

Rapporto sulla qualità dell'aria

Stazione locale di rilevamento della qualità dell'aria “Hera” Via Barsanti - Forlì

Anno 2024



Edizione Novembre 2025

Gli operatori di **ARPAE – Sezione di Forlì-Cesena** che hanno collaborato:

Gestione monitor e postazioni

Flavio Rovere
Gloria Maresi
Silvia Sandrini

Elaborazione dati

Francesca Liguori
Gloria Maresi
Silvia Sandrini

Redazione relazione

Francesca Liguori
Gloria Maresi
Silvia Sandrini

INDICE

1 . IL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI QUALITÀ DELL'ARIA.....	1
1.1 – Quadro normativo: limiti e valori di riferimento.....	1
1.2 - Valori guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).....	4
1.3 - Nuova Direttiva Europea UE 2024/2881 relativa alla qualità dell'aria.....	6
2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	10
2.1 – Introduzione.....	10
2.2 – Informazione e gestione dei dati della stazione locale di monitoraggio.....	12
3 - INDICATORI METEOROLOGICI PER LO STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL TERRITORIO DI FORLÌ'	13
3.1 Indicatori meteorologici a supporto dello studio della qualità dell'aria.....	13
3.2 - Andamento meteorologico del 2024.....	13
3.2.1 Temperatura.....	13
3.2.2 Precipitazioni.....	14
3.2.3 Intensità e direzione del vento.....	16
4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	18
4.1 Biossido di Azoto NO ₂ e Ossidi di Azoto NO _x	20
4.2 Monossido di Carbonio CO.....	24
4.3 Mercurio Totale Gassoso (Hg).....	27
4.4 Particolato PM ₁₀	31
4.5 Particolato PM _{2.5}	35
4.6 ANALISI DI METALLI PESANTI E MICROINQUINANTI ORGANICI SUL PARTICOLATO ATMOSFERICO.....	40
4.6.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).....	41
4.6.2 Metalli.....	46
4.6.3 Microinquinanti organici: Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB) nel particolato PM ₁₀	52
4.6.3.1 Fattore di tossicità equivalente per Policlorodibenzodiossine (PCDD), Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB).....	53
4.6.3.2 Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF).....	54
4.6.3.3 Policlorobifenili (PCB).....	60
4.7 - Deposizione atmosferica.....	64
4.7.1 Metalli.....	66
4.7.2 IPA, Policlorobifenili (PCB), Diossine (PCDD) e Furani (PCDF).....	67
5 - CONCLUSIONI.....	75

1 . IL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI QUALITÀ DELL'ARIA

1.1 – Quadro normativo: limiti e valori di riferimento

La normativa di riferimento per la tutela della qualità dell'aria affronta la tematica secondo due aspetti fondamentali: agisce mediante il controllo delle emissioni delle fonti inquinanti (fissando limiti alle emissioni) e individua gli obiettivi di qualità dell'aria, il sistema di valutazione di tali obiettivi, le modalità di monitoraggio. Inoltre, fissa standard di qualità, metodi e criteri di misura comuni con lo scopo di proteggere la salute umana e l'ambiente nel suo complesso.

La legge quadro in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente è il Decreto Legislativo n.155/2010, che attua la direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. Il Decreto indica quali strumenti utilizzare per effettuare la valutazione della qualità dell'aria e il monitoraggio dei livelli di inquinamento atmosferico, le caratteristiche delle reti di monitoraggio e introduce l'impiego di tecniche modellistiche e dell'inventario delle emissioni.

L'attuale rete regionale, ridisegnata a norma del D.Lgs. 155/2010, è composta da 47 stazioni di monitoraggio. La Regione Emilia-Romagna ha effettuato la zonizzazione del proprio territorio in aree omogenee ai fini della valutazione della qualità dell'aria (Delibera della Giunta regionale del 27/12/2011, n. 2001) prevedendo la suddivisione del territorio in un agglomerato (Bologna) ed in tre zone omogenee: la zona "Appennino", la zona "Pianura Ovest" e la zona "Pianura Est" (Figura 1.1). La configurazione della rete è stata individuata, oltre che in conformità alla normativa, seguendo criteri di rappresentatività del territorio e di economicità del sistema di monitoraggio, integrando i dati storici rilevati in siti fissi con i modelli numerici della diffusione, trasporto e trasformazione chimica degli inquinanti.

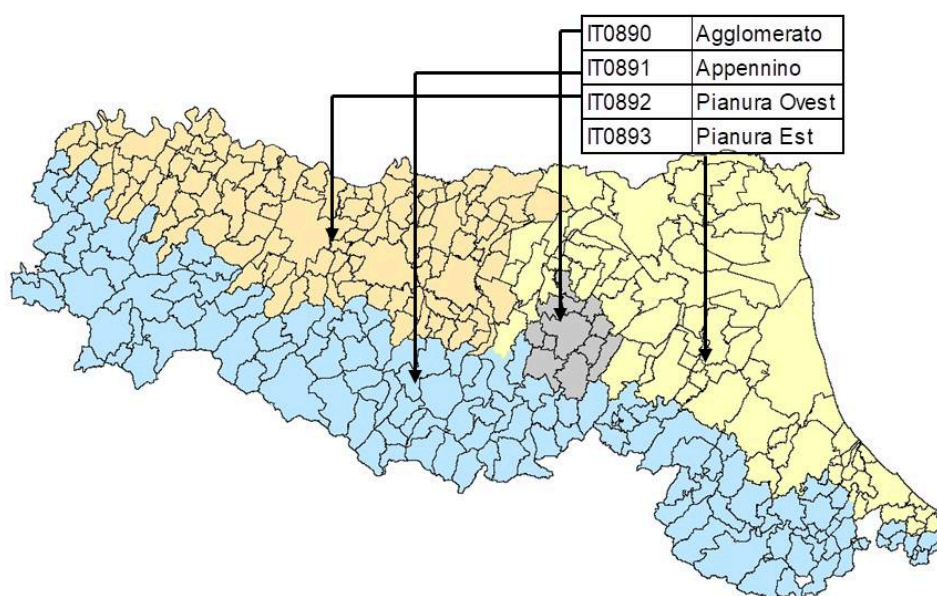


Figura 1.1 – Zonizzazione regionale (D.Lgs. 155/2010 e DGR 2001/2011)

Il monitoraggio effettuato con la centralina Hera (stazione Locale Industriale) ha la finalità di valutare eventuali impatti sulla qualità dell'aria derivanti dalle emissioni dell'inceneritore nelle aree circostanti. La stazione di Hera non fa parte della rete regionale e non concorre con i propri dati alla valutazione della qualità dell'aria di Forlì in quanto le concentrazioni misurate sono prevalentemente indicative della realtà locale, mentre le stazioni della rete regionale di monitoraggio sono collocate in modo da rappresentare l'intero territorio provinciale.

Sebbene i dati delle "stazioni locali" non siano utilizzati per le finalità del D.Lgs. 155/2010 (valutazione della qualità dell'aria a livello provinciale), di seguito si riportano i limiti di riferimento contenuti nello stesso decreto per gli inquinanti monitorati in questa stazione (Tabella 1.1). Il riferimento ai limiti del D.Lgs. 155/2010, infatti, consente di controllare l'andamento delle concentrazioni di inquinanti ai recettori nella postazione di via Barsanti e valutarne il rispetto o meno.

Tabella 1.1 – Limiti di legge (D.Lgs. 155/2010) per gli inquinanti misurati nella stazione Hera

inquinante	descrizione	elaborazione	limite	superamenti consentiti
PM10	Valore limite giornaliero	Media giornaliera	50 µg/m ³	35 giorni in un anno
	Valore limite su base annua	Media annuale	40 µg/m ³	/
PM2.5	Valore limite su base annua	Media annuale	25 µg/m ³	/
NO₂	Valore limite orario	Media oraria	200 µg/m ³	18 ore in un anno
	Valore limite su base annua	Media annuale	40 µg/m ³	/
CO	Valore limite 8h	Massima delle medie mobili su 8 ore	10 mg/m ³	/

Il D.Lgs. 155/2010 non prevede, fra gli inquinanti da valutare per definire la qualità dell'aria, il monitoraggio in continuo del mercurio, mentre fissa obiettivi di qualità per IPA e Metalli e un valore limite per il piombo contenuti nel PM10 (Tabella 1.2):

Tabella 1.2 –Valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene.

<i>Inquinante</i>	<i>Parametro</i>	<i>Valori Obiettivo</i>
Arsenico	Tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	6,0 ng/m ³
Cadmio		5,0 ng/m ³
Nichel		20,0 ng/m ³
Benzo(a)pirene		1,0 ng/m ³

La norma suggerisce, in un numero limitato di stazioni, di effettuare, contestualmente al benzo(a)pirene, la misurazione delle concentrazioni nell'aria ambiente di altri 6 IPA: benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene e dibenzo(a,h)antracene, al fine di verificare la costanza dei rapporti nel tempo e nello spazio tra il benzo(a)pirene e gli altri idrocarburi policiclici aromatici di rilevanza tossicologica.

L'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato, fino ad ora, 48 IPA; la classificazione di alcuni dei composti che più frequentemente si ritrovano nell'aria sono riportati in Tabella 1.3, dove sono evidenziati in grigio quelli richiamati dal D.Lgs. 155/2010.

Tabella 1.3 – Cancerogenicità dei principali IPA.

Nome	Classificazione IARC	Nome	Classificazione IARC
benzo[a]pirene	1	dibenzo[a,h]acridine	2B
benzo[a]antracene	2A	dibenzo[a,i]pirene	2B
dibenzo[a,h]antracene	2A	benzo[g,h,i]perilene	3
benzo[b]fluorantene	2B	metilfenantrene	3
benzo[j]fluorantene	2B	crisene	3
benzo[k]fluorantene	2B	antracene	3
indeno[1,2,3-cd]pirene	2B	fluorene	3
5-metil-crisene	2B		
Nota : 1: Cancerogeno 2A: Probabile cancerogeno per l'uomo 2B: Possibile cancerogeno per l'uomo 3: Non classificabile come cancerogeno per l'uomo			

Sempre il D.Lgs. 155/2010 prevede che si possano utilizzare, per valutare la qualità dell'aria ambiente, oltre alle misurazioni in siti fissi (rete di rilevamento della qualità dell'aria), tecniche di valutazione (es. i modelli di diffusione), tecniche di stima obiettiva¹ e misurazioni indicative, cioè misurazioni dei livelli degli inquinanti effettuate utilizzando stazioni di misurazione mobili o metodi di misura manuali - come campionatori rilocabili, campionatori passivi, ecc... - ai quali si applicano obiettivi di qualità meno severi rispetto a quelli previsti per le misurazioni in siti fissi. Gli obiettivi di qualità anche per le misure indicative sono riportati, in funzione dei diversi inquinanti, nell'Allegato I del D.Lgs. 155/2010 (Tabella 1.4):

Tabella 1.4 – Obiettivi di qualità dei dati per misure indicative (Allegato I – D.Lgs. 155/2010)

Inquinante	Incertezza	Raccolta minima dei dati	Periodo minimo di copertura
Particolato e Pb	50%	90%	14% ¹
B(a)P²	50%	90%	14% ⁴
As, Cd e Ni³	40%	90%	14% ⁴

¹ Misurazione effettuata in un giorno variabile di ogni settimana dell'anno in modo tale che le misurazioni siano uniformemente distribuite nell'arco dell'anno oppure effettuata per otto settimane distribuite equamente nell'arco dell'anno. Le misurazioni indicative devono essere ripartite in modo uniforme nel corso dell'anno al fine di evitare risultati non rappresentativi.

² Per le misurazioni in siti fissi indicative delle concentrazioni del benzo(a)pirene e degli idrocarburi policiclici aromatici il campionamento deve avere una durata di 24 ore. I singoli campioni prelevati durante un periodo non eccedente un mese possono essere combinati e analizzati come un campione unico, purché sia garantita la stabilità dei singoli campioni in tale periodo. In caso di difficoltà nella risoluzione analitica del benzo(b)fluorantene, del benzo(j)fluorantene e del benzo(k)fluorantene, le concentrazioni di tali inquinanti possono essere riportate come somma. I campionamenti devono essere ripartiti in modo uniforme nel corso della settimana e dell'anno.

³ Per le misurazioni in siti fissi e indicative delle concentrazioni dell'arsenico, del cadmio e del nichel il campionamento deve avere, ove tecnicamente possibile, una durata di 24 ore. I campionamenti devono essere ripartiti in modo uniforme nel corso della settimana e dell'anno.

⁴ Le tecniche di stima obiettiva si basano su conoscenze scientifiche circa la distribuzione delle concentrazioni e, utilizzando metodi matematici, consentono di calcolare le concentrazioni a partire da valori misurati in luoghi o tempi diversi da quelli a cui si riferisce il calcolo

Il D.Lgs. 155/2010 e s.m.i. non prevede valori di riferimento per le concentrazioni di mercurio in aria ambiente. I valori presi come riferimento sono quelli contenuti in alcuni documenti, che riportano le concentrazioni di mercurio tipiche di alcune tipologie di aree (remote, urbane e siti critici); in particolare:

- ⇒ Ambient Air Pollution by Mercury – Position Paper (2002);
- ⇒ WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition, (2000).

1.2 - Valori guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)

Nel 2021, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha aggiornato le proprie Linee guida (AQG). In questa revisione, l'OMS ha identificato i livelli di qualità dell'aria da raggiungere per proteggere la salute umana, focalizzandosi su sei inquinanti principali: PM_{2,5}, PM₁₀, ozono, biossido di azoto, biossido di zolfo e monossido di carbonio. I valori guida rappresentano le concentrazioni di inquinanti nell'aria al di sotto delle quali, secondo le evidenze scientifiche disponibili, non si prevedono effetti avversi sulla salute. Essi costituiscono, pertanto, uno strumento essenziale per valutare l'esposizione della popolazione a livelli di inquinanti potenzialmente dannosi per la salute. Inoltre, forniscono un importante riferimento per la definizione di standard e obiettivi normativi, inclusa l'attuale revisione della direttiva europea.

L'aggiornamento delle linee guida, si è reso necessario alla luce dei sempre più numerosi studi che dimostrano gli impatti negativi sulla salute provenienti da livelli di inquinamento atmosferico anche bassi.

Con la revisione e l'abbassamento dei limiti, l'OMS intende anche contribuire alla mitigazione del cambiamento climatico: alcuni inquinanti, infatti, come il black carbon e l'ozono troposferico, hanno anche un effetto sul riscaldamento globale.

Rispetto all'ultimo aggiornamento del 2006, le principali modifiche apportate sono:

- PM₁₀: il valore annuale passa da 20 a 15 µg/m³, quello sulle 24 ore da 50 a 45 µg/m³
- PM_{2,5}: il valore annuale passa da 10 a 5 µg/m³, quello sulle 24 ore da 25 a 15 µg/m³
- biossido di azoto: il valore annuale passa da 40 a 10 µg/m³ e viene introdotto un valore sulle 24 ore pari a 25 µg/m³
- ozono: si introduce un valore per il picco stagionale pari a 60 µg/m³
- biossido di zolfo: il valore sulle 24 ore passa da 20 a 40 µg/m³
- monossido di carbonio: si introduce un valore sulle 24 ore pari a 4 µg/m³

Rimangono validi i valori guida o valori di riferimento precedenti che non sono stati modificati nella versione 2021.

Pertanto, i valori guida dell'OMS per la qualità dell'aria risultano (Tabella 1.5):

Tabella 1.5 - Valori guida della qualità dell'aria indicati dall'OMS

(<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

Solo per gli Xileni il riferimento è WHO: Xylenes, Environmental Health Criteria 190, World Health Organization, Geneva, CH, 1997

<i>Sostanza</i>	<i>Valore guida</i> OMS-AQG⁽¹⁾ – valori guida 2021	<i>Tempo di mediazione</i>
NO ₂	10 µg/m ³	annuale 1 ora
	200 µg/m ³	
SO ₂	40 µg/m ³	24 ore 10 min
	500 µg/m ³	
O ₃	100 µg/m ³	8 ore picco stagionale*
	60 µg/m ³	
PM ₁₀	15 µg/m ³	annuale 24 ore
	45 µg/m ³	
PM _{2.5}	5 µg/m ³	annuale 24 ore
	15 µg/m ³	
CO	4 mg/m ³	24 ore
	100 mg/m ³	15 min
	35 mg/m ³	1 ora
	10 mg/m ³	8 ore
Toluene	260 µg/m ³	Media settimanale
Xileni	4800 µg/m ³	Media su 24 ore

*media della concentrazione massime giornaliere calcolata su 8 ore nei sei mesi estivi (1° aprile – 30 settembre)

(1) **Air Quality Guidelines**: una serie di raccomandazioni dell'OMS per proteggere la salute dell'uomo dagli effetti negativi provenienti dall'esposizione a sostanze pericolose e inquinanti atmosferici. Inoltre, è uno strumento per le autorità nazionali a gestire e ridurre tali sostanze inquinanti.

L'OMS, per alcuni inquinanti atmosferici ad azione cancerogena (Tabella 1.6), non fornisce un valore guida ma indica l'indice di rischio unitario per la popolazione, ovvero il rischio associato alla presenza di tali inquinanti nell'aria a cui è sottoposta la popolazione. La stima dell'incremento di rischio unitario (U.R.) è intesa come il rischio addizionale di cancro che può verificarsi in una ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui siano continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano pari ad 1 µg/m³.

