



**ACCORDO PER IL MONITORAGGIO DELLE RICADUTE DEL
TERMOVALORIZZATORE SAN LAZZARO**

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



PADOVA 2022
RELAZIONE TECNICA

Progetto e realizzazione

Dipartimento Regionale Qualità dell'Ambiente

Responsabile: R.Bassan

Unità Organizzativa Monitoraggio Aria

Responsabile: G.Marson

Autore: R.Millini

Gruppo di lavoro: Ufficio Aria Centro, sede di Padova

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.

31 luglio 2023

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 2022	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, 2015-2021	12
4.2	Sintesi meteorologica	13
4.3	Efficacia di campionamento	13
4.4	Concentrazioni dei congeneri. Anno 2022	13
4.4.1	Confronto delle concentrazioni 2020-2022	16
4.5	Analisi della tossicità equivalente 2022	17
4.5.1	Confronto dei valori di TEQ 2020-2022	18
5	Sintesi dei risultati	20
	Bibliografia	21

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. Si precisa, peraltro, che, essendo il Termovalorizzatore immerso nella ZIP (zona industriale di Padova), le ricadute qui esaminate sono il risultato di più contributi industriali e non attribuibili al solo impianto oggetto della presente relazione.

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 2022 è stato effettuato tramite due campionatori mobili ad alto flusso installati nei siti utilizzati nel biennio 2020-2021 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).

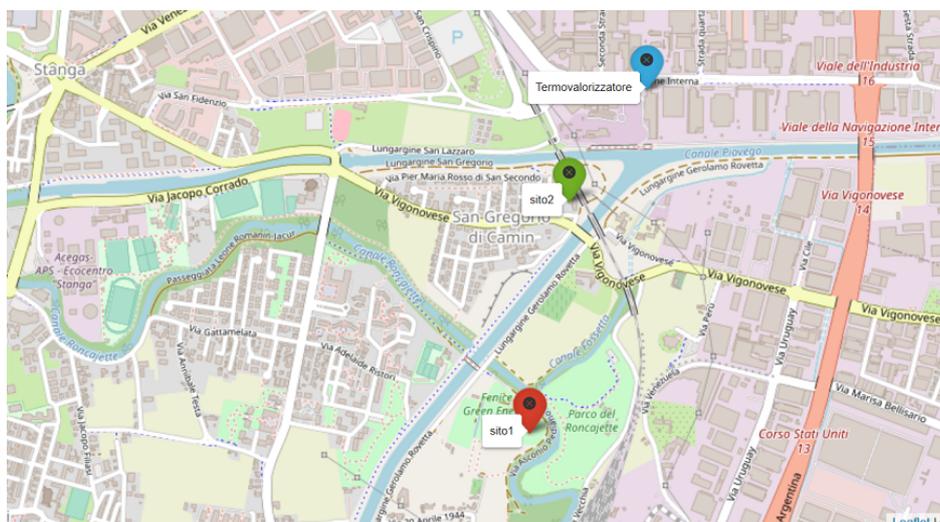


Figura 1.1: Termovalorizzatore San Lazzaro (blu) e siti di campionamento (rosso e verde) con alto flusso (Leaflet©).

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 (GoogleEarth©).

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).

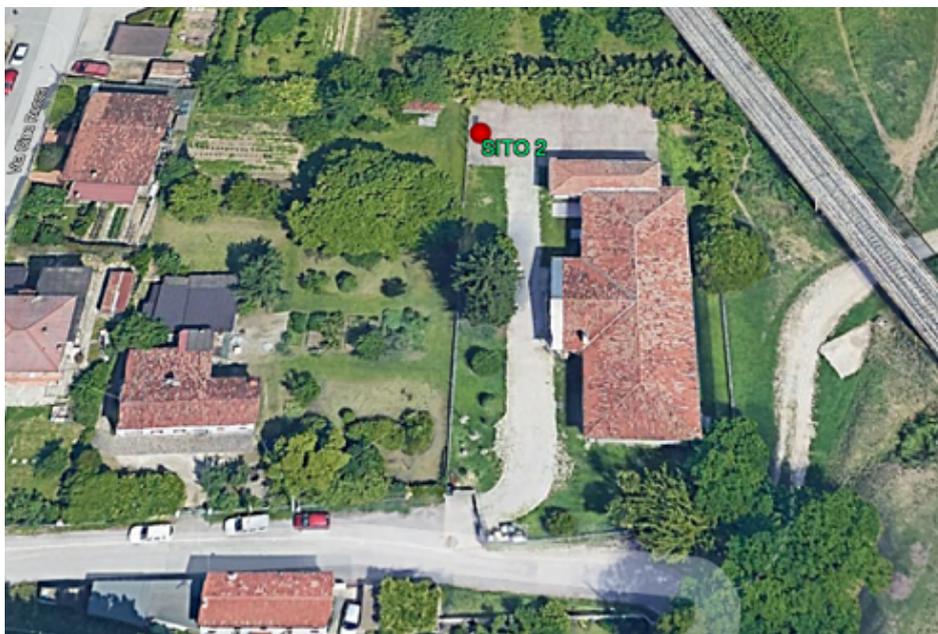


Figura 1.3: Sito2 di campionamento: Sede degli Alpini San Gregorio di Padova; il campionatore (indicatore rosso) è posizionato a circa 1.2 m dal suolo, a ridosso della recinzione (GoogleEarth©).

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 2022

Nel 2022 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.

Stagione	Sito	Periodo	Ore campionate	Volume [m ³] campionato
Estiva	Sito1/Fenice	23/06/2022 – 07/07/2022	333	4497
	Sito2/Alpini		333	4496
Autunnale	Sito1/Fenice	12/10/2022 - 19/10/2022	166	2246
	Sito2/Alpini		166	2248
Invernale	Sito1/Fenice	07/12/2022 – 14/12/2022	166	2248
	Sito2/Alpini		166	2248

Tabella 1.1: Periodi di campionamento con alto flusso nel 2022

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 2022 il monitoraggio di questi inquinanti si è svolto nei medesimi siti del biennio 2020-2021, 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 diossina simili 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: $C_{12}H_4Cl_4O_2$).

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 $1.0ng/m^3$ (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⁾.

¹Nell'ottobre 2022 si è riunito un consesso di esperti a Lisbona per aggiornare i WHO-TEF 2005. I nuovi coefficienti saranno pubblicati sul [sito del WHO](#).

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

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, in linea con quanto fatto nella precedente analisi, di seguito si adotta l'approccio **upper bound**.

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 2022¹ 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, analogamente allo scorso anno, una valutazione empirica dei risultati derivanti dai due diversi metodi di misura.

Al termine dell'analisi, i valori di concentrazione dei congeneri monitorati nel 2022 vengono confrontati con i corrispondenti del biennio 2020-2021.

Per poter contestualizzare nella realtà storica padovana i risultati del 2022, 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 2022.

4.1 Valori di tossicità equivalente a Padova, 2015-2021

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 tra $6 \div 74 fg/m^3$ (²), con valori minimi nel periodo estivo e massimi in quello invernale.

Successivamente, nel 2019-2021, ARPAV ha effettuato ulteriori indagini [3] non più nella stazione di fondo urbano di Mandria, ma in sedi che, benché diverse tra il 2019 e 2020, 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 $6 \div 54 fg/m^3$.

Come risulterà dalla presente analisi, **i valori misurati nel 2022** negli stessi siti di misura del 2020 e 2021 **presentano valori massimi inferiori rispetto ai precedenti** e compresi nell'intervallo $8 \div 25 fg/m^3$ (³). Tale differenza nei massimi si ritiene sia imputabile alle particolari condizioni climatiche che hanno caratterizzato la campagna invernale 2022 (molto piovosa).

Si noti che i suddetti intervalli di valori di TEQ sono tutti 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 siano causate quasi esclusivamente dalle distinte condizioni meteorologiche dei periodi di campagna.

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 2019-2022. 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.

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 2022.

A titolo informativo si precisa che le campagne 2022 sono state effettuate nelle stesse settimane scelte nel 2021, eccettuata, in quest'ultimo caso, una delle due campagne estive. Mentre la campagna di ottobre 2022 presenta una situazione meteorologica simile a quella del 2021, molto diversa è la campagna invernale 2022 poiché il mese di dicembre 2022 è stato uno dei più piovosi degli ultimi anni.

Stagione	Periodo	Sintesi meteorologica
Estiva	23/06/2022–07/07/2022	3 giorni di precipitazioni deboli/moderate; abbastanza dispersivo in termini di vento
Autunnale	12/10/2022–19/10/2022	assenza di precipitazioni; abbastanza dispersivo in termini di vento
Invernale	07/12/2022–14/12/2022	3 gg con precipitazioni deboli/moderate; abbastanza dispersivo in termini di vento

Tabella 4.1: Periodi di campionamento e fattori meteorologici principali

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 ininfluyente 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 2022. 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.

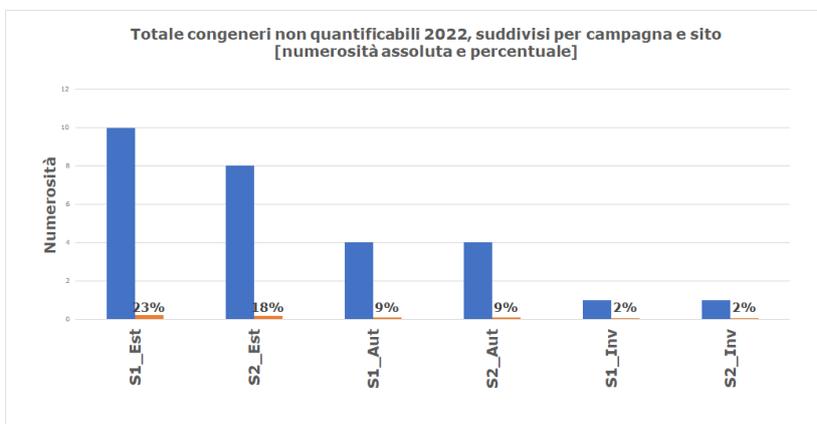


Figura 4.1: Congeneri non quantificabili per sito e per campagna, in termini di numerosità assoluta e percentuale rispetto al totale. Anno 2022 [S1 e S2 indicano rispettivamente i siti la Fenice e Alpini].

4.4 Concentrazioni dei congeneri. Anno 2022

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 congenere 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 biennio 2020-2021.

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	4.14	4.03	20.2	18.9	44.9	45.4
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	9.67	10.2	40.2	37.9	94.7	104
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.556	0.556	1.11	1.11	2.8	3.42
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.556	0.556	2.18	2.05	6.67	6.49
1,2,3,7,8-PeCDD	0.556	0.556	1.65	1.51	5,6	6.14
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.556	0.556	1.6	1.6	5.16	4.98
2,3,7,8-TCDD	0.111	0.111	0.223	0.222	0.979	1.2
Σ diossine	16.1	16.6	67.2	63.3	160.8	171.6
FURANI	[fg/m ³]					
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	6.36	6.34	16.8	16.3	25.9	27.4
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	4.76	3.49	8.33	8.54	13.5	15.1
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1.73	1.51	4.5	4.27	12	12.5
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.867	0.667	2.32	2.49	3.78	3.91
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1.53	1.45	4.63	4.36	12.1	12.6
1,2,3,7,8-PeCDF	1.62	1.65	3.43	3.2	12.1	12.3
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.556	0.556	1.11	1.11	1.25	1.47
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1.73	1.62	5.97	5.92	15.6	15.7
2,3,4,7,8-PeCDF	2.09	1.73	5.25	5.11	20.9	21.7
2,3,7,8-TCDF	4.89	4.18	4.76	4.27	17.9	17.8
Σ furani	26.1	23.2	57.1	55.6	135.0	140.5

Tabella 4.2: Concentrazioni di diossine e furani. Anno 2022

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
PCB-DL	[pg/m ³]					
PCB 105	3.51	5.92	2.08	2.61	0.965	1.13
PCB 114	0.218	0.338	0.116	0.16	0.0623	0.0712
PCB 118	9.61	16.6	5.57	7.74	2.82	3.29
PCB 123	0.95	1.41	0.539	0.685	0.254	0.28
PCB 126	0.0445	0.0934	0.0267	0.0356	0.0133	0.0133
PCB 156	0.56	0.543	0.459	0.316	0.173	0.196
PCB 157	0.1	0.118	0.0623	0.0623	0.0311	0.0311
PCB 167	0.309	0.329	0.232	0.178	0.0845	0.0934
PCB 169	0.0022	0.0022	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
PCB 189	0.0378	0.0334	0.0312	0.0267	0.0178	0.0178
PCB 77	0.869	2.56	0.445	0.872	0.151	0.187
PCB 81	0.0356	0.0956	0.0223	0.04	0.0089	0.00889
Σ PCB-DL	16.2	28.0	9.6	12.7	4.6	5.3

Tabella 4.3: Concentrazioni di PCB-DL. Anno 2022

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
IPA	[pg/m ³]					
Antracene	50.3	7.23	89.9	52.9	1010	1440
Benzo(a)antracene	23.8	13.4	116	127	1430	1550
Benzo(a)pirene	6.67	11	86.4	158	1500	1690
Benzo(b)fluorantene	29.6	31.8	278	324	1860	1890
Benzo(e)pirene	26.2	26.7	207	272	1310	1410
Benzo(ghi)perilene	21.1	28	285	370	1420	987
Benzo(j)fluorantene	14.2	15.8	180	205	1330	1360
Benzo(k)fluorantene	12.3	12.6	159	167	974	1050
Crisene	135	77.8	351	374	2440	2500
Dibenzo(ah)antracene	6.67	6.67	23.8	34.3	153	98.7
Fenantrene	374	153	1610	1220	19700	21200
Fluorantene	1630	262	1790	1140	7690	7690
Indeno(123-cd)pirene	15.1	20	259	300	1070	996
Perilene	6.67	6.67	14.3	23.6	253	250
Pirene	1120	236	1050	890	6050	6000
	[ng/m ³]					
Σ IPA	3.5	0.9	6.5	5.7	48.2	50.1
Σ congeneri in grassetto	0.3	0.2	1.6	1.9	10.8	10.8

Tabella 4.4: Concentrazioni di IPA. Anno 2022

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.

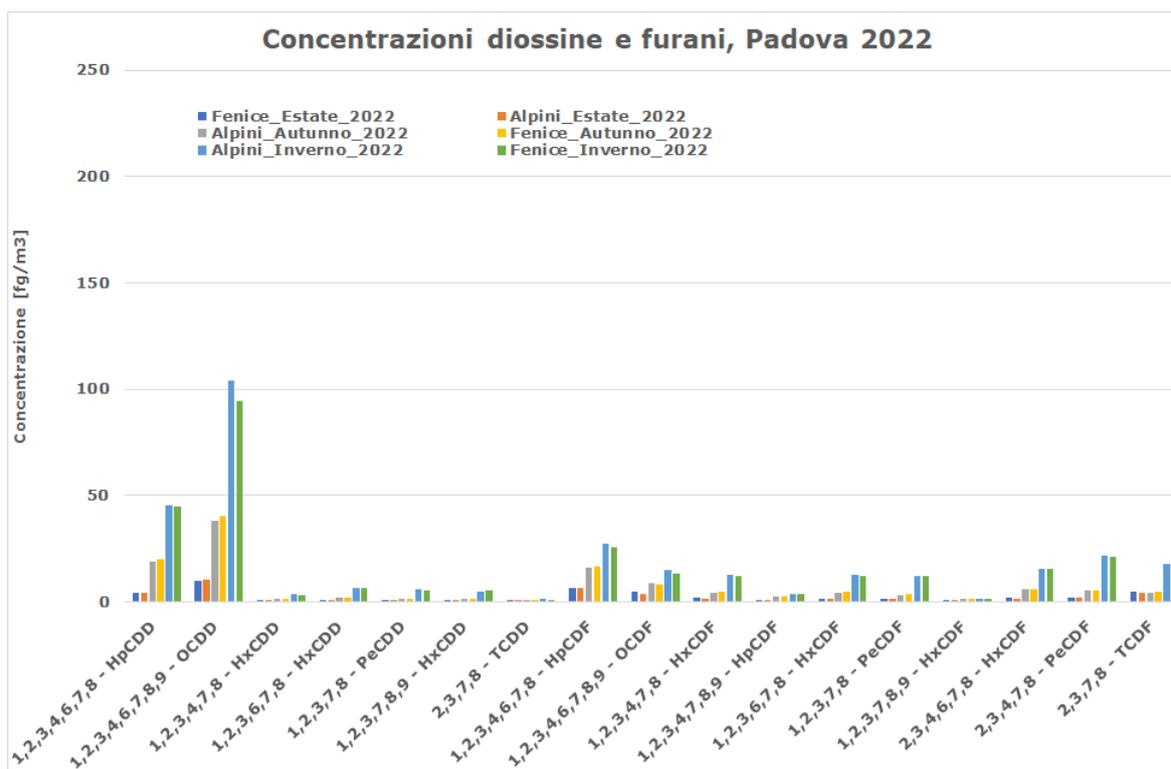


Figura 4.2: Concentrazioni diossine e furani 2022

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.

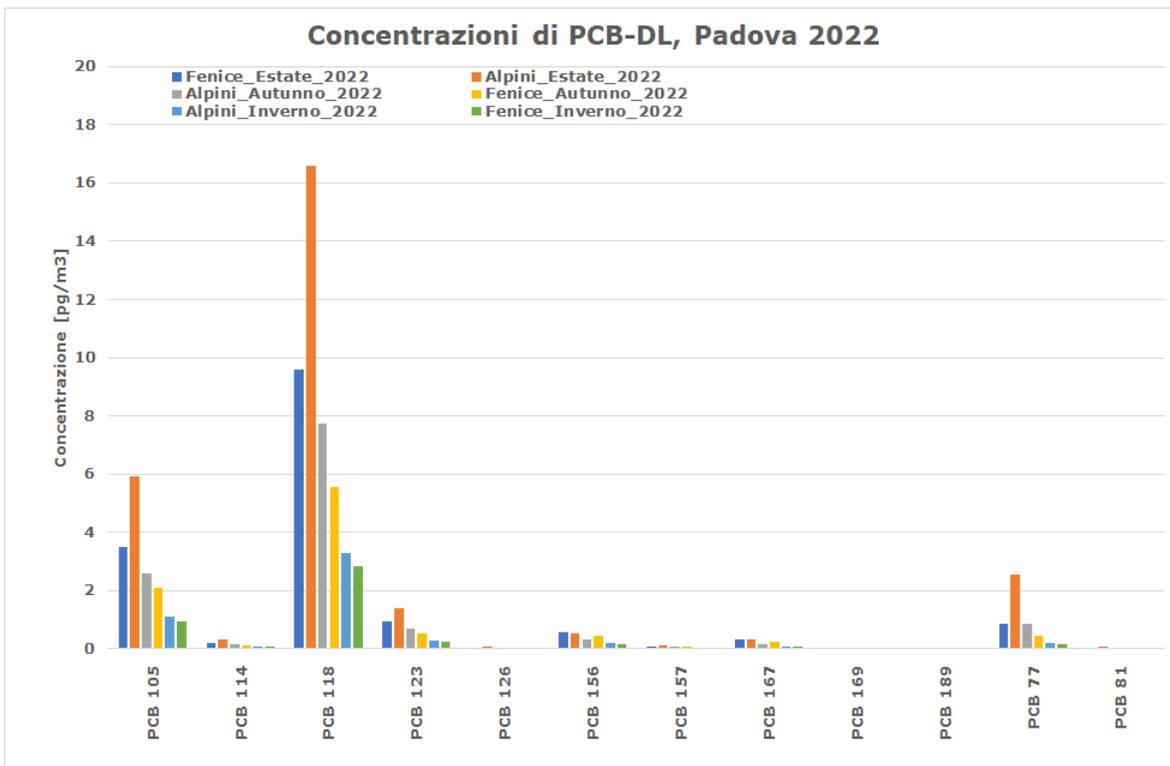


Figura 4.3: Concentrazioni di PCB-DL 2022

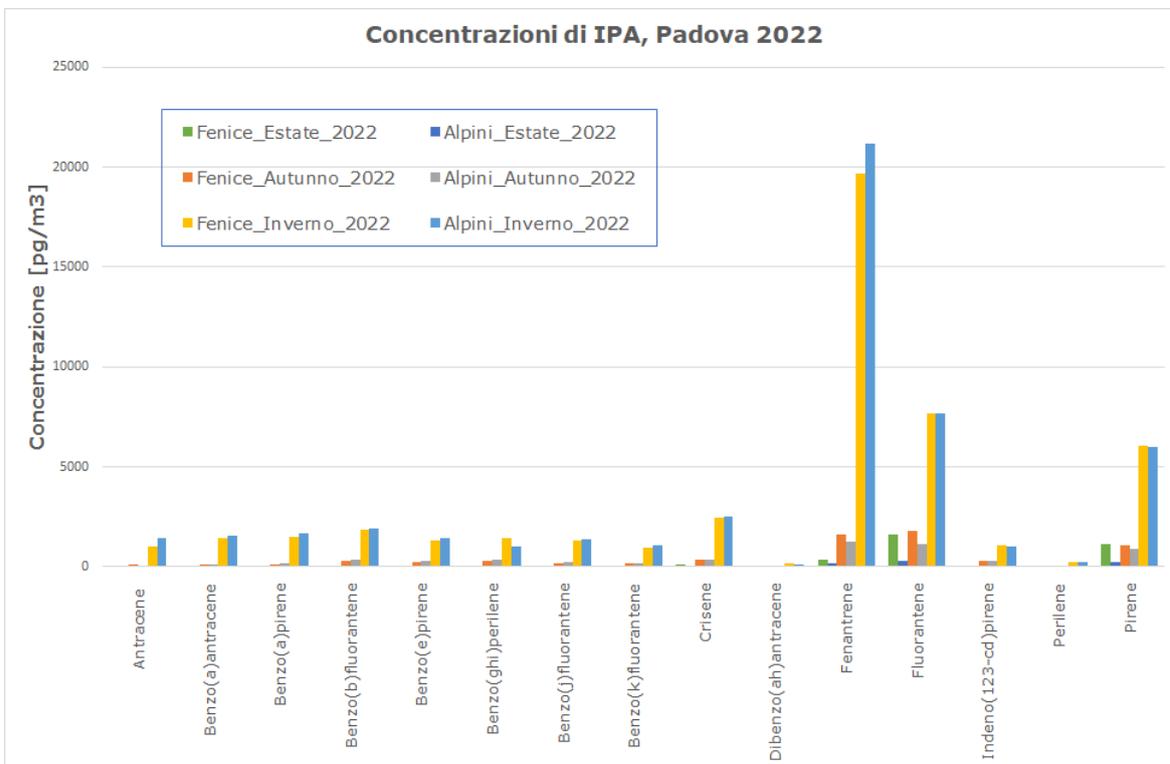


Figura 4.4: Concentrazioni IPA 2022

4.4.1 Confronto delle concentrazioni 2020-2022

Nella tabella 4.5 si riportano le somme delle concentrazioni stagionali per gruppo di congeneri per gli anni 2020, 2021 e 2022, calcolate applicando il metodo upper bound.

Sede	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini	Fenice	Alpini
Periodo	Estate	Estate	Autunno	Autunno	Inverno	Inverno
Σ diossine 2022 [fg/m ³]	16.1	16.6	67.2	63.3	160.8	171.6
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 2022 [fg/m ³]	26.1	23.2	57.1	55.6	135.0	140.5
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 2022 [pg/m ³]	16.2	28.0	9.6	12.7	4.6	5.3
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 2022 [ng/m ³]	3.5	0.9	6.5	5.7	48.2	50.1
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 2020-2022: diossine, furani, PCB-DL e IPA.

In termini di diossine il 2022 presenta le concentrazioni più basse in tutte le stagioni, mentre in termini di furani solo nelle stagioni autunnale e invernale. Per quanto riguarda invece i PCB-DL, le concentrazioni estive e autunnali 2022 risultano le più consistenti, mentre quelle invernali sono le più basse. Gli IPA 2022 mostrano concentrazioni inferiori in autunno e inverno, mentre sono in linea o, nel caso del Sito1 superiori, rispetto al biennio precedente. È probabile che tali differenze siano per lo più ascrivibili alle condizioni meteorologiche maggiormente dispersive che hanno caratterizzato il monitoraggio 2022.

A completamento delle informazioni precedenti, si riportano le concentrazioni giornaliere di PM10 - nei periodi delle campagne di alto flusso 2022 - misurate dalle stazioni fisse presenti in città (Mandria, Arcella, Granze, APS1 e APS2). Tali concentrazioni risultano comprese entro i seguenti intervalli: $12 \div 54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna estiva (i massimi elevati per la stagione sono connessi ad un evento di trasporto di polveri sahariane che ha interessato non solo il Veneto a fine giugno 2022); $27 \div 62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna autunnale e $2 \div 44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in quella invernale (i bassi valori invernali sono connessi alla forte dispersione che ha caratterizzato la settimana di campagna). Se si confrontano tali intervalli di concentrazioni di PM10 con quelli del 2021 si notano concentrazioni più elevate nel 2022 nel corso della campagna estiva e pressoché dimezzate nelle restanti campagne.

4.5 Analisi della tossicità equivalente 2022

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 2022, 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 2022 [fg/m ³]						
Sede	Fenice			Alpini		
	Periodo	Estate	Autunno	Inverno	Estate	Autunno
DIOSSEINE e FURANI (WHO 2005)	2.7	6.5	21.3	2.4	6.2	22.5
DIOSSEINE e FURANI (I-TEF 1988)	2.9	6.9	23.0	2.6	6.6	24.1
PCB-DL (WHO 2005)	5.1	3.1	1.6	10.5	4.1	1.6

Tabella 4.6: TEQ 2022: 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 sottostima della TEQ di diossine e furani indicativamente del $6 \div 7\%$ (circa $2 \text{ fg}/\text{m}^3$). 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 2022 nei due siti monitorati per diossine e furani e per PCB-DL rispettivamente.

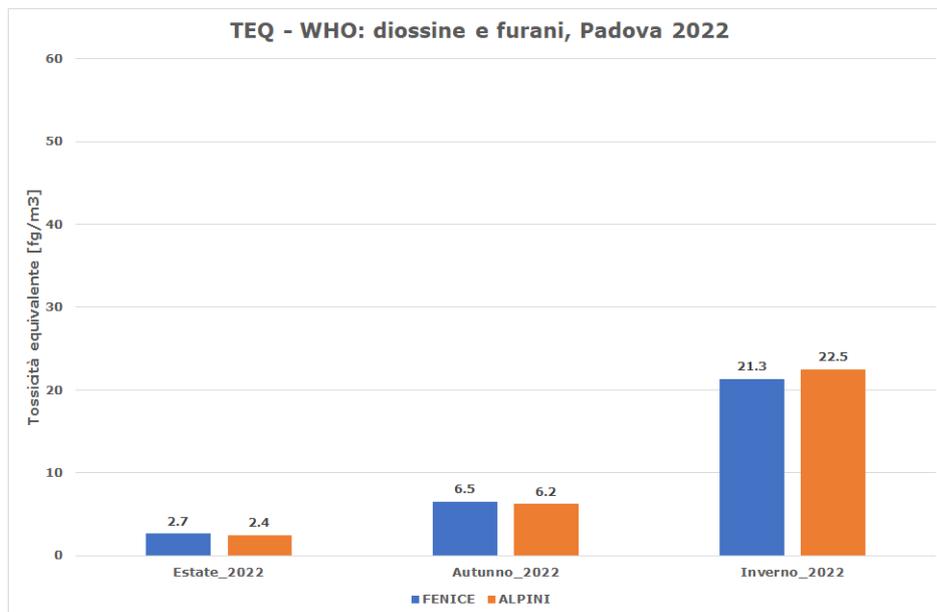


Figura 4.5: TEQ-WHO 2005 per diossine e furani. Anno 2022

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-DI risultano più significative nel periodo estivo.

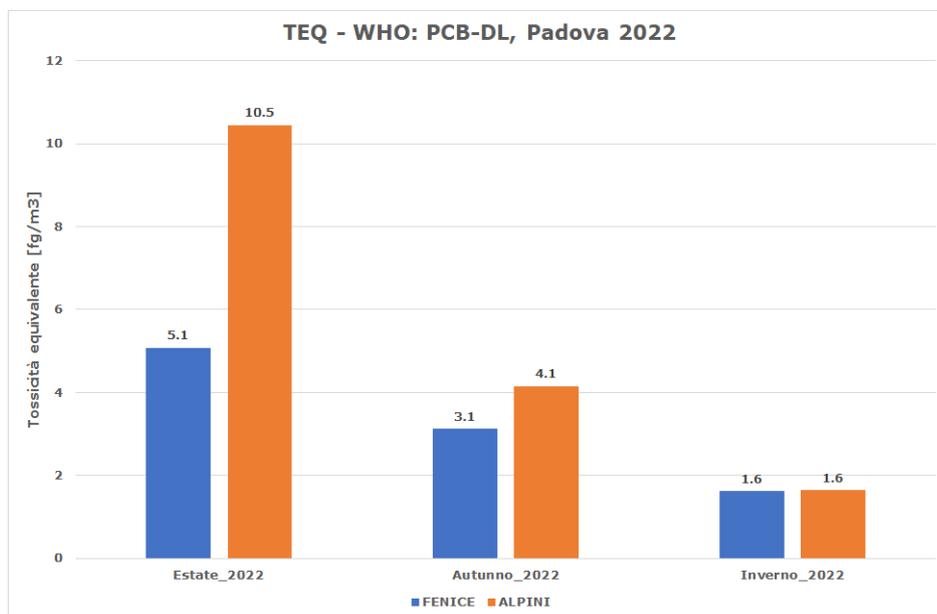


Figura 4.6: TEQ-WHO 2005 per PCB-DL. Anno 2022

4.5.1 Confronto dei valori di TEQ 2020-2022

In tabella 4.7 si riportano i valori di TEQ WHO-2005 calcolati con approccio upper bound nel triennio 2020-2022. I valori del 2022 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 fg/m^3 .

La differenza principale tra i valori di TEQ del triennio analizzato risiede nei valori del dicembre 2022. Nell'intero triennio i valori di TEQ complessiva, stagione per stagione, sono ben al di sotto del livello cautelativo

TEQ WHO-2005 a Padova Triennio 2020-2022 [UM: fg/m ³]				
Fenice		Estate	Autunno	Inverno
2022	Diossine	0.9	2.6	8.5
	Furani	1.8	4.0	12.8
	PCB-DL	5.1	3.1	1.6
	Σ	8	10	23
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
2022	Diossine	0.9	2.4	9.3
	Furani	3.8	3.8	13.2
	PCB-DL	10.5	4.1	1.6
	Σ	15	10	24
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: Valori di tossicità equivalente 2020-2022 a Padova

LAI-2004. In figura 4.7 si riportano, stagione per stagione, i valori di TEQ WHO-2005 per i due siti nel triennio 2020-2022. Si noti l'evidenza dell'anomalia della campagna invernale 2022, caratterizzata da condizioni meteorologiche molto dispersive, sia in termini di precipitazione che di vento.

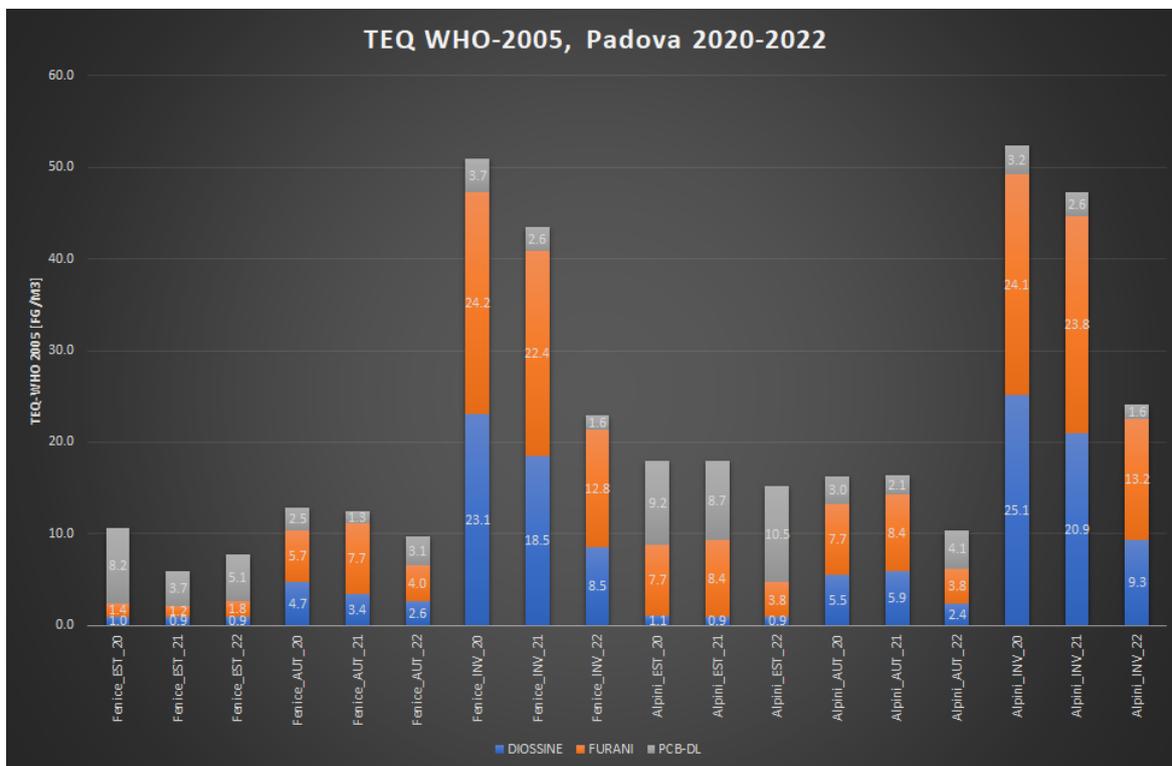


Figura 4.7: TEQ-WHO 2005. Triennio 2020-2022, Padova

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 monitoraggi (alto e basso flusso).

Tutti i risultati dell'analisi 2022 sono stati confrontati con quelli del precedente biennio 2020-2021. Per quanto attiene la tossicità, il confronto è stato esteso anche ai valori storici di Padova, anche se misurati in siti diversi dagli attuali.

I valori di concentrazione e tossicità equivalente misurati nel 2022 nei due siti qui considerati sono in linea con quelli misurati nel triennio 2019-2021.

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



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
portale: www.arpa.veneto.it