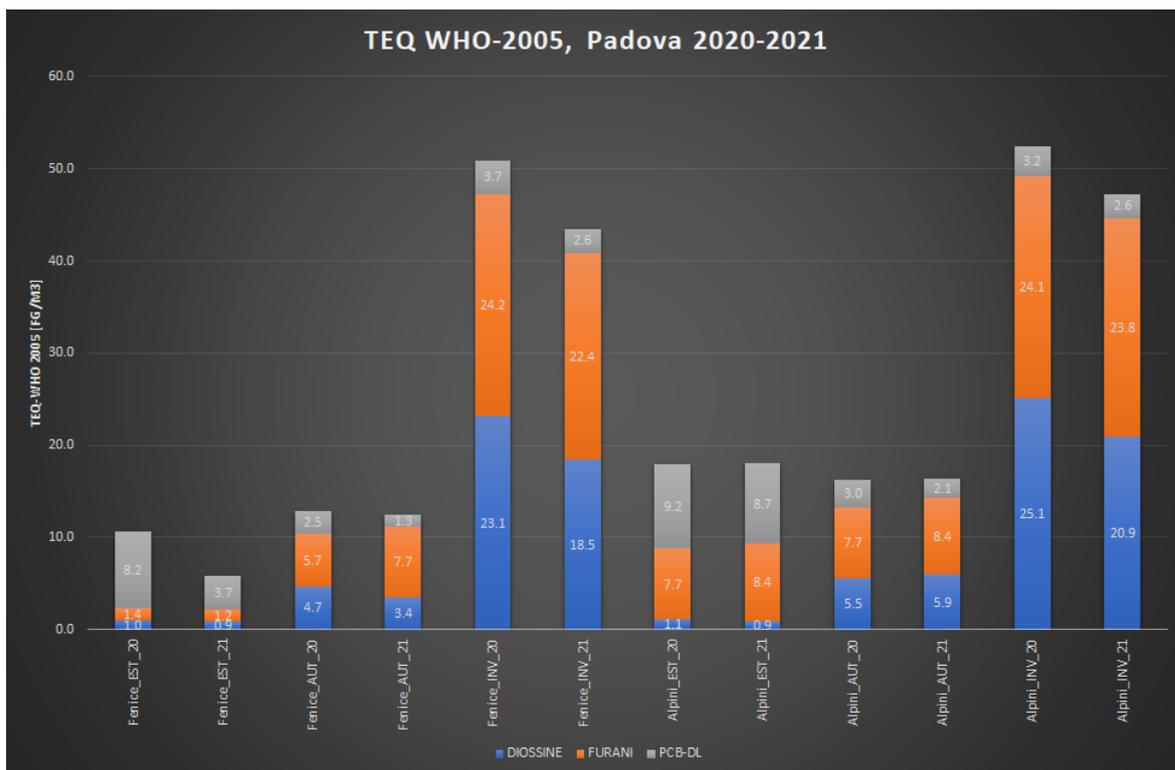


Figura 4.7: TEQ-WHO 2005. Biennio 2020-2021, Padova

Capitolo 5

Sintesi dei risultati

La finalità del presente lavoro è quantificare quattro classi di inquinanti organici persistenti (POPs) presenti in aria ambiente nell'area di massima ricaduta delle emissioni del Termovalorizzatore di Padova San Lazzaro.

Le misure di concentrazione sono state effettuate tramite due campionatori ad alto flusso, uno posizionato presso la sede degli Alpini di San Gregorio, l'altro presso il Parco Fenice di Padova.

Dai valori di concentrazione di diossine, furani e policlorobifenili diossina simili è stata calcolata la tossicità equivalente, tramite i fattori di tossicità disponibili in letteratura. Per il calcolo della tossicità equivalente si è adottato, come metodo di trattazione dei congeneri non quantificabili, l'approccio upper bound.

Poiché un sottogruppo di congeneri di IPA è regolarmente monitorato in alcune stazioni fisse di qualità dell'aria di Padova che operano con strumentazione a basso flusso, si sono confrontate le concentrazioni di tali congeneri derivanti dai due tipi di monitoraggio (alto e basso flusso).

Tutti i risultati dell'analisi 2021 sono stati rapportati a quelli del 2020, questi ultimi qui ricalcolati con metodo upper bound. Per quanto attiene la tossicità, il confronto è stato esteso anche ai valori storici di Padova, anche se misurati in siti diversi dagli attuali.

Il risultato della presente analisi è che **i valori di concentrazione e tossicità equivalente 2021** nei due siti di monitoraggio ad alto flusso qui considerati **sono in linea con i risultati 2019-2020**.

I valori stagionali ricavati per la tossicità equivalente in tutti i siti si confermano ben al di sotto del limite cautelativo LAI-2004 di $150 \text{ fg}/\text{m}^3$ e le concentrazioni dei congeneri IPA monitorati anche in alcune stazioni fisse di qualità dell'aria di Padova non evidenziano andamenti da esse discosti.

Le variazioni maggiori per gli inquinanti monitorati si confermano quelle stagionali. Inoltre, sia le variazioni stagionali che quelle interannuali dipendono fortemente dalle condizioni meteo-climatiche dei periodi di campionamento.

Bibliografia

- [1] ARPAV, *Relazione annuale Qualità dell'Aria*, 2015
Allegato: Diossine, furani e PCB-DL in Veneto. Valutazione dei livelli di alcuni microinquinanti organici in aria ambiente su tutto il territorio regionale. [Relazione tecnica - Veneto](#)
- [2] ARPAV, *Microinquinanti organici persistenti in provincia di Venezia*, 2009
Analisi specifica per la provincia di Venezia. Studio dei fingerprints. [Relazione tecnica - Venezia](#)
- [3] ARPAV, *Monitoraggio con campionatori ad alto flusso. Anno 2020*, 2021
Relazione tecnica sul monitoraggio effettuato nel 2020. [Relazione tecnica - Padova](#)
- [4] ECHA *Linee Guida WHO*, 2000, [European Chemicals Agency - POPs](#)
- [5] APAT, *Diossine, furani e PCB*, 2006
Raccolta unitaria delle informazioni di base di natura tecnica, scientifica e giuridica relative a diossine, furani e PCB, [Diossine, furani e PCB](#)
- [6] APAT, *Analisi di particolato da termovalorizzatori*, 2006
Raccolta unitaria delle informazioni di base di natura tecnica, scientifica e giuridica relative a diossine, furani e PCB, [Analisi particolato da termovalorizzatori](#)
- [7] AA.VV. *Riferimenti LAI 2004*, 2004, [Limiti di riferimento LAI 2004](#)
- [8] WHO *TEF Values WHO, revisione dei limiti del 1998*, 2005
I limiti sono attualmente in fase di ulteriore revisione. [Valori di riferimento 1998 e 2005](#)
- [9] WHO *Linee Guida WHO*, 2000, [Linee Guida WHO](#)

DIPARTIMENTO REGIONALE QUALITÀ DELL'AMBIENTE
Unità Organizzativa Qualità dell'Aria
Via Lissa 6 - 30174 Venezia Mestre - Italia
e-mail: drqa@arpa.veneto.it; orar@arpa.veneto.it



ARPAV
Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto
Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova
Italia Tel. +39 049 82 39301
Fax. +39 049 66 0966
e-mail urp@arpa.veneto.it
e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it
www.arpa.veneto.it