Tabella 1.6 Indice di rischio unitario (OMS)

<i>Sostanza</i>	<i>Rischio unitario</i> Indice di rischio/tempo di vita (µg/m ³) ⁻¹
BENZENE	6 x 10 ⁻⁶
IPA (BaP)	8.7 x 10 ⁻²
NICHEL	3.8 x 10 ⁻⁴
ARSENICO	1.5 x 10 ⁻³
CROMO esavalente	(1.1 ÷ 13) x 10 ⁻²

1.3 - Nuova Direttiva Europea UE 2024/2881 relativa alla qualità dell'aria

L'aria pulita è essenziale per la salute umana e per la salvaguardia dell'ambiente. Negli ultimi trent'anni l'Unione europea (UE) ha ottenuto notevoli miglioramenti nella qualità dell'aria grazie agli sforzi congiunti che ha messo in campo assieme alle autorità nazionali, regionali e locali degli Stati membri al fine di ridurre gli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico: si è passati da circa un milione di decessi prematuri all'anno ad inizio anni 90 ai circa 300 000 di oggi (in Italia sono circa 47000 l'anno). Resta comunque un numero consistente di malattie come l'asma, i problemi cardiovascolari e il cancro ai polmoni attribuiti all'inquinamento atmosferico (e soprattutto al particolato, al biossido di azoto e all'ozono) e l'inquinamento atmosferico continua ad essere la prima causa ambientale di morte precoce nell'UE colpendo in modo particolare i gruppi vulnerabili (bambini, anziani e persone con patologie pregresse). Inoltre l'inquinamento atmosferico minaccia l'ambiente attraverso l'acidificazione, l'eutrofizzazione e i danni da ozono che colpiscono foreste, ecosistemi e colture con un impatto significativo sulla biodiversità.

Nel novembre 2019 la Commissione ha pubblicato il controllo dell'adeguatezza delle direttive sulla qualità dell'aria ambiente (direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE), nel quale si conclude che le direttive sono state parzialmente efficaci relativamente al miglioramento e all'adempimento delle norme in materia di qualità dell'aria, in quanto non tutti i loro obiettivi sono stati raggiunti.

Nel dicembre 2019, con il Green Deal europeo, la Commissione europea si è impegnata a migliorare ulteriormente la qualità dell'aria e ad allineare maggiormente le norme dell'UE in materia di qualità dell'aria alle raccomandazioni dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) aggiornate al 2021.

Nel maggio 2021 l'obiettivo di un maggiore allineamento ai più recenti risultati scientifici è stato confermato nel **"piano d'azione per l'inquinamento zero"**, nel quale si prevede, **entro il 2050**, di ridurre l'inquinamento dell'aria, nonché dell'acqua e del suolo, a livelli che non siano più considerati nocivi per la salute e gli ecosistemi naturali e che rimangano entro limiti che il nostro pianeta possa sostenere, così da creare un ambiente privo di sostanze tossiche.

Sono stati inoltre introdotti **traguardi per il 2030**, due dei quali sull'aria:

- ridurre di oltre il 55 % gli effetti nocivi sulla salute (decessi prematuri) dell'inquinamento atmosferico;
- ridurre la percentuale di ecosistemi dell'UE nei quali l'inquinamento atmosferico minaccia la biodiversità del 25 %.

Norme più rigorose in materia di qualità dell'aria contribuirebbero anche agli obiettivi del piano europeo di lotta contro il cancro. Nel Green Deal europeo la Commissione ha inoltre annunciato che rafforzerà il monitoraggio, la modellizzazione e la pianificazione della qualità dell'aria.

Nell'ottobre del 2022 la Commissione Europea ha proposto una bozza di revisione delle direttive sulla qualità dell'aria ambiente che comporterebbe la loro fusione in un'unica direttiva con l'obiettivo di:

- allineare maggiormente le norme dell'UE in materia di qualità dell'aria alle raccomandazioni dell'OMS;
- migliorare ulteriormente il quadro legislativo (ad esempio in relazione alle sanzioni e all'informazione del pubblico);

- offrire un migliore sostegno alle autorità locali nel conseguire l'obiettivo di garantire un'aria più pulita rafforzando il monitoraggio, la modellizzazione e i piani per la qualità dell'aria

La valutazione d'impatto indica che i benefici della revisione proposta per la società sono di gran lunga superiori ai costi e riguardano principalmente la salute (tra cui la riduzione della mortalità e della morbidità, della spesa per l'assistenza sanitaria e delle assenze dal lavoro dovute a malattia, nonché l'aumento della produttività sul lavoro) e l'ambiente (tra cui la riduzione delle perdite di rendimento dei raccolti legate all'ozono).

In particolare, per ciò che concerne la rete di monitoraggio nello specifico, è prevista:

- ❖ l'introduzione di ulteriori punti di campionamento per gli inquinanti atmosferici non regolamentati che destano nuove preoccupazioni, come il particolato ultrafine (PUF), il particolato carbonioso, l'ammoniaca (NH_3) o il potenziale ossidativo del particolato, che contribuirà alla comprensione scientifica dei loro effetti sulla salute e sull'ambiente;
- ❖ la fissazione di nuovi valori limite per tutti gli inquinanti atmosferici, citati nelle precedenti normative, e di valori obiettivo solo per l'ozono. I valori limite e i valori obiettivo riveduti entreranno in vigore nel 2030, bilanciando la necessità di un miglioramento rapido con la necessità di garantire un lasso di tempo sufficiente e il coordinamento con le principali politiche correlate i cui risultati sono previsti nel 2030 anche se è prevista la possibilità di richiedere da parte degli Stati membri, entro il 31 gennaio 2029 e per ragioni specifiche e a rigorose condizioni, un rinvio del termine per il raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria;
- ❖ l'introduzione di nuove soglie di allarme per il particolato (PM10 e PM2.5);
- ❖ l'introduzione di un valore limite giornaliero per il particolato fine (PM2.5) e il biossido di azoto (NO_2) oltre alla revisione dei valori limite annuali (verranno ridotti rispettivamente da $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM2.5 e da $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l' NO_2) allo scopo di diminuire l'esposizione media della popolazione alle raccomandazioni dell'OMS;
- ❖ l'aggiornamento dell'elenco dei composti organici volatili (COV) raccomandati per le misurazioni volte a migliorare la comprensione della formazione e della gestione dell'ozono.

Il 10 dicembre 2024 è entrata in vigore la Direttiva (UE) 2024/2881 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2024, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, pubblicata sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea del 20 novembre 2024.

Gli Stati membri dovranno mettere in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla direttiva entro l'11 dicembre 2026.

I nuovi limiti sono riportati nelle tabelle di seguito a confronto con quelli della Direttiva precedente 2008/50/CE recepita con il D.Lgs n.155/2010 attualmente in vigore in Italia (Tabelle 1.7 e 1.8).

Tabella 1.7 - Valori limite per la protezione della salute umana previsti dalla nuova direttiva europea sulla qualità dell'aria a confronto con quelli attualmente in vigore (D.Lgs 155/10).

<i>Inquinante</i>	<i>Periodo di riferimento</i>	<i>Valore limite previsto dalla Direttiva 2008/50/CE (D.Lgs n.155/2010)</i>	<i>Valore limite previsto dalla nuova Direttiva UE 2024/2881</i>
PM2.5	1 giorno	Non previsto	25 µg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno)
	Anno civile	25 µg/m³	10 µg/m³
PM10	1 giorno	50 µg/m³ (non superabile più di 35 volte/anno)	45 µg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno)
	Anno civile	40 µg/m³	20 µg/m³
Biossido di azoto (NO₂)	1 ora	200 µg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno)	200 µg/m³ (non superabile più di 3 volte/anno)
	1 giorno	Non previsto	50 µg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno)
	Anno civile	40 µg/m³	20 µg/m³
Biossido di zolfo (SO₂)	1 ora	350 µg/m³ (non superabile più di 24 volte/anno)	350 µg/m³ (non superabile più di 3 volte/anno)
	1 giorno	125 µg/m³ (non superabile più di 3 volte/anno)	50 µg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno)
	Anno civile	Non previsto	20 µg/m³
Benzene	Anno civile	5 µg/m³	3,4 µg/m³

Monossido di carbonio (CO)	Massima media giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³	10 mg/m³
	1 giorno	Non previsto	4 mg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno)
Piombo	Anno civile	0,5 µg/m ³	0,5 µg/m³
Arsenico (As)	Anno civile	6,0 ng/m ³	6,0 ng/m³
Cadmio (Cd)	Anno civile	5,0 ng/m ³	5,0 ng/m³
Nichel (Ni)	Anno civile	20,0 ng/m ³	20,0 ng/m³
Benzo(a)pirene (BaP)	Anno civile	1,0 ng/m ³	1,0 ng/m³

Tabella 1.8 - Ozono - Valore obiettivo, Obiettivo a lungo termine, Soglie di informazione e di allarme per la protezione della salute umana previsti dalla nuova direttiva europea sulla qualità dell'aria a confronto con quelli attualmente in vigore (D.Lgs 155/10).

<i>Inquinante</i>	<i>Periodo di riferimento</i>	<i>Valore limite previsto dalla Direttiva 2008/50/CE (D.Lgs n.155/2010)</i>	<i>Valore obiettivo previsto dalla nuova Direttiva UE 2024</i>
Ozono (O₃)	Valore obiettivo: media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³ (non superabile più di 25 volte/anno come media su 3 anni)	120 µg/m³ (non superabile più di 18 volte/anno come media su 3 anni)
	Obiettivo a lungo termine: media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³	100 µg/m³ (non superabile per più di 3 giorni/anno)
	Soglia di informazione: 1 ora	180 µg/m ³	180 µg/m³
	Soglia di allarme: 1 ora	240 µg/m ³	240 µg/m³

2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

2.1 – Introduzione

L'autorizzazione Integrata Ambientale del 2008 di Hera S.p.A. per la gestione dell'impianto di termovalorizzazione di rifiuti urbani e speciali non pericolosi, sito a Forlì, in via Grigioni, prevedeva anche l'installazione di una centralina di monitoraggio della qualità dell'aria per misure continue, oltre a campionatori per specifiche rilevazioni (misure discontinue).

La centralina e i campionatori sono in comodato d'uso e gestione ad Arpae; gli oneri di manutenzione, gestione, campionamento, analisi ed elaborazione dei dati sono a carico di Hera S.p.A.

Con il rinnovo autorizzativo del 2013 sono state modificate alcune prescrizioni: il Piano di Monitoraggio e Controllo in vigore dal 01/01/2014 ha introdotto un elenco più esteso di parametri da ricercarsi nei campionamenti in discontinuo di particolato PM10, comprendendo anche i PCB ed i PCB Dioxin Like. È stata aggiunta anche una campagna di misura in concomitanza del fermo impianto che è effettuato annualmente per la manutenzione programmata dell'impianto.

Dal 2014, con frequenza biennale, è richiesta anche l'effettuazione di un campione di suolo con ricerca di microinquinanti organici (IPA, PCDD e PCDF, PCB e PCB-DL), metalli pesanti e microelementi.

La successiva Determina Arpae n. DET-AMB-2022-1106 del 7/3/2022 ha previsto le seguenti modifiche:

- è stato soppresso il monitoraggio del suolo;
- è stato introdotto, in sostituzione del precedente, il monitoraggio delle deposizioni totali in corrispondenza di due postazioni corrispondenti ai punti di bianco e di massima ricaduta delle emissioni dell'inceneritore di Hera.

Tali postazioni sono identificate rispettivamente come "postazione Depuratore" e "postazione Cabina", e sono situate in corrispondenza del depuratore di Hera e della cabina di monitoraggio della qualità dell'aria di via Barsanti;

- è stato sostituito il monitoraggio discontinuo del PM10 con strumentazione rilocabile con il monitoraggio in continuo effettuato con la strumentazione presente nella cabina di monitoraggio della qualità dell'aria di Hera, che prevede il campionamento giornaliero e l'analisi su campioni accorpati su base mensile, mantenendo il campionamento separato durante il periodo di fermo impianto.

In sintesi, i monitoraggi/campionamenti da effettuare e i parametri da monitorare, individuati in sede di autorizzazione, sono:

- Monitoraggio in continuo mediante la stazione Hera:
 - parametri meteorologici: temperatura, umidità relativa, pioggia, velocità e direzione del vento;
 - Inquinanti: PM10, PM2.5, ossidi di azoto (Nox), monossido di carbonio (CO) e mercurio (Hg).

- Monitoraggio continuo:
 - Metalli pesanti (As, Cd, Ni e Pb) e microinquinanti organici (IPA, PCDD/PCDF, PCB e PCB-DL) sul particolato PM10 campionato giornalmente e analizzato su campioni accorpati su base mensile.
- Determinazioni nelle deposizioni totali di
 - Metalli pesanti (As, Cd, Ni, Pb)
 - Microinquinanti organici (IPA, PCDD/PCDF, PCB)

La stazione di monitoraggio, installata da Hera nel 2009, è situata in Via Barsanti a Forlì.



È una stazione di misurazione industriale locale, cioè una "stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento è influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe" (Allegato III D.Lgs. 155/2010 – punto 1d).

La configurazione della stazione e la relativa dotazione strumentale è riportata in Tabella 2.1.

Tabella 2.1 – Configurazione della stazione locale "Hera" al 31/12/2024

Zona	Comune	Stazione	Tipo	Zona + Tipo	Inquinanti misurati				
					PM10	PM2.5	NOx	CO	Hg
 Industriale	Forlì	Hera		Ind					

Si riporta la scheda, con la documentazione fotografica e la localizzazione della stazione di monitoraggio Hera nella configurazione 2024.

Stazione: Hera (Forlì)	Stazione locale industriale
	
Tipo Stazione: Industriale	Coordinate geografiche:
Inquinanti: PM₁₀ – PM2.5 – NO_x – CO – Hg	UTM32 (m) X: 746729 Y: 4902084

2.2 – Informazione e gestione dei dati della stazione locale di monitoraggio

I dati raccolti dalla stazione di monitoraggio Hera sono giornalmente validati da Arpae e pubblicati nel sito:

<https://apps.arpae.it/qualita-aria/bollettino-qa-provinciale/fc>

nella sezione "Stazioni Locali", cioè nella sezione riservata alle stazioni collocate sul territorio con l'obiettivo di valutare eventuali impatti sulla qualità dell'aria prodotti, nelle aree circostanti, da specifiche fonti di emissione come impianti industriali e/o altre infrastrutture. Come specificato anche nel sito, i dati rilevati da queste stazioni sono, quindi, indicativi della realtà locale monitorata, a differenza dei dati delle stazioni della rete regionale di monitoraggio che sono rappresentativi dell'intero territorio provinciale.

Sebbene le stazioni locali non siano certificate UNI EN ISO 9001:2015, a differenza di quelle della rete regionale, sono ugualmente gestite da Arpae secondo le procedure del proprio Sistema Gestione Qualità.

Inoltre, all'indirizzo:

<https://www.arpae.it/it/il-territorio/forli-cesena/report-a-forli-cesena/aria>

sono pubblicati i rapporti mensili ed annuali relativi alle concentrazioni di inquinanti monitorati in continuo nelle stazioni della RRQA e nella stazione locale.

3 - INDICATORI METEOROLOGICI PER LO STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL TERRITORIO DI FORLÌ

3.1 Indicatori meteorologici a supporto dello studio della qualità dell'aria

L'atmosfera rappresenta l'ambiente dove gli inquinanti, immessi da varie sorgenti, diffondono, vengono dispersi e subiscono trasformazioni del loro stato fisico e chimico. Le condizioni meteorologiche interagiscono, quindi, in vari modi con i processi di formazione, dispersione, trasporto e deposizione degli inquinanti ed alcuni indicatori meteorologici possono essere posti in relazione con tali processi; fra questi:

- la **temperatura dell'aria**: temperature elevate sono, in genere, associate ad elevati valori di ozono, mentre le basse temperature, durante il periodo invernale, sono spesso correlate a condizioni di inversione termica, la quale tende a confinare gli inquinanti in prossimità della superficie e quindi a fare aumentare le concentrazioni misurate.
- le **precipitazioni e la nebbia** influiscono sulla deposizione e sulla rimozione umida degli inquinanti aerodispersi. L'assenza di precipitazioni e di nubi riduce la capacità dell'atmosfera di rimuovere, attraverso i processi di deposizione umida e di dilavamento, gli inquinanti, in particolare le particelle fini.
- **l'intensità del vento** incide sul trasporto e la diffusione degli inquinanti; elevate velocità del vento tendono a favorire la dispersione degli inquinanti immessi vicino alla superficie.
- la **direzione del vento** agisce in modo diretto sulla dispersione degli inquinanti.

Nel seguito viene presentata la descrizione dell'andamento di alcuni parametri meteorologici rilevati nel 2024 dalla centralina meteorologica installata presso la cabina Hera di via Barsanti nel Comune di Forlì.

3.2 - Andamento meteorologico del 2024

3.2.1 Temperatura

Prendendo come riferimento il clima del trentennio 1991-2020, come suggerito dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), a livello regionale il 2024 è risultato l'anno più caldo dal 1961 in termini di temperatura media e minima, e il terzo più caldo in termini di temperatura massima, dopo il 2022 e il 2023.

I primi giorni dell'anno sono stati particolarmente caldi per la stagione, poi le temperature sono calate e hanno oscillato intorno al normale intervallo di variabilità climatica.

Di seguito si riporta graficamente l'andamento delle temperature medie giornaliere registrate presso la cabina Hera di via Barsanti nel corso dell'intero anno 2024 (Figura 3.1).

La temperatura media annuale registrata dalla centralina meteo posizionata presso la cabina Hera di via Barsanti nel corso del 2024 è stata pari a 16,2 °C, con un minimo di -3,9 °C registrato il 30 gennaio e un massimo di 37,8 °C registrato il 12 luglio.

Dopo un inverno meteorologico (dicembre 2023, gennaio e febbraio 2024) risultato il più caldo a livello regionale dal 1961, la primavera ha avuto un'intensa variabilità termica, con temperature che ad aprile sono oscillate tra massimi (29,4 °C il 14 di aprile) e minimi storici (5,6 °C il 21 aprile), sia a livello regionale che proprio a Forlì. L'estate poi, dalla seconda decade di luglio fino alla terza di agosto, si è mantenuta sopra la media climatica risultando a livello regionale la quarta estate più calda dal 1961. Anche l'autunno, pur con una certa variabilità intra-stagionale, si è mantenuto sopra alla norma per poi finire in un dicembre tendenzialmente nella norma.

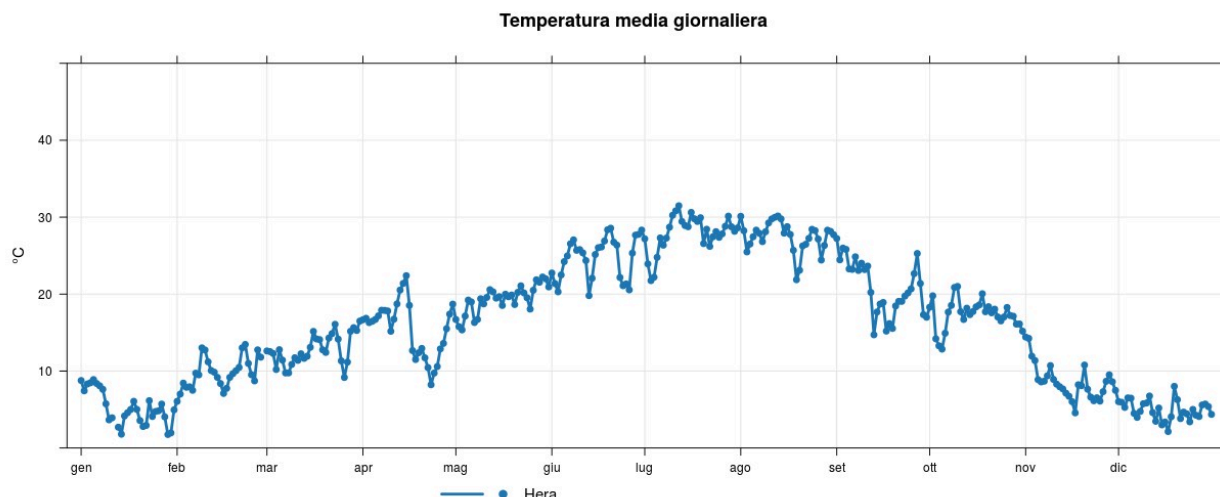


Figura 3.1: Temperatura media giornaliera presso la cabina Hera nel corso del 2024

3.2.2 Precipitazioni

Le precipitazioni totali medie regionali del 2024 hanno raggiunto un valore di 1208.2 mm, il più alto dal 1961, dovuto anche a numerosi episodi di precipitazioni giornaliere e orarie molto intense.

Le Figure 3.2 e 3.3 qui di seguito riportano rispettivamente i dati giornalieri di pioggia registrati nel 2024 presso la cabina Hera e la precipitazione cumulata mensile con indicato il numero di giorni con precipitazione superiore a 0,3 mm.

In Figura 3.4 invece vengono riportati i totali mensili di precipitazioni registrati presso la cabina insieme ai valori climatici di riferimento e alle corrispondenti anomalie. I grafici evidenziano come a Forlì i mesi di febbraio, aprile, luglio e novembre abbiano avuto precipitazioni inferiori alle medie 1991-2020, mentre gli altri mesi siano stati più in linea con il trend climatico, fatta eccezione per i mesi di settembre e dicembre i quali sono stati più piovosi della media climatica, facendo registrare rispettivamente 248 e 146 mm di pioggia (+175% e + 83% rispetto al valore medio climatico).

Tra il 17 e il 19 di settembre, in corrispondenza della tempesta Boris, l'Emilia orientale e la Romagna sono state colpite da precipitazioni intense e persistenti tali che, per alcune stazioni della Romagna, per i massimi valori di precipitazione cumulata sono stati stimati tempi di ritorno anche superiori a 200 anni. Tali precipitazioni hanno purtroppo causato anche esondazioni, tracimazioni e frane.

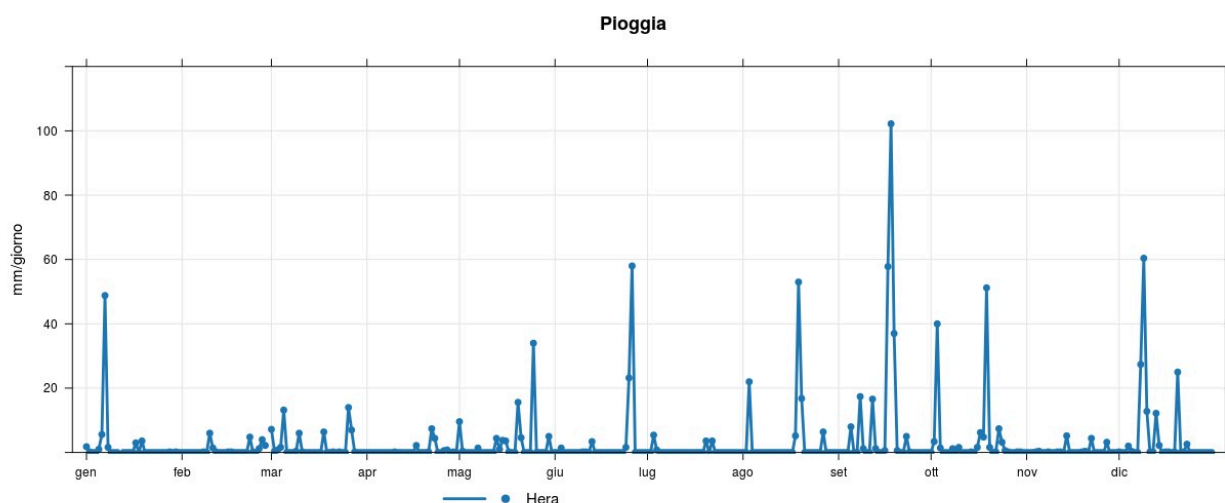


Figura 3.2: Dati giornalieri di pioggia registrati nel 2024 presso la cabina Hera

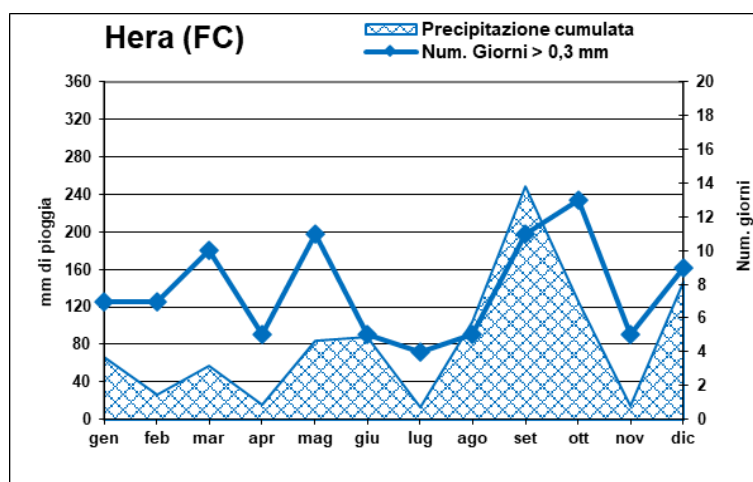


Figura 3.3: precipitazione cumulata mensile e numero di giorni con precipitazione superiore a 0,3 mm (limite di significatività) – Anno 2024

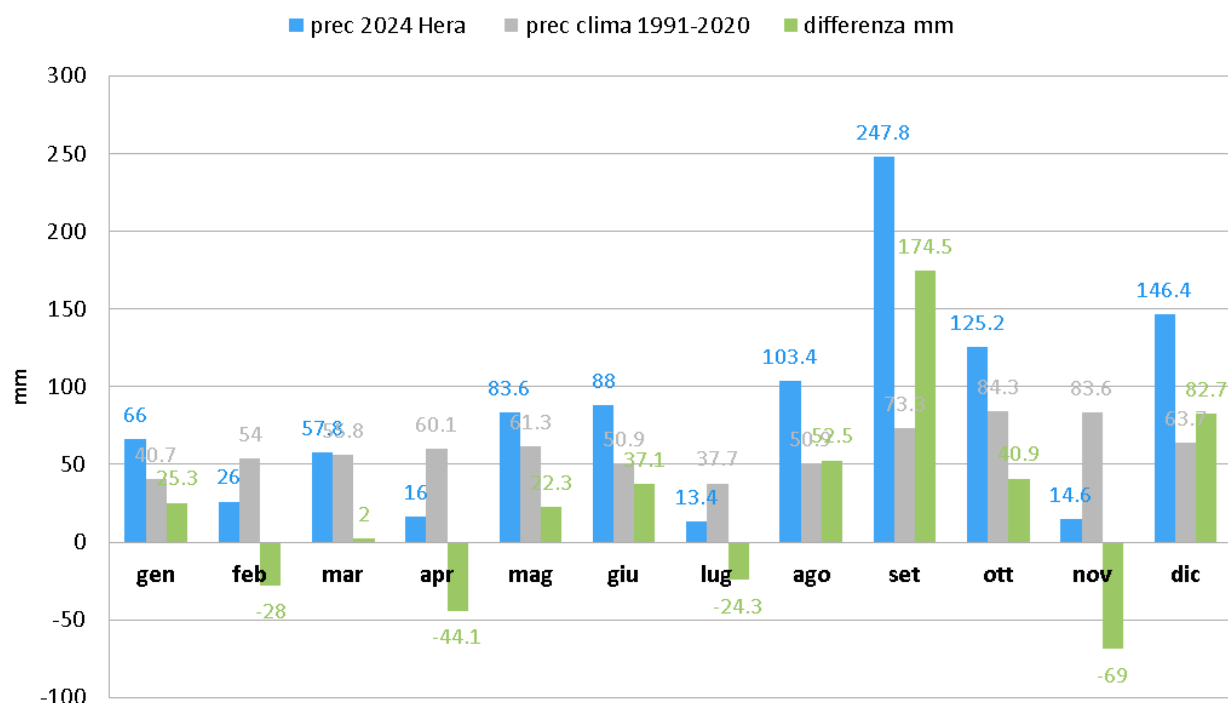


Figura 3.4: Precipitazioni medie mensili 2024, valori climatici mensili (1991-2020) e anomalie mensili

3.2.3 Intensità e direzione del vento

Nelle figure successive sono rappresentate le rose dei venti stagionali (Figura 3.5) e annuale (Figura 3.6), in termini di direzione ed intensità del vento di provenienza, relative alla stazione della rete Locale di Forlì Hera; queste rose dei venti sono state ricostruite partendo dal campo di vento generato a 10 m dal suolo dal modello diagnostico CALMET alimentato con i dati del modello prognostico COSMO tramite la piattaforma web AQWEB, appositamente sviluppata per Arpa Emilia Romagna (Scire et al., 1999)¹. AQWEB permette di preparare i file di input del modello meteorologico diagnostico CALMET e di eseguirne la simulazione. A tal fine fornisce in input i dati di output al suolo e in quota del modello meteorologico COSMO a cui AQWEB accede tramite *queries* definite dall'utente con le quali si specificano l'intervallo temporale di interesse, il dominio e l'ampiezza delle maglie. L'output di COSMO viene quindi utilizzato in input per le simulazioni meteorologiche eseguite dal modello CALMET.

Le rose dei venti di Figura 3.5 riportano le frequenze di eventi per le diverse intensità di vento (colori dal giallo al blu) riportate in didascalia, con provenienza da 12 diversi settori.

Nella stazione di Hera Forlì i venti, durante tutto l'arco dell'anno, risultano tendenzialmente bassi, provenienti principalmente da Nord-Ovest per buona parte dell'anno, più marcatamente in autunno e inverno. Durante la primavera e l'estate è presente in maniera più marcata una componente caratterizzata da velocità maggiori con provenienza da Sud-Ovest.

¹ Scire J.S., Robe F.R., Fernau M.E. and Yamartino R.J. (1999a) A user's guide for the CALMET meteorological model (Version 5.0). Earth Tech Inc., September 1999.

In primavera si evidenzia una componente da Est che si rafforza in estate mentre è quasi assente in inverno e scompare quella da Nord-Ovest, che invece acquista importanza soprattutto in inverno. La città di Forlì, pur essendo relativamente distante dalla costa, risente dell'effetto del mare.

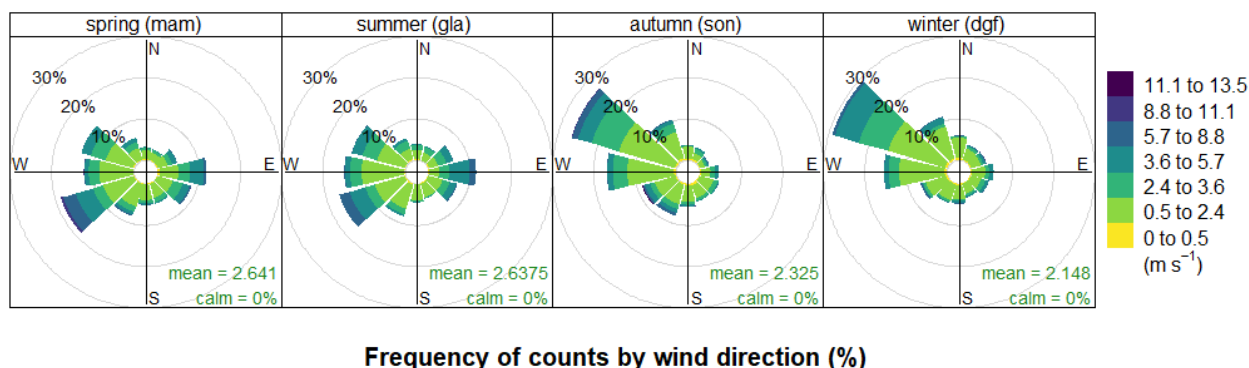


Figura 3.5: Rose dei venti stagionali della stazione di Forlì Hera – Anno 2024.

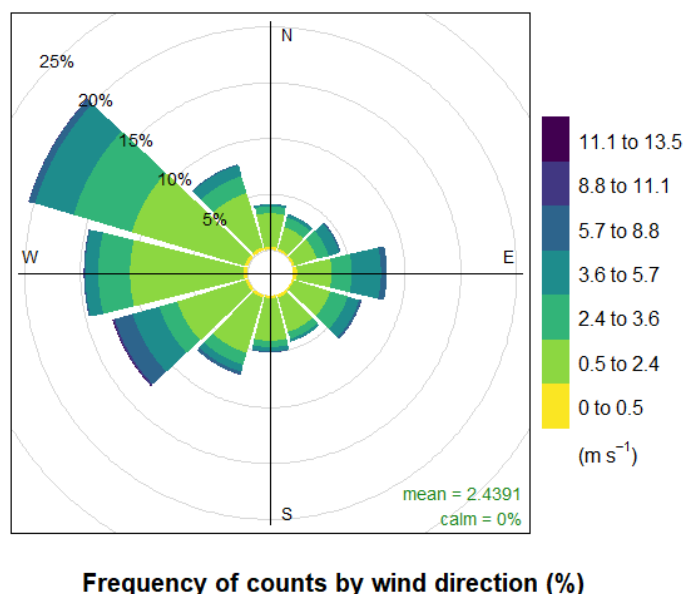


Figura 3.6: Rosa dei venti annuale della stazione di Forlì Hera – Anno 2024.

4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Nei paragrafi seguenti sono riportati, suddivisi per tipologia di inquinante, gli indici statistici dei dati validati nel 2024 nella centralina Hera e il confronto con i relativi limiti normativi.

Le medie orarie e giornaliere sono calcolate solo se disponibili almeno il 75% dei dati teorici.

Riportiamo qui di seguito i limiti di quantificazione (L.Q.) relativi agli strumenti presenti nella cabina Hera (Tabella 4.1).

Tabella 4.1 – Limite di quantificazione (L.Q.) degli strumenti della stazione Hera.

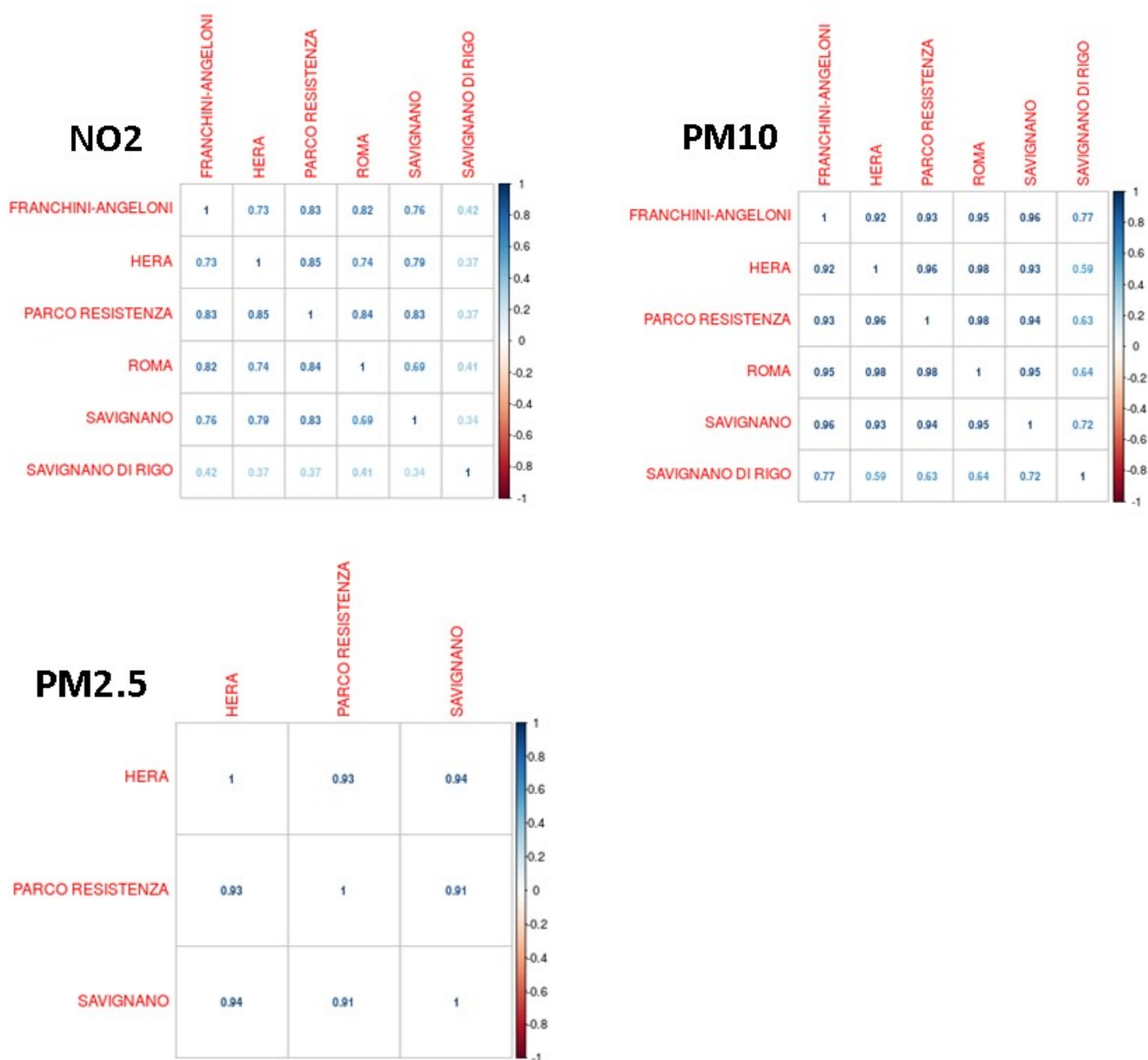
<i>Inquinante</i>	<i>Limite di quantificazione L.Q.</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Espressione utilizzata in caso di valore inferiore a L.Q.</i>
NO₂	8	µg/m ³	<8
PM₁₀	3	µg/m ³	<3
PM_{2.5}	3	µg/m ³	<3
CO	0,4	mg/m ³	<0,4
Hg	0,2	ng/m ³	<0,2

I periodi di mediazione delle concentrazioni rilevate sono quelli dei limiti normativi: nel caso del particolato PM10 e PM2.5 le concentrazioni sono espresse come medie giornaliere e media annuale, per il biossido di azoto come media oraria e media annuale e per il monossido di carbonio come media sulle 8 ore.

Per ciascun parametro misurato nella stazione Hera sono riportati in tabelle/grafici:

- l'efficienza dello strumento e gli indici statistici delle concentrazioni rilevate nel 2024;
- il confronto delle elaborazioni dei dati del 2024 con i corrispondenti limiti di legge;
- l'andamento delle concentrazioni nell'anno;
- il confronto del dato rilevato nella stazione di Hera con quelli misurati nella RRQA di Forlì nel 2024, con un focus su quelli rilevati durante il fermo impianto;
- il confronto con i limiti di legge e gli indici statistici delle concentrazioni degli ultimi anni.

Per gli inquinanti considerati potenzialmente critici per il territorio regionale (biossido di azoto e particolato), è stato calcolato l'indice di correlazione di Pearson dei dati misurati nella stazione Hera con le stazioni della RRQA (Tabella 4.2).

Tabella 4.2 – Correlazioni di Pearson per NO₂, PM10 e PM2.5

L'indice di Pearson è un parametro statistico che fornisce una misura della correlazione lineare tra due variabili. Un indice di Pearson vicino a +1 indica che i dati delle due stazioni hanno un andamento sincrono, ossia al crescere delle concentrazioni dell'una corrisponde un aumento dell'altra.

La correlazione migliore per la centralina Hera per NO₂ è con la stazione della RRQA "Parco Resistenza" (Pearson = 0,85), per il PM10 è con la stazione della RRQA "Roma" (Pearson = 0,98), mentre per il PM2.5 è con la stazione "Savignano" (Pearson = 0,94).

4.1 Biossido di Azoto NO₂ e Ossidi di Azoto NO_x

Con il termine ossidi di azoto (NO_x) viene indicato genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico: il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂). Il primo è un gas inodore e incolore che costituisce la componente principale delle emissioni di ossidi di azoto nell'aria e viene gradualmente ossidato a NO₂, gas di colore rosso-bruno, caratterizzato da un odore acre e pungente. Il biossido di azoto (NO₂) viene normalmente generato a seguito di processi di combustione ad elevata temperatura: le principali sorgenti emissive sono il traffico veicolare, gli impianti di riscaldamento ed alcuni processi industriali; è per lo più un inquinante secondario, che svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico e delle piogge acide, ed è tra i precursori di alcune frazioni significative di particolato.

Il biossido di azoto è un inquinante che ha anche importanti interazioni sul ciclo di formazione del particolato e dell'ozono (O₃).

Il valore limite orario e della media annuale (40 µg/m³) è ampiamente rispettato già da molti anni (Tabella 4.3).

Tabella 4.3 – NO₂: Parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

NO₂ [L.Q. = 8 µg/m³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti Normativi		Direttiva 2024/2881		
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	40 µg/m ³	Max 18	20 µg/m ³	Max 3	Max 18
						Media anno	N° ore Sup. 200 µg/m ³	Media anno	N° ore Sup. 200 µg/m ³	N° giorni Sup. 50 µg/m ³
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	< 8	76	16	0	16	0	0

Nella Figura 4.1 sono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere del 2024 per la stazione Locale Hera.

In Figura 4.2 vengono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere misurate nel periodo a cavallo del fermo impianto nella stazione Locale Hera e nella stazione meglio correlata tra quelle della RRQA della provincia di Forlì-Cesena (Parco Resistenza – Pearson = 0,85).

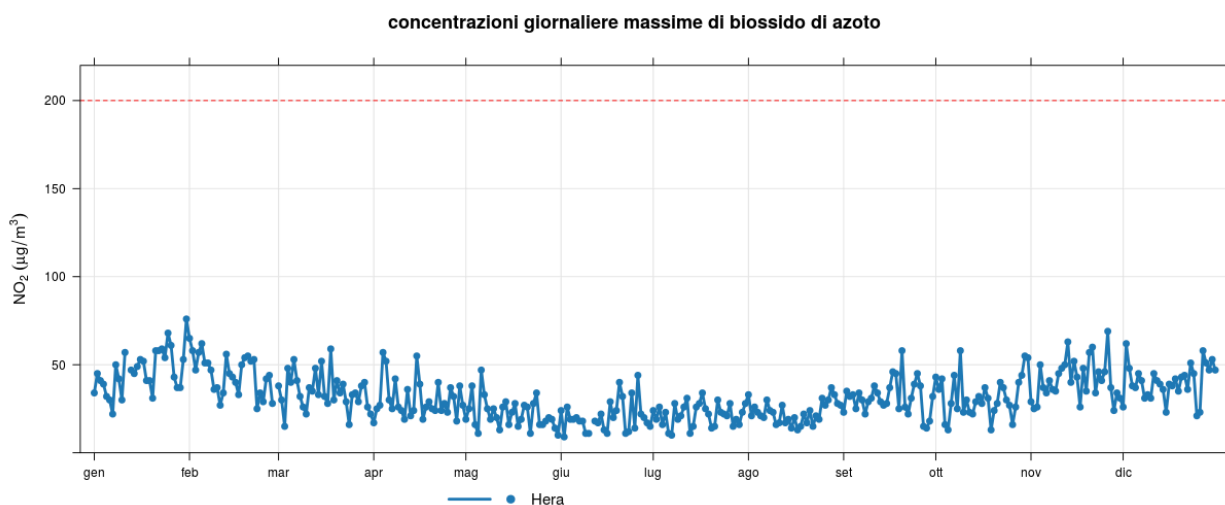


Figura 4.1 – NO₂ - Concentrazioni orarie (µg/m³) massime giornaliere - stazione Hera – Anno 2024

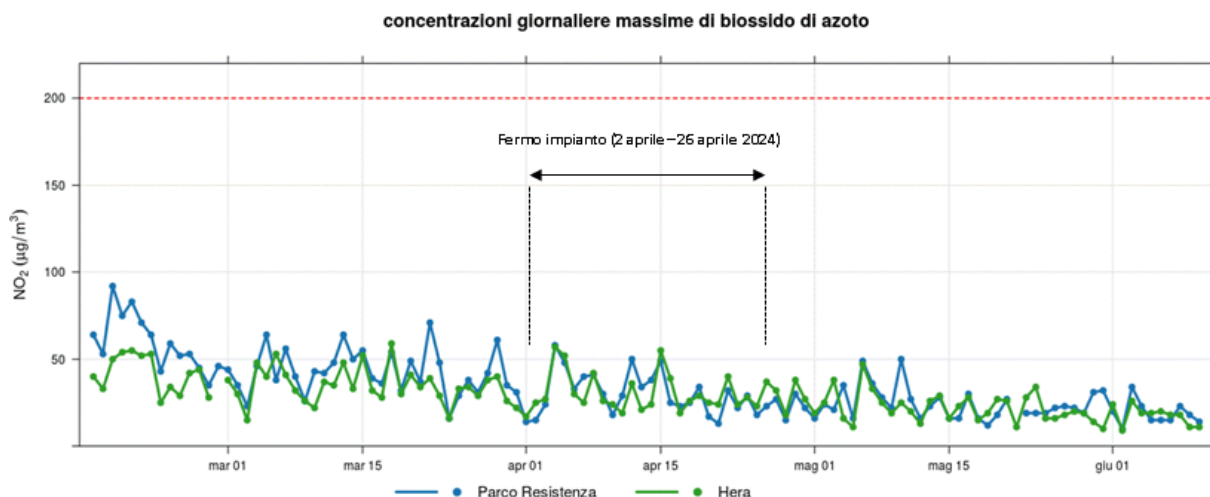
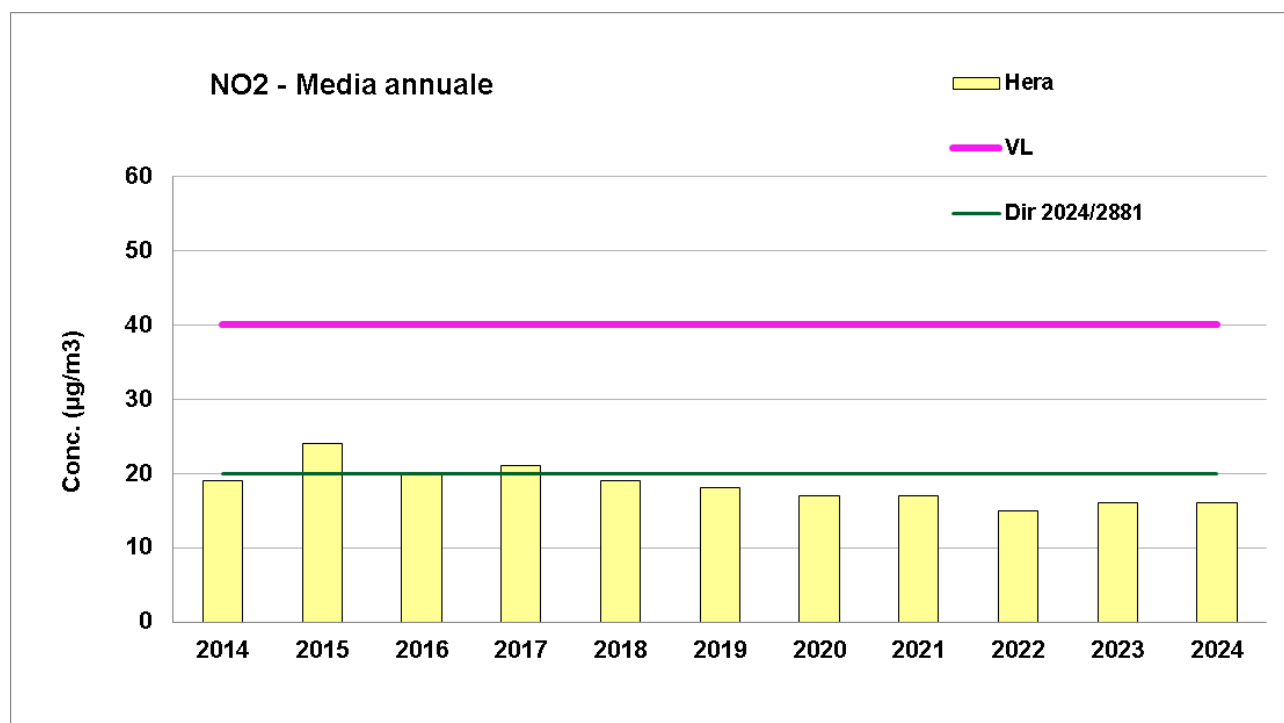


Figura 4.2 – NO₂ - Concentrazioni orarie (µg/m³) massime giornaliere nel periodo a cavallo del fermo impianto ad HERA e a Parco Resistenza

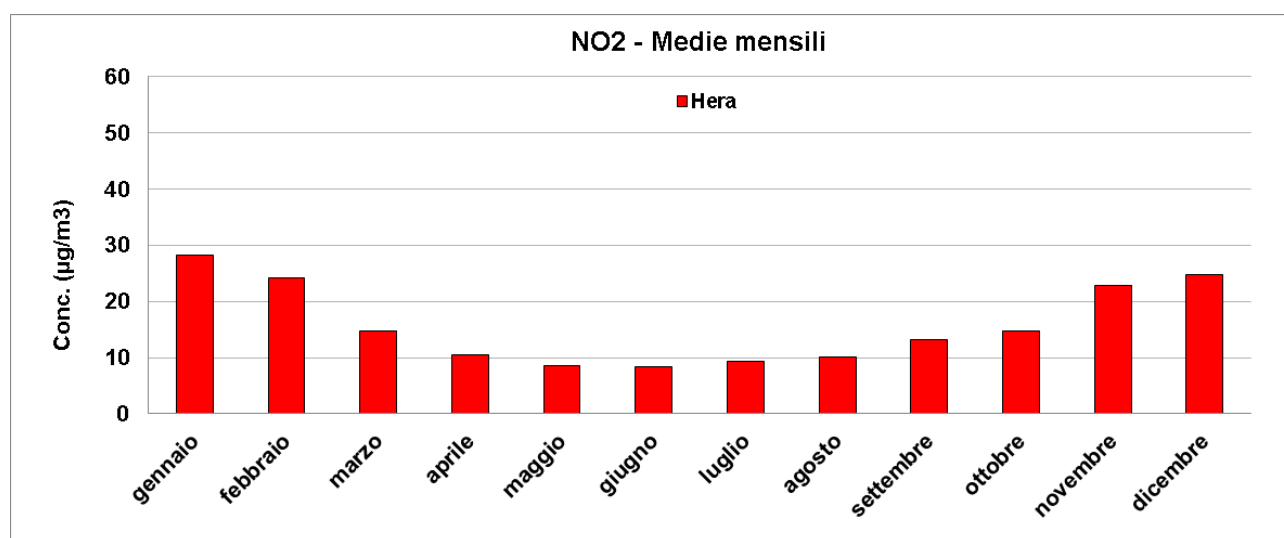
I limiti di lungo (media annuale) e di breve periodo (massimo della media oraria) del biossido di azoto nell'anno 2024 sono stati rispettati.

Nel grafico di Figura 4.3 sono rappresentate le concentrazioni medie annue di NO₂ confrontate con il valore limite attualmente in vigore (linea viola) e con quello previsto dalla Direttiva 2024/2881 (linea verde).

Figura 4.3 – NO₂ - Medie annuali - stazione Hera

Nella Figura 4.4 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2024 per la stazione Locale di Hera.

Dalla figura si osserva che le concentrazioni più alte si rilevano nei mesi invernali.

Figura 4.4 – NO₂ - Medie Mensili - stazione Hera – Anno 2024

Per visualizzare l'andamento delle concentrazioni orarie di un inquinante che mediamente si riscontrano nella giornata, si può calcolare e rappresentare graficamente il «giorno tipico - GT».

Il GT è calcolato effettuando la media dei dati rilevati alla stessa ora del giorno, in un determinato periodo, per ciascuna delle 24 ore della giornata; il GT rappresenta quindi un ipotetico giorno "medio" che permette di evidenziare la ciclicità giornaliera e minimizzare le fluttuazioni casuali. I

grafici che seguono (Figura 4.5) sono relativi al GT dell' NO₂ del semestre estivo e del semestre invernale, distinguendo i giorni feriali, prefestivi e festivi.

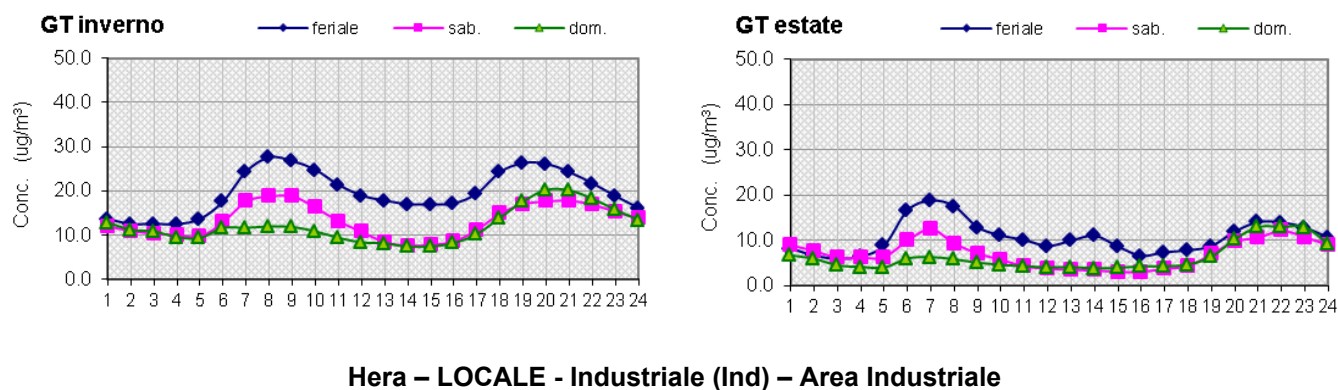


Figura 4.5 – NO₂ - giorni tipici

Infine, in Tabella 4.4, sono riportati alcuni parametri statistici relativi alle concentrazioni orarie per la serie storica dal 2014 al 2024.

Tabella 4.4 – Indici statistici per le concentrazioni orarie di NO₂ registrate dal 2014 al 2024 (concentrazioni espresse in µg/m³)

Stazione: Hera

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale	19	24	20	21	19	18	17	17	15	16	16
50°Percentile	15	21	17	18	16	15	13	13	13	12	13
90°Percentile	37	45	39	41	38	38	36	35	30	33	33
95°Percentile	43	52	44	47	45	44	43	42	35	40	39
98°Percentile	49	60	51	54	53	54	51	49	41	48	46
Massimo orario	90	90	83	76	82	84	94	74	65	80	76
Concentrazioni orarie maggiori 200 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	95	93	92	92	86	95	100	99	99	99	99

Nota: il dato in rosso indica che in quell'anno non è stata raggiunta l'efficienza prevista dal D.Lgs 155/2010 per poter procedere all'elaborazione degli indicatori previsti.

4.2 Monossido di Carbonio CO

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore generato dalla combustione incompleta delle sostanze contenenti carbonio, in condizioni di difetto di aria, cioè quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente ad ossidare in modo completo le sostanze organiche.

La principale sorgente è il traffico veicolare. Le concentrazioni di CO emesse dai veicoli sono correlate alle condizioni di funzionamento del motore e i picchi più elevati si registrano durante le fasi di decelerazione e con motore al minimo. La continua evoluzione tecnologica ha permesso negli ultimi anni una consistente riduzione di questo inquinante.

I valori di monossido di carbonio mostrano una continua diminuzione nell'ultimo decennio ed il valore limite per la protezione della salute umana è ampiamente rispettato già da molti anni (Tabella 4.5).

Tabella 4.5 - CO: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

CO [L.Q. = 0,4 mg/m ³]				Concentrazioni in mg/m³			Limiti Normativi	Direttiva 2024/2881	
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>Media</i>	<i>Max media 8 ore</i>	<i>Max Media 1 ora</i>	<i>Max Media 8 ore</i>
							10 mg/m ³	4 mg/m ³ Max 18 sup	10 mg/m ³
Hera	Forlì	Locale Industriale	96	< 0,4	1,5	0,5	1,3	1,5	1,3

Il valore limite per la protezione della salute umana indicato dal D.Lgs. 155/2010 - 10 mg/m³ per il massimo giornaliero della media su otto ore - non è mai stato superato neppure nel 2024.

Il valore più alto della media oraria è pari a 1,5 mg/m³; inoltre, il 54% dei dati disponibili è minore o uguale al limite di quantificazione strumentale (0,4 mg/m³).

Nella Figura 4.6 sono riportate le concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore del 2024 per la stazione Locale Hera.

In Figura 4.7 vengono riportate le concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore misurate nel periodo a cavallo del fermo impianto.

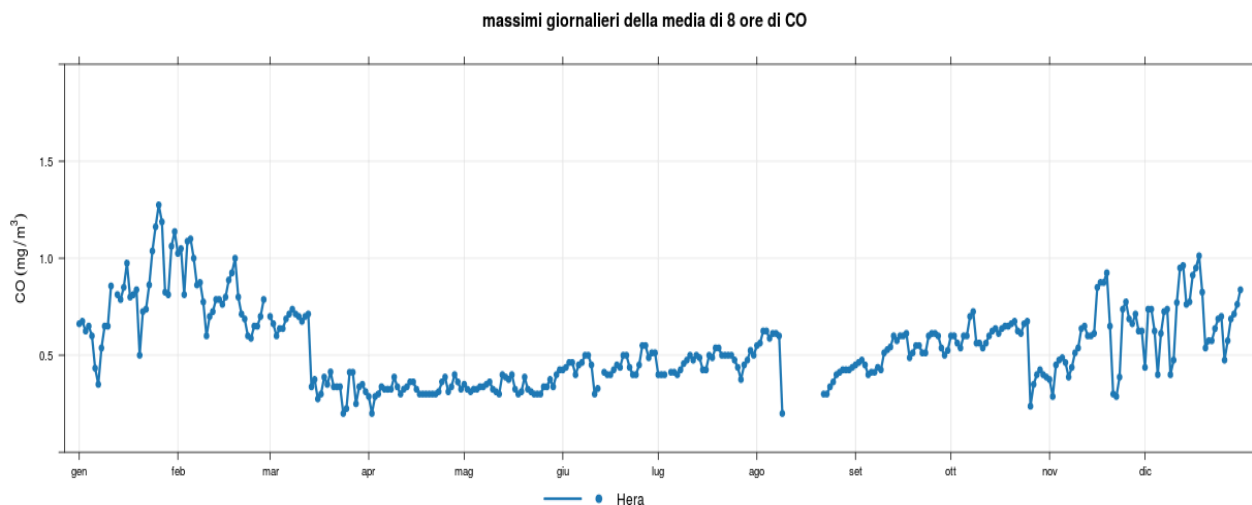


Figura 4.6 - CO - Concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore (mg/m³) - stazione Hera - Anno 2024

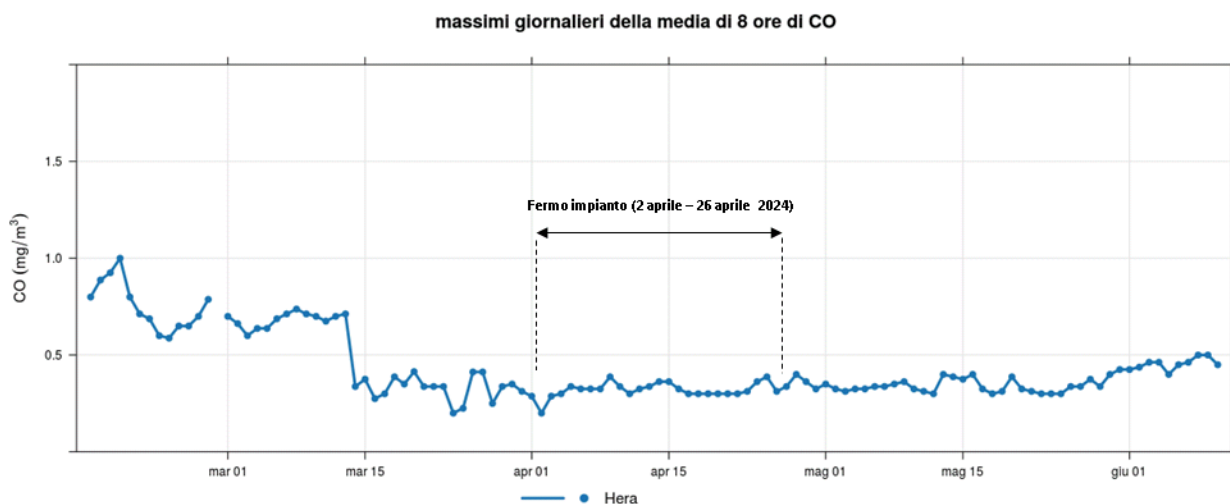


Figura 4.7 - CO - Concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore (mg/m³) nel periodo a cavallo del fermo impianto - stazione Hera

Nella Figura 4.8 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2024 per la stazione Locale di Hera.

Dalla figura si osserva che le concentrazioni più alte si rilevano nei mesi invernali.

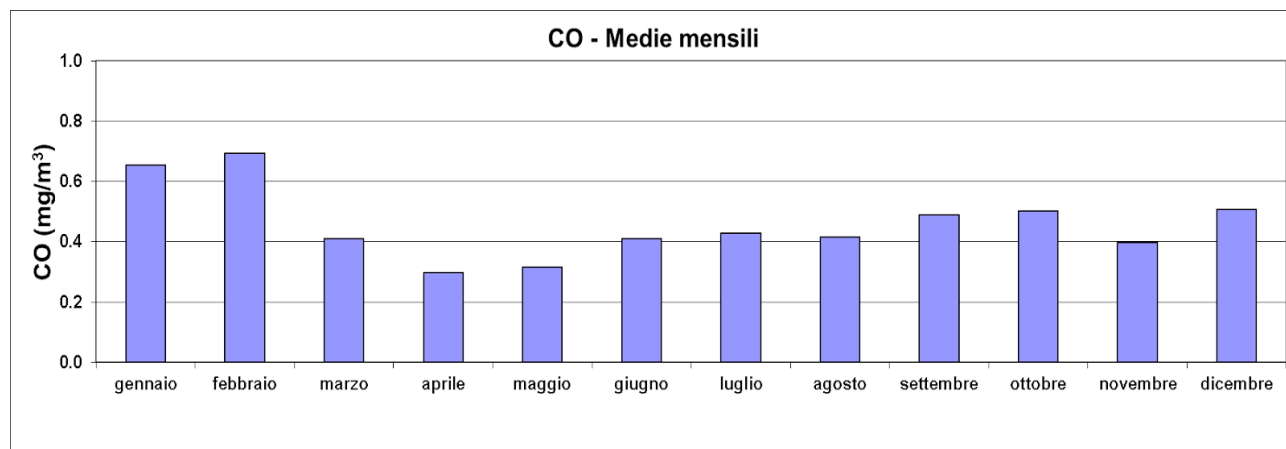
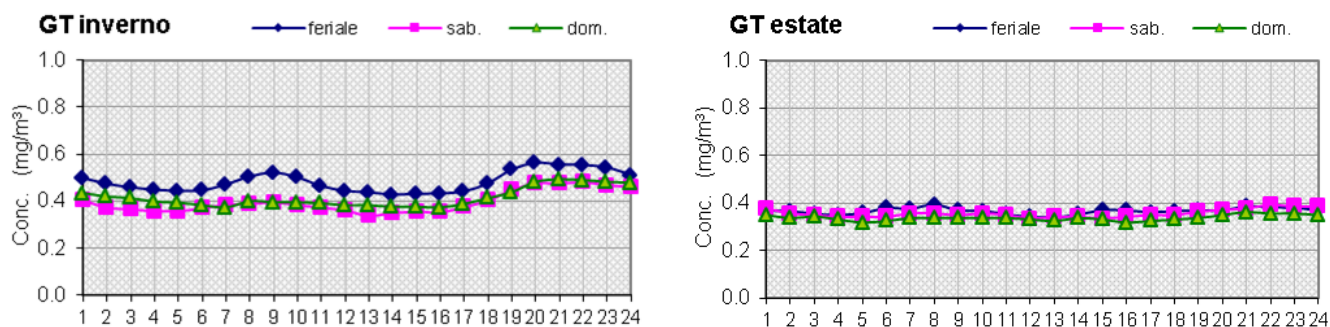


Figura 4.8 - CO - Medie Mensili - stazione Hera – Anno 2024

I grafici successivi (figura 4.9) mostrano i giorni tipici (GT) feriali, prefestivi e festivi, suddivisi per il periodo invernale (gen-mar e ott-dic) ed estivo (apr-set). Le concentrazioni sono maggiori nel periodo invernale, ma restano sempre molto contenute.



Hera – LOCALE Industriale – Area industriale

Figura 4.9 - CO - giorni tipici

I dati degli ultimi anni (Tabella 4.6) confermano che le concentrazioni sono molto basse e decisamente inferiori al limite di legge. Tale andamento, ormai consolidato, fa presupporre che anche in futuro questo inquinante non presenterà particolari criticità.

Tabella 4.6 - Indici statistici per le concentrazioni orarie di CO registrate dal 2014 al 2024
(concentrazioni espresse in mg/m³)

Stazione: Hera

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	0,4	0,5
50°Percentile	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	0,3	0,4
90°Percentile	<0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7	0,9	0,7	0,7
95°Percentile	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	0,8
98°Percentile	0,7	1,0	1,1	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9	1,1	0,9	0,9
Massimo orario	1,6	2,2	1,9	2,3	1,7	1,5	1,8	1,4	1,9	1,7	1,5
Max media 8 ore	1,1	1,9	1,6	2,0	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,3	1,3
% dati validi	98	98	98	100	100	100	100	99	99	98	96

4.3 Mercurio Totale Gassoso (Hg)

In atmosfera il mercurio esiste principalmente sotto forma di vapore di mercurio elementare (Hg^0 dal 90 al 99%), mercurio legato alle particelle (<5%) e mercurio bivalente gassoso, ad es. $HgCl_2$ (<5%).

Le emissioni da fonti antropiche si possono presentare in tutte e tre le forme, forme che si ritrovano anche disperse in aria ambiente. Lo strumento installato a Forlì consente la misura del Mercurio totale gassoso (TGM), quindi mercurio elementare e bivalente gassoso. Poiché il mercurio sotto forma di vapore elementare persiste lungamente in atmosfera, può essere trasportato anche a grandi distanze, su scala emisferica e globale: si stima che nell'emisfero settentrionale le emissioni antropiche abbiano fatto aumentare le concentrazioni di fondo di mercurio nell'aria di un fattore 2-3 rispetto a prima della industrializzazione.

Le principali fonti antropogeniche di mercurio atmosferico includono sorgenti aerali e puntiformi; le prime sono riconducibili ad emissioni dovute alla combustione di carburante su piccola scala, alla rottura di lampade elettriche al mercurio, all'uso in laboratorio, alla preparazione dentale, alle discariche e all'impiego di fanghi; le seconde, invece, includono i processi di combustione, le industrie manifatturiere e una vasta gamma di fonti minori. I processi di combustione che danno un contributo maggiore alle emissioni di mercurio sono: l'uso di carbone e petrolio per la produzione di energia (elettrica e termica), l'incenerimento di rifiuti solidi (ovvero rifiuti solidi urbani e rifiuti sanitari) e di fanghi di depurazione, le fonderie primarie di metalli non ferrosi.

L'impatto del mercurio sulla salute umana e sull'ambiente dipende dall'esposizione e da meccanismi di tossico-cinetica che variano in funzione della forma chimica del mercurio presente in ambiente (elementare, mercurio inorganico (es. $HgCl_2$) e mercurio organico (es. metilmercurio)).

Alla fine degli anni '90, in Europa la concentrazione di fondo più alta di TGM veniva misurata nell'Europa centrale, con valori attorno a $2,5 \text{ ng/m}^3$ (EMEP; 1999).

Le concentrazioni nelle aree urbane erano generalmente più alte e variavano tra 5 e 15 ng/m^3 (IPCS, 1991).

L'EPA statunitense raccomanda concentrazioni di riferimento in aria inferiori a 300 ng/m^3 (IRIS, 1995), valore piuttosto alto che indica come, in generale, le concentrazioni di mercurio in aria non diano un apporto considerevole all'esposizione al mercurio per l'uomo (acqua e alimenti sono le matrici che forniscono il contributo più significativo). L'OMS ha stimato che l'assunzione giornaliera per via aerea di Hg elementare, per esposizione giornaliera in un'area urbana con una concentrazione di mercurio pari a 15 ng/m^3 , sia di $0,3 \text{ } \mu\text{g/day}$.

Il D.Lgs. 155/2010 e s.m.i. non prevede valori limite per le concentrazioni di mercurio in aria ambiente (Tabella 4.7).

Oltre a quanto già indicato, alcuni riferimenti più attuali possono essere tratti dai seguenti documenti (Tabella 4.8):

- Ambient Air Pollution by Mercury – Position Paper, pubblicato nel 2002 da un gruppo di lavoro europeo come supporto scientifico all'emanazione delle Direttive in tema di qualità dell'aria da parte della Commissione Europea; in esso vengono indicate concentrazioni tipiche dell'ordine di $1,2\text{--}3,7 \text{ ng/m}^3$, con punte nei siti più impattati dell'ordine di $20\text{--}30 \text{ ng/m}^3$; questi valori sono confermati anche dai dati più recenti messi a disposizione dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (rapporto EEA Air quality in Europe – 2015 report).
- WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition, pubblicato dall'OMS nell'anno 2000; in esso sono riportate come concentrazioni tipiche di mercurio in aria ambiente per le aree remote $2\text{--}4 \text{ ng/m}^3$, per le aree urbane mediamente 10 ng/m^3 .

Tabella 4.7 – Hg: parametri statistici

<i>Hg</i> [L.Q. = 0,2 ng/m ³]				<i>Concentrazioni in ng/m³</i>						
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>Media</i>	<i>50° perc</i>	<i>90° perc</i>	<i>95° perc</i>	<i>98° perc</i>
Hera	Forlì	Locale Industriale	97	0,4	8,6	2,2	2,1	2,8	3,1	3,5

Tabella 4.8 – Hg – Intervalli di concentrazione (ng/m³) tipici di aree remote, urbane e siti impattati (dati bibliografici)

<i>Hg</i>	<i>Range aree remote</i>	<i>Range aree urbane</i>	<i>Range siti impattati</i>
Ambient Air Pollution by Mercury – Position Paper 2002	-	1,2 – 3,7 ng/m ³	20 – 30 ng/m ³
WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2 nd edition	2 – 4 ng/m ³	~ 10 ng/m ³	-

Nella Figura 4.10 sono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere del 2024 per la stazione Locale Hera.

Mercurio - Massimi giornalieri

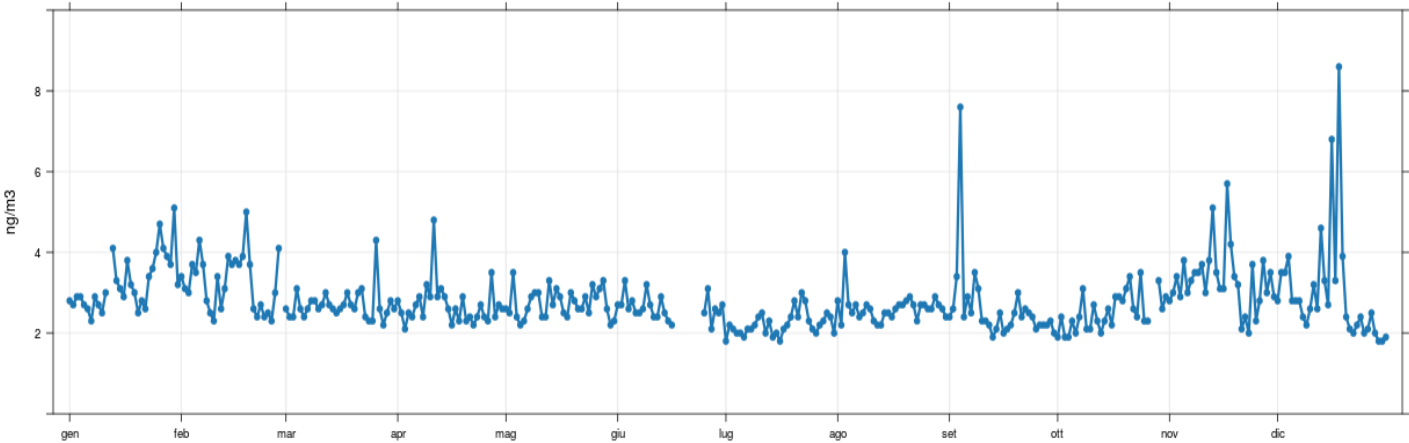


Figura 4.10 – Hg - Concentrazioni orarie massime giornaliere (ng/m³) – Anno 2024 – stazione Hera

In Figura 4.11 vengono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere misurate nel periodo a cavallo del fermo impianto.

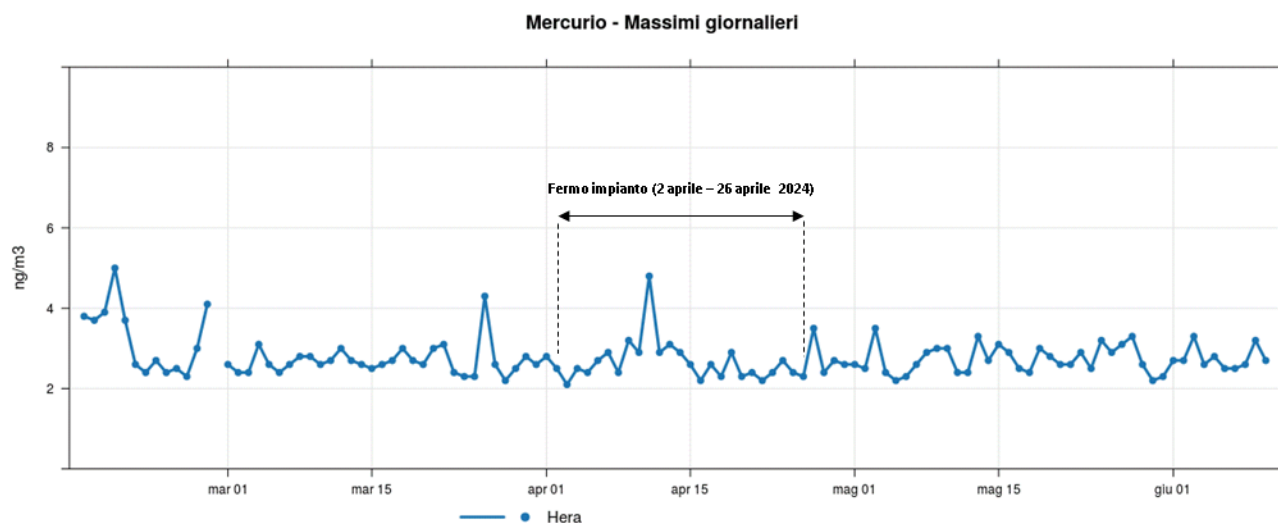


Figura 4.11 - Hg - Concentrazioni orarie massime giornaliere (ng/m³) nel periodo a cavallo del fermo impianto – stazione Hera

Nella Figura 4.12 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2024 per la stazione Locale Hera.

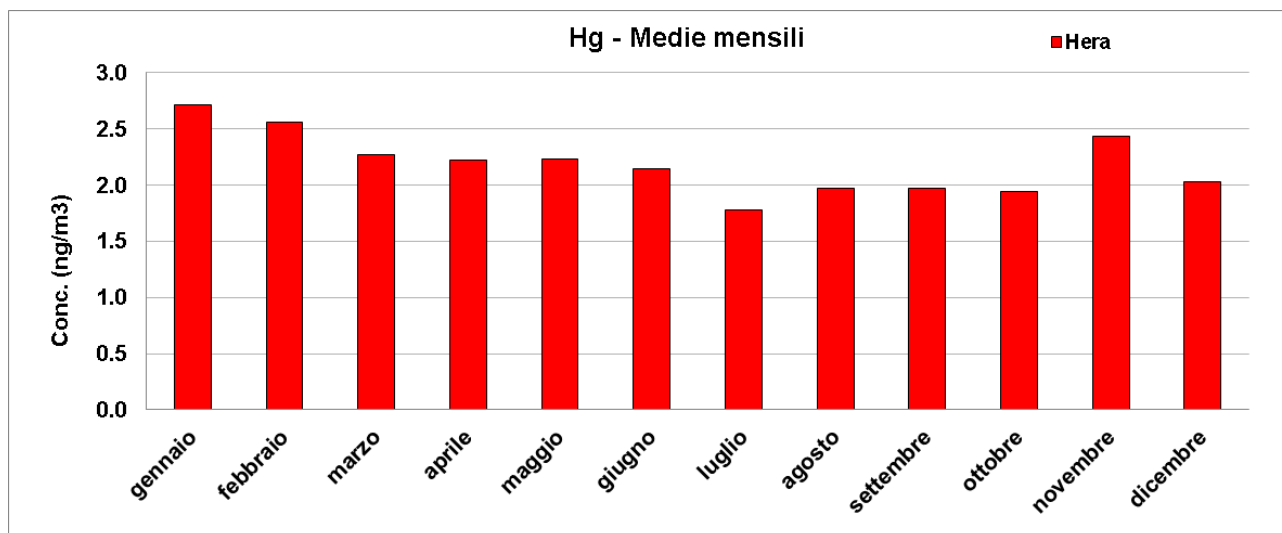


Figura 4.12 - Hg - Medie Mensili – stazione Hera – Anno 2024

La Figura 4.13 riporta l'andamento della concentrazione media annuale di mercurio dal 2014 al 2024.

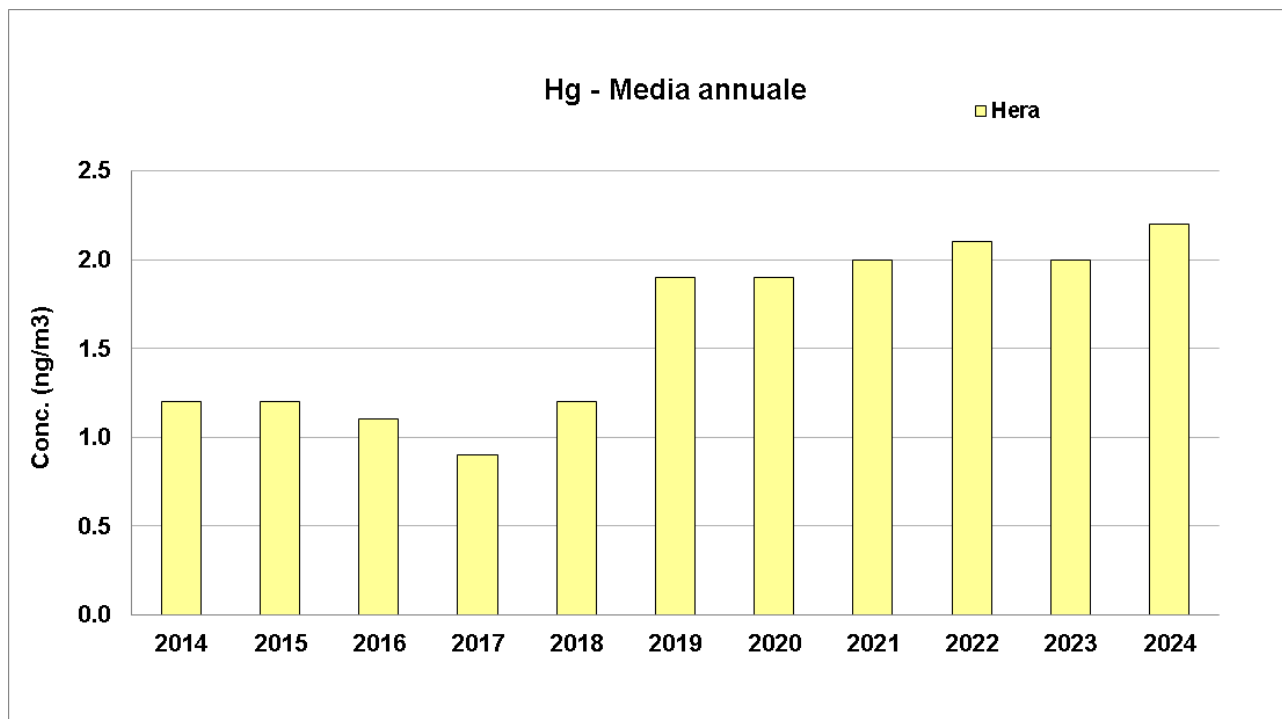


Figura 4.13 – Hg - medie annuali – stazione Hera

Infine, in Tabella 4.9, sono riportati alcuni parametri statistici relativi alle concentrazioni orarie per la serie storica dal 2014 al 2024.

Tabella 4.9 – Indici statistici per le concentrazioni orarie di Hg registrate dal 2014 al 2024 (concentrazioni espresse in ng/m³)

Stazione: Hera

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Minimo orario	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,1	1,0	0,4	1,0	0,4
Media annuale	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	1,2	1,9	2,0	2,1	2,0	2,2
50°Percentile	1,2	1,1	1,0	0,8	1,1	1,8	1,8	1,9	2,0	1,9	2,1
90°Percentile	1,6	2,0	1,8	1,4	1,9	2,4	2,4	2,6	2,6	2,5	2,8
95°Percentile	1,8	2,3	2,1	1,7	2,2	2,6	2,7	3,0	2,9	2,8	3,1
98°Percentile	2,1	2,7	2,4	2,1	2,8	2,9	3,1	3,4	3,2	3,1	3,5
Massimo orario	3,8	10,5	4,2	5,0	6,1	9,4	6,6	5,9	11,7	5,2	8,6
% dati validi	75	50	82	65	79	85	94	95	97	96	97

4.4 Particolato PM10

Con il termine PM10 si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 μm . In generale il particolato di queste dimensioni permane in atmosfera per lunghi periodi e può essere trasportato anche a distanza considerevole dal punto di emissione. Il PM10, che ha una natura chimica particolarmente complessa e variabile, è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio umano e avere effetti negativi sulla salute.

Il particolato può essere emesso direttamente dalle sorgenti in atmosfera (primario) oppure formarsi in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie di inquinanti, come ad esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca (particolato secondario).

Il PM10 può essere emesso da sorgenti naturali: eruzioni vulcaniche, erosione dei venti sulle rocce, incendi boschivi, o da sorgenti antropiche: tra queste una delle più significative è il traffico veicolare.

Questo inquinante è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sanitario, ricerche che hanno portato l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) a affermare che «vi è una stretta, relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (PM10 e PM2.5) e un aumento della mortalità e morbidità, sia quotidiana sia nel tempo, [...] Il particolato fine ha effetti sulla salute, anche a concentrazioni molto basse, infatti non è stata identificata una soglia al di sotto della quale non si osservano danni alla salute». Pertanto, l'OMS, pur indicando dei valori guida (per il PM10: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile».

Nel 2024 la media annuale del PM10 è risultata pari a 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pertanto è stato rispettato il limite della media annuale (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); anche il limite giornaliero (media giornaliera di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno) è stato rispettato in quanto il numero di superamenti è risultato pari a 32 (Tabella 4.10).

I valori limite della nuova Direttiva europea 2024/2881 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione massima sulle 24 ore da non superare per più di 18 giorni l'anno) invece sono stati superati.

Nonostante il rispetto del limite annuale, il PM10 resta un inquinante critico sia per i diffusi superamenti del limite di breve periodo sia per gli importanti effetti che è stato dimostrato avere sulla salute. Considerata la classificazione data a questo inquinante dallo IARC e le concentrazioni significative misurate, soprattutto in periodo invernale, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata del tutto positiva, anche alla luce della nuova Direttiva sulla Qualità dell'Aria, entrata in vigore il 10 dicembre 2024 e che dovrà essere recepita dagli stati membri dell'UE entro l'11 dicembre 2026, la quale prevede limiti più stringenti rispetto a quelli attualmente in vigore.

Tabella 4.10 - PM10: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

PM10 [L.Q. = 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]				Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Limiti Normativi		Direttiva 2024/2881	
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max 35	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max 18
						Media anno	N° giorni Sup. 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anno	N° giorni Sup. 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	3	130	27	32	27	48

Nella Figura 4.14 sono riportate le concentrazioni giornaliere del 2024 per la stazione Locale Hera. In Figura 4.15 vengono riportate le concentrazioni giornaliere misurate durante il periodo a cavallo del fermo impianto nella stazione Locale Hera e nella stazione meglio correlata tra quelle della RRQA della provincia di Forlì-Cesena (Roma – Pearson = 0,95).

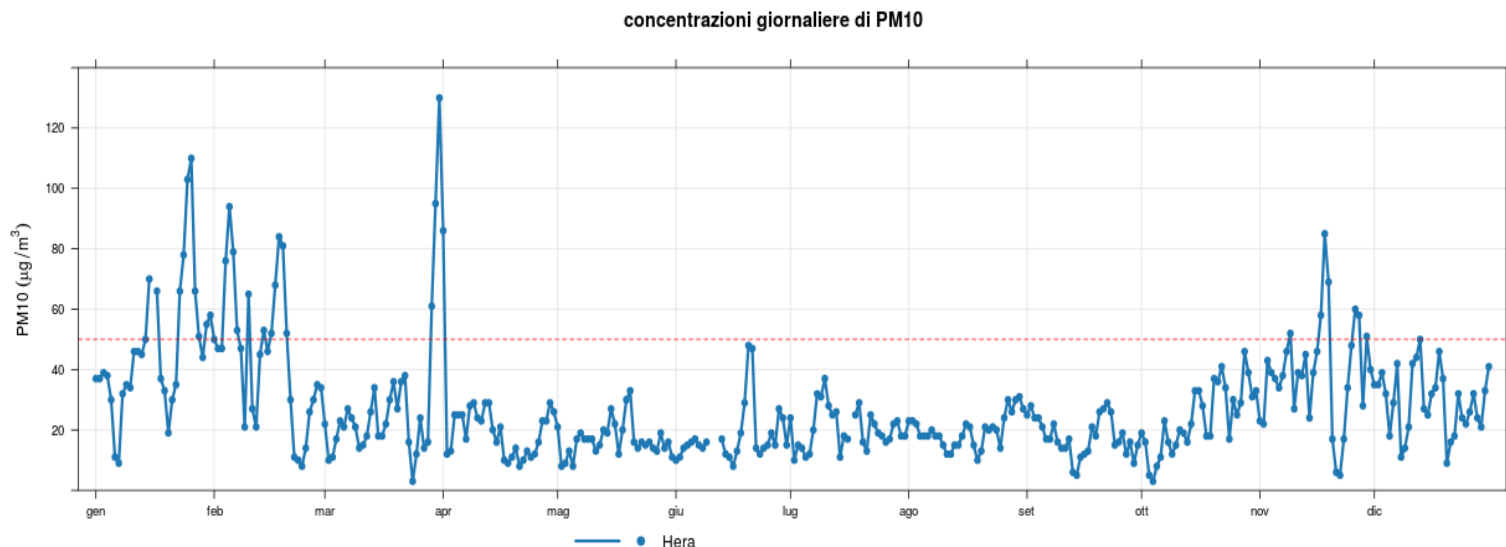


Figura 4.14 – PM10 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2024 – stazione Hera

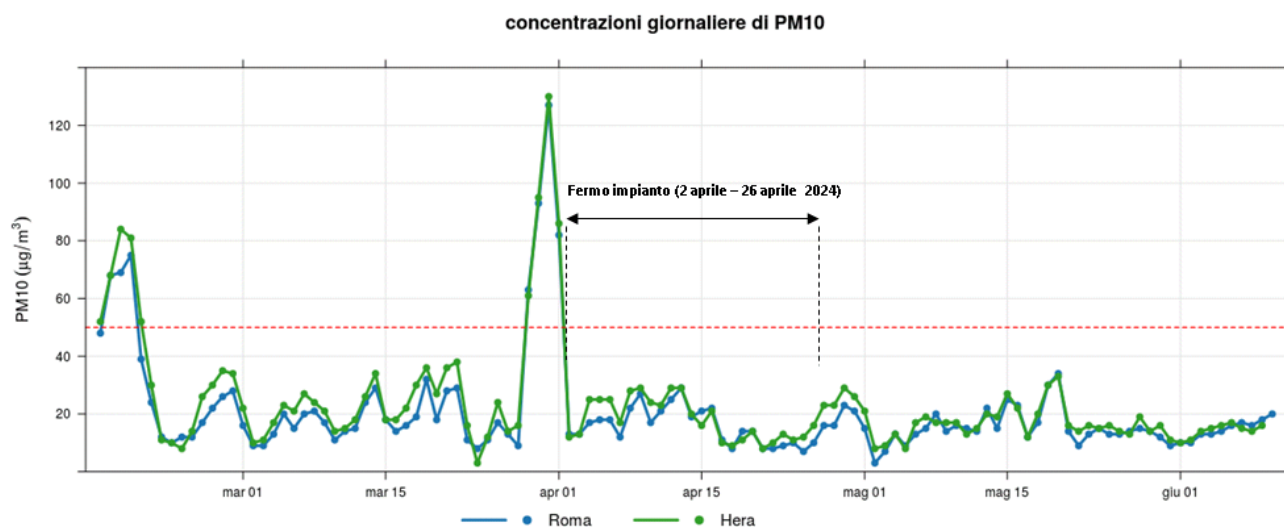


Figura 4.15 - PM10 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante il periodo a cavallo del fermo impianto ad HERA e a Roma

Le Figure 4.16 e 4.17 riportano l'andamento, negli ultimi sei anni, rispettivamente della media annuale e del numero di giorni con concentrazioni superiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$: nel 2024 la media annuale è in linea con quella dell'anno precedente come pure il numero di superamenti.

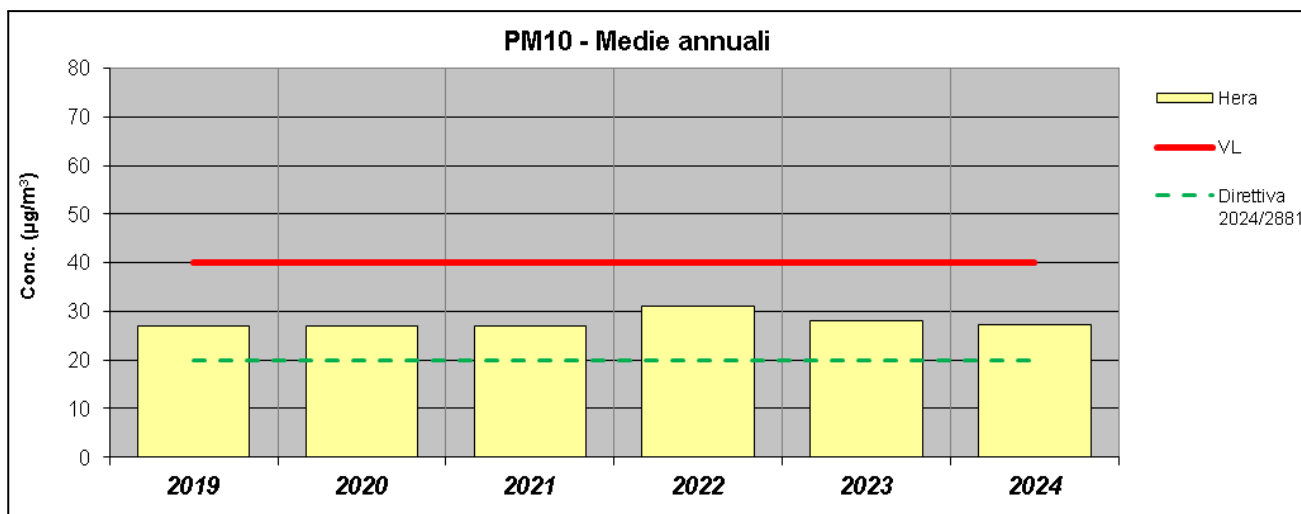


Figura 4.16 - PM10 - medie annuali – stazione Hera

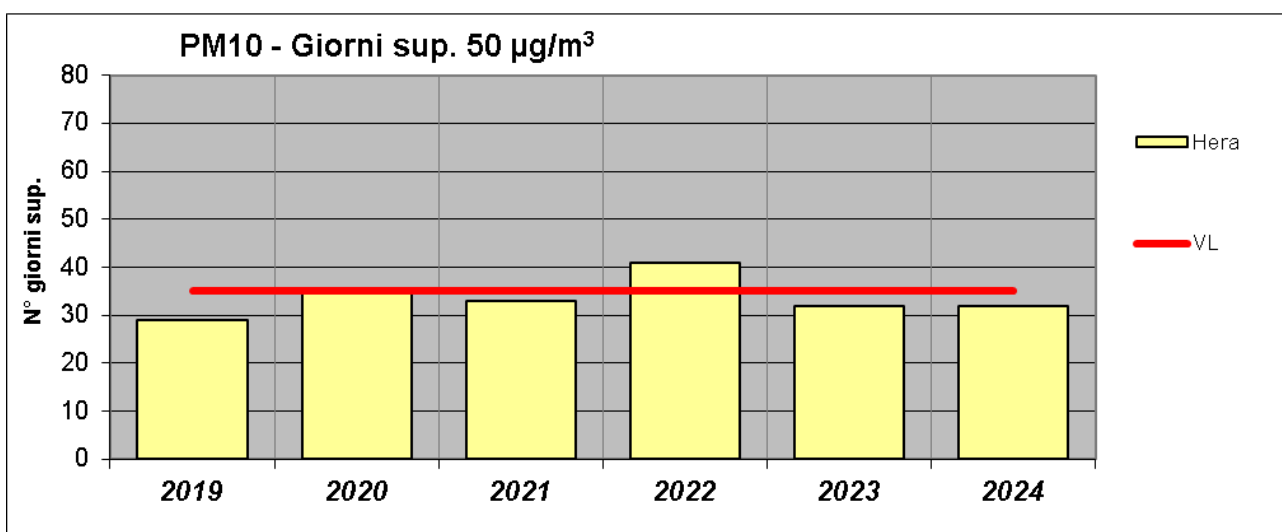


Figura 4.17 – PM10 - giorni con superamento dei 50 µg/m³ – stazione Hera

Le Figure 4.18 e 4.19 riportano l'andamento nel 2024 rispettivamente delle medie mensili e del numero di giorni con concentrazioni superiori a 50 µg/m³.

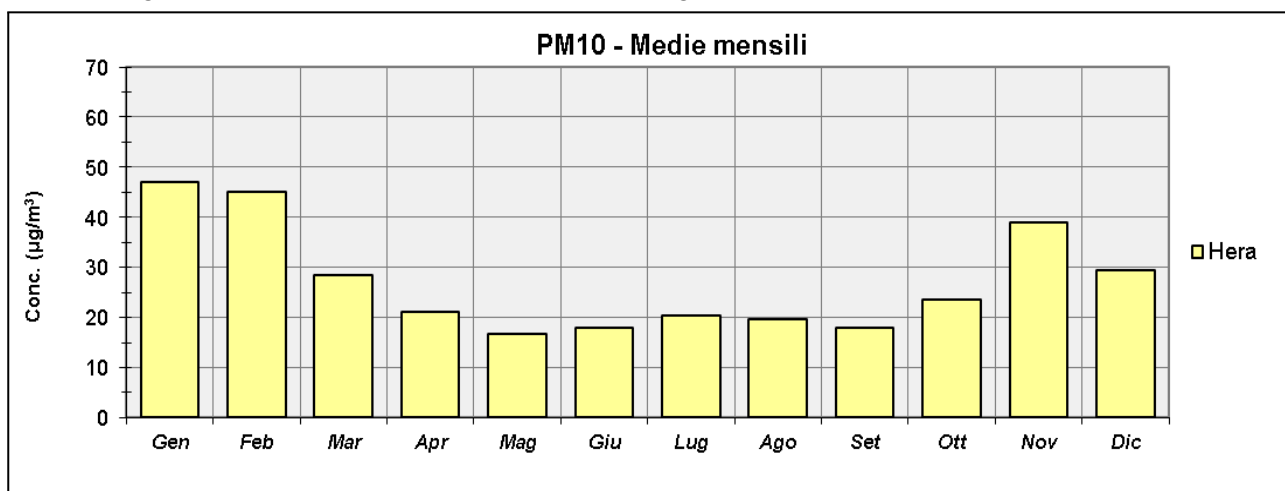


Figura 4.18 - PM10 - medie mensili – stazione Hera – Anno 2024

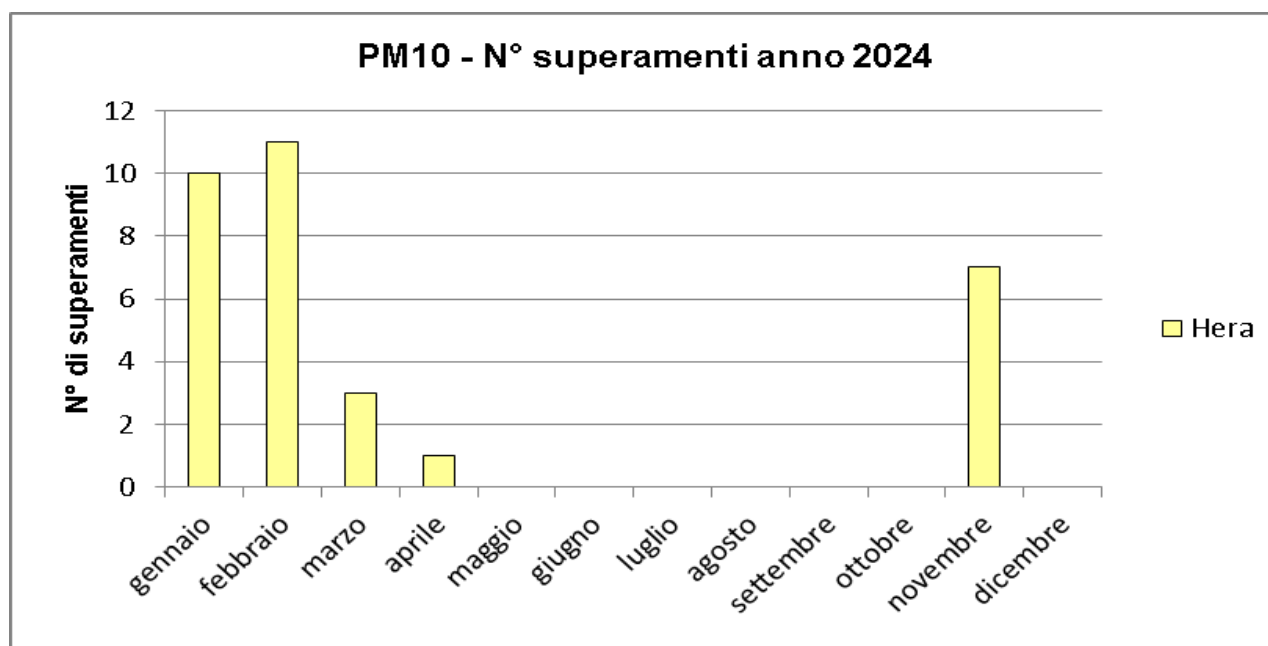


Figura 4.19 – PM10 – N° superamenti del valore limite giornaliero – stazione Hera – Anno 2024

Infine, la Tabella 4.11 riporta alcuni parametri relativi al PM10, calcolati a partire dal 2019.

Tabella 4.11 – Indici statistici per le concentrazioni giornaliere di PM10 registrate dal 2019 al 2024 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Hera

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale	27	27	27	31	28	27
50°Percentile	22	21	22	28	24	22
90°Percentile	48	51	49	52	48	48
95°Percentile	58	70	62	60	56	65
98°Percentile	67	87	72	68	68	83
Massimo giornaliero	89	125	112	81	80	130
Concentrazioni giornaliere maggiori di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	29	35	33	41	32	32
% dati validi	95	95	95	96	99	99

4.5 Particolato PM2.5

Con il termine particolato fine PM2.5, si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico medio inferiore a 2,5 µm. In generale il particolato di queste dimensioni microscopiche e inalabili penetra in profondità attraverso l'apparato respiratorio, dai bronchi sino agli alveoli polmonari e riesce anche, attraverso la mucosa, ad arrivare al sangue.

Il particolato PM2.5 può essere di origine primaria, quando è emesso direttamente dalle sorgenti in atmosfera o secondario, quando si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altri composti, come ad esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca.

Il particolato fine può essere emesso da sorgenti naturali, ad esempio eruzioni vulcaniche, erosione del suolo, incendi boschivi e aerosol marino, o da sorgenti antropiche, tra le quali traffico veicolare, utilizzo di combustibili (carbone, combustibili liquidi, rifiuti, legno, rifiuti agricoli) e emissioni industriali (cementifici, fonderie).

Questo inquinante – come il PM10 - è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sulla salute umana: queste ricerche hanno portato l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) a affermare che «La maggior parte delle particelle che danneggiano la salute sono quelle con un diametro di 10 micron o meno, (≤PM10), che possono penetrare e depositarsi in profondità nei polmoni, L'esposizione cronica alle particelle contribuisce al rischio di sviluppare malattie cardiovascolari e respiratorie, nonché di cancro ai polmoni, [...] Vi è una stretta relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (PM10 e PM2.5) e un aumento della mortalità e morbidità, sia quotidiana sia nel tempo, [...] Il particolato fine ha effetti sulla salute anche a concentrazioni molto basse, infatti non è stata identificata una soglia al di sotto della quale non si osservano danni alla salute», Pertanto, l'OMS, pur indicando dei valori guida (per il PM2.5: 5 µg/m³ come media annuale e 15 µg/m³ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile».

La stagione più critica è sempre quella invernale, quando le concentrazioni di PM2.5 rappresentano oltre il 50% di quelle di PM10. Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si rilevano la valutazione dello stato dell'indicatore – nonostante il rispetto del limite - non può essere considerata del tutto positiva, anche alla luce della nuova Direttiva sulla Qualità dell'Aria, entrata in vigore il 10 dicembre 2024 e che dovrà essere recepita dagli stati membri dell'UE entro l'11 dicembre 2026, la quale prevede limiti più stringenti rispetto a quelli attualmente in vigore.

Tabella 4.12 - PM2.5: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalla normativa

PM2.5 [L.Q. = 3 µg/m³]				Concentrazioni in µg/m³		Limite Normativo	Limite indicativo	Direttiva 2024/2881	
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	25 µg/m³	20 µg/m³	10 µg/m³	Max 18
						Media anno	Media anno	Media anno	N° giorni Sup. 25 µg/m³
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	<3	81	14	14	14	52

Il D.lgs. 155/2010, relativamente al PM 2.5, contempla due fasi:

- Fase 1: a partire dal 1/1/ 2015, il valore limite della media annuale del PM2.5 è $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Fase 2: dal 1/1/2020, doveva essere raggiunto un "Valore limite da stabilire con successivo decreto ai sensi dell'articolo 22, comma 6, tenuto conto del valore indicativo di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e delle verifiche effettuate dalla Commissione europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri". Tale decreto ad oggi, non è stato emanato e pertanto il valore di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ viene di seguito riportato come "limite indicativo".

Nel 2024 il valore limite della media annuale del PM2.5 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), così come il "limite indicativo" ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sono stati rispettati.

I valori limite della nuova Direttiva europea 2024/2881 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione massima sulle 24 ore da non superare per più di 18 giorni l'anno) invece sono stati superati.

Nella Figura 4.20 sono riportate le concentrazioni giornaliere del 2024 per la stazione Locale Hera.

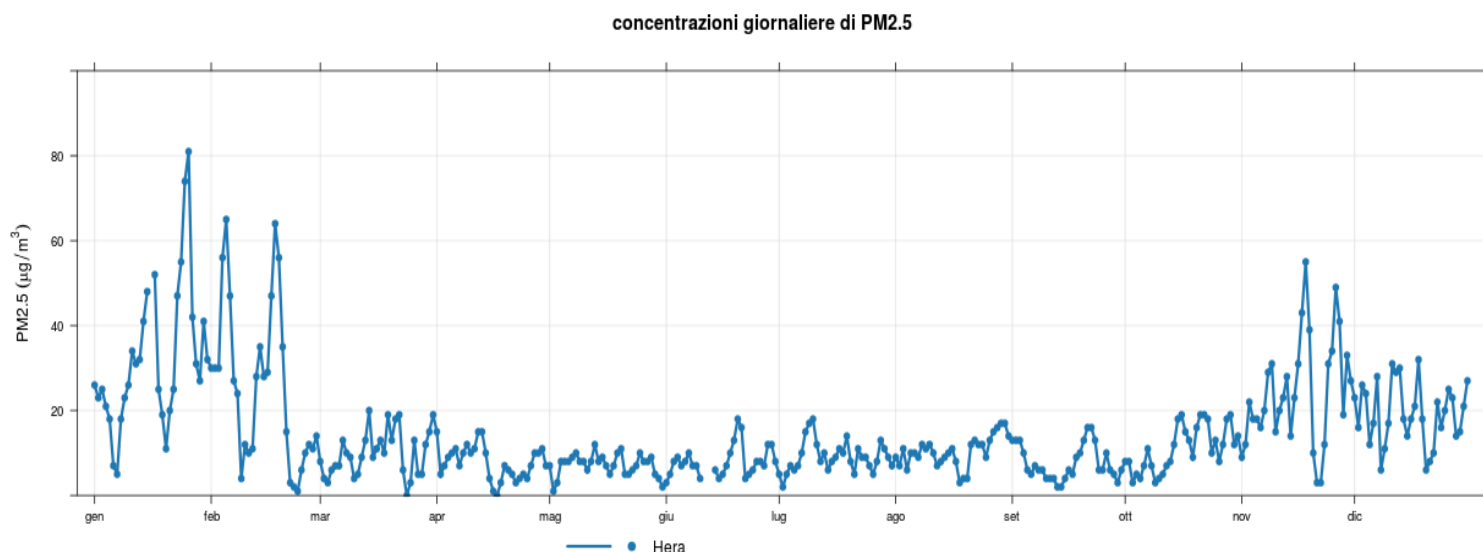


Figura 4.20 – PM2.5 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2024 – stazione Hera

In Figura 4.21 vengono riportate le concentrazioni giornaliere misurate durante il periodo a cavallo del fermo impianto nella stazione Locale Hera e nella stazione meglio correlata tra quelle della RRQA della provincia di Forlì-Cesena (Parco Resistenza – Pearson = 0,92).

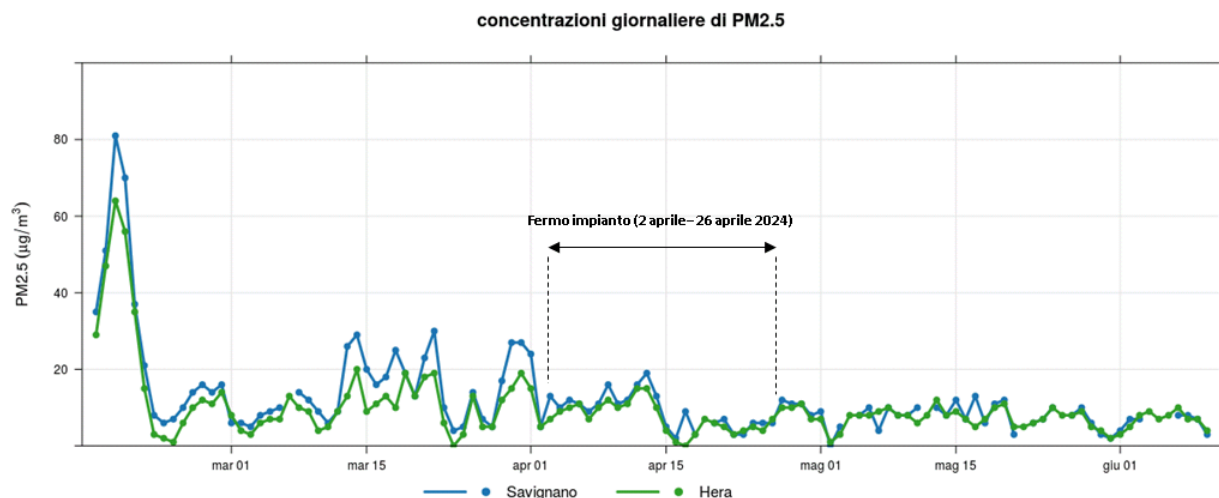


Figura 4.21 – PM2.5 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante il periodo a cavallo del fermo impianto ad HERA e a Savignano – stazione Hera

Di seguito si riporta il grafico con le medie mensili (Figura 4.22). Anche in questo caso si osservano le concentrazioni più elevate durante il periodo invernale e più basse durante il periodo estivo.

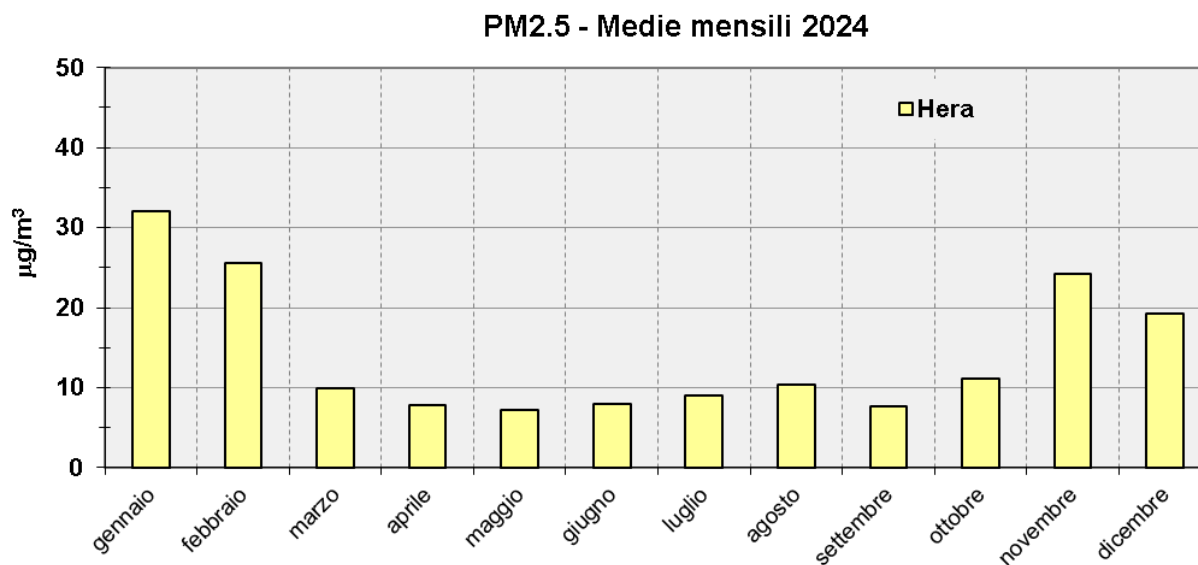


Figura 4.22 – PM2.5 - medie mensili – stazione Hera

In Figura 4.23a sono riportate le medie annuali rilevate dal 2019, messe a confronto con il limite previsto dalla normativa ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – linea rossa), il valore indicativo della Fase 2 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – linea blu) e il valore limite previsto dalla nuova direttiva UE 2024/2881 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - linea verde).

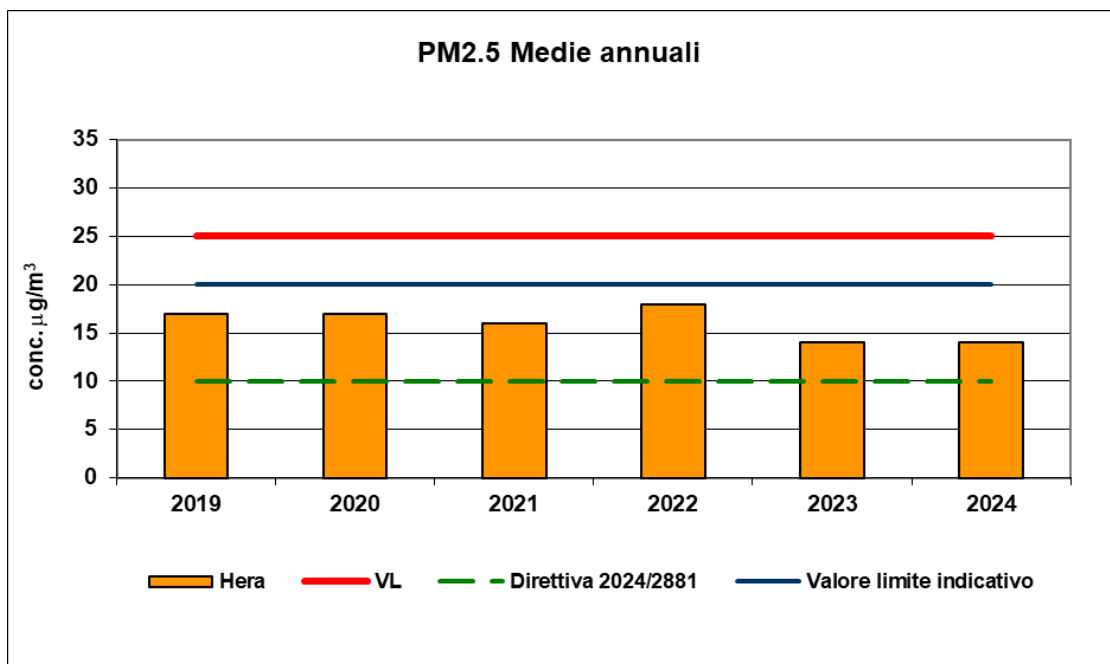


Figura 4.23a – PM2.5 - medie annuali nell'intervallo 2019 – 2024 – stazione Hera

Negli ultimi sei anni non è stato superato né il limite normativo né quello indicativo, contrariamente al valore limite previsto dalla nuova direttiva UE 2024/2881 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione sulle 24 ore, da non superare per più di 18 giorni) (Figura 4.23b).

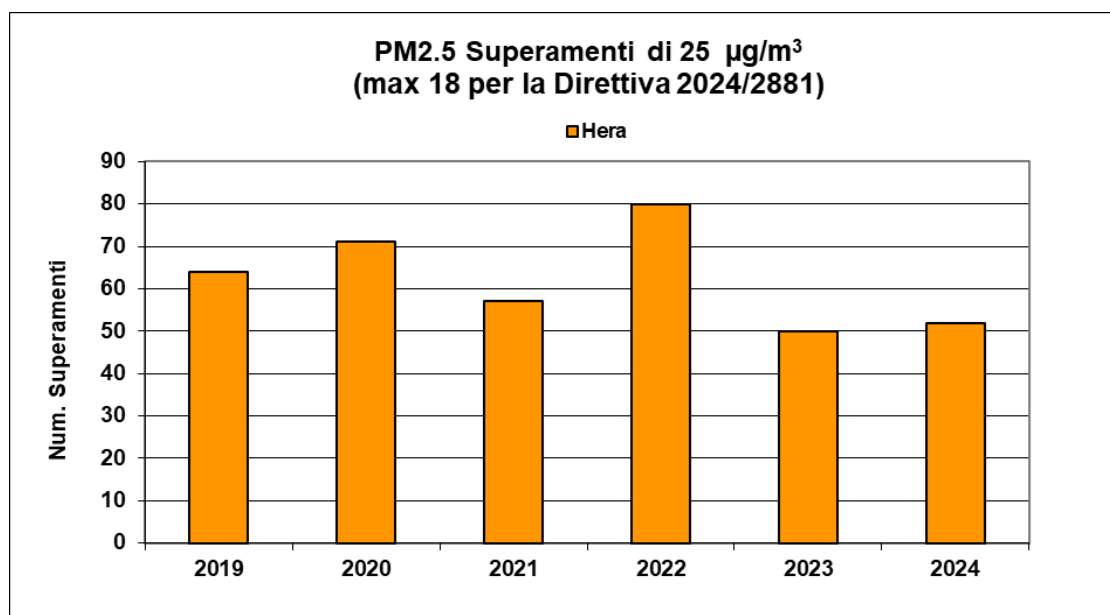
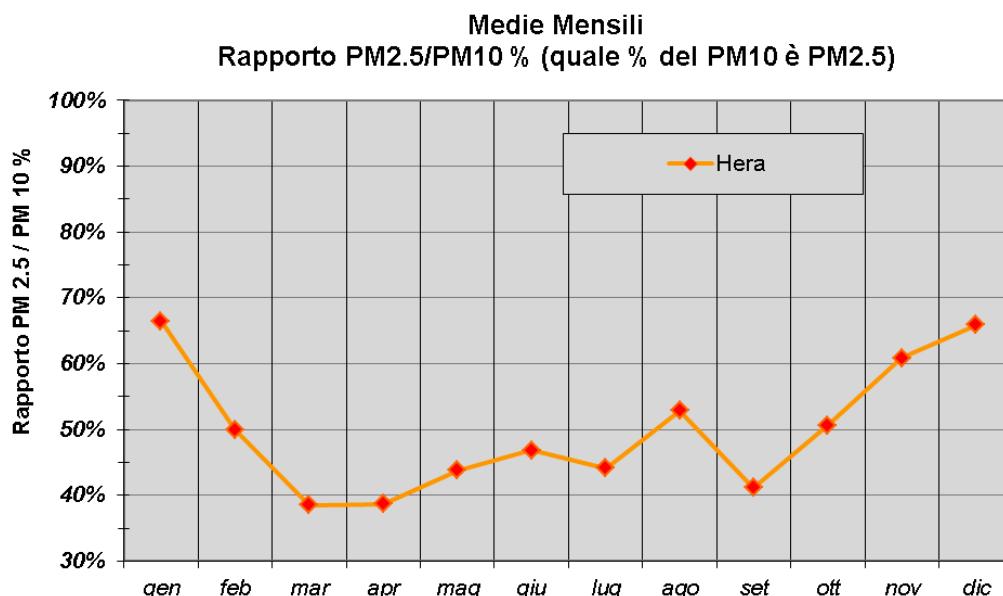


Figura 4.23b – PM2.5 - N° superamenti della media giornaliera di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Direttiva UE 2024/2881) nell'intervallo 2019 – 2024 – stazione Hera

Nella stazione Hera sono presenti due strumenti per la misurazione di particolato PM10 e PM2.5; in Figura 4.24 viene riportata la media mensile del rapporto percentuale giornaliero tra le due frazioni granulometriche, PM2.5/PM10.



**Figura 4.24 –
Rapporto PM2.5/PM10:
medie mensili 2024 –
stazione Hera**

Dagli andamenti del rapporto si osserva una spiccata stagionalità: la quota di particolato fine (PM 2.5) è maggiore nei mesi invernali quando oltre il 50% del PM10 è costituito da PM 2.5.

Il PM10 è generato, per una quota significativa, per azione meccanica mentre il particolato più fine (PM2.5) deriva prevalentemente dalla combustione e/o è di origine secondaria, cioè, è prodotto in atmosfera a partire da precursori gassosi quali ossidi di azoto (nitrati), ossidi di zolfo (solfati), ammoniaca (ammonio), composti organici volatili.

La maggior quota di particolato PM2.5 durante i mesi invernali può, quindi, essere in relazione con:

- l'aumento delle emissioni primarie derivanti dai processi di combustione (traffico, riscaldamento), quantitativamente più rilevanti in questo periodo dell'anno;
- l'incremento della componente secondaria legata ad una maggiore presenza e persistenza di precursori in atmosfera.

Infine, la Tabella 4.13 riporta alcuni parametri statistici relativi al PM2.5, calcolati a partire dal 2019.

**Tabella 4.13 - Indici statistici per le concentrazioni giornaliere di PM2.5 registrate dal 2019 al 2024
(dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Stazione: Hera

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale	17	17	16	18	14	14
50°Percentile	13	11	12	15	11	10
90°Percentile	36	38	32	34	28	30
95°Percentile	45	47	41	41	37	41
98°Percentile	52	58	52	49	44	54
Max giornaliero	72	93	80	63	59	81
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Dir 2024/2881)	64	71	57	80	50	52
% dati validi	94	93	97	96	96	99

4.6 ANALISI DI METALLI PESANTI E MICROINQUINANTI ORGANICI SUL PARTICOLATO ATMOSFERICO

Il particolato PM10 raccolto sui filtri viene sottoposto ad analisi per la determinazione di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), metalli, policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani, (PCDF) e policlorobifenili (PCB).

Nel corso del 2024 la raccolta dei filtri è stata fatta su base giornaliera mentre le analisi sono state effettuate accorpando i filtri su base mensile come riportato nella tabella sottostante (Tabella 4.14). In aggiunta è stata eseguita una campagna specifica in occasione dei giorni di fermo impianto dal 2 al 26 aprile. I filtri relativi alle giornate di inizio e fine fermo impianto (2 e 26 aprile) sono stati esclusi dall'analisi perché a cavallo del fermo.

Il D.Lgs. 155/2010 indica, nell'Allegato VI, i metodi di riferimento da utilizzare per il campionamento e la misurazione di piombo, arsenico, cadmio, nichel e del Benzo(a)Pirene nell'aria ambiente.

Invece, per quanto riguarda la determinazione di PCB, Diossine e Furani, il metodo di riferimento è EPA 1613, utilizzando uno spettrometro di massa in alta risoluzione per diossine e furani, mentre si utilizza un metodo interno del Laboratorio Multisito di Ravenna per l'analisi dei PCB.

Tabella 4.14 - Periodi di raccolta dei filtri PM10 sottoposti ad analisi (anno 2024)

<i>Periodo di campionamento</i>		<i>N° giorni campionati</i>
I	01 gennaio – 31 gennaio	30
II	01 febbraio – 29 febbraio	29
III	01 marzo – 01 aprile	32
IV (fermo impianto)	03 aprile – 25 aprile	23
V	27 aprile – 31 maggio	35
VI	01 giugno – 30 giugno	27
VII	01 luglio – 31 luglio	30
VIII	01 agosto – 31 agosto	31
IX	01 settembre – 30 settembre	30
X	01 ottobre – 31 ottobre	31
XI	01 novembre – 30 novembre	30
XII	01 dicembre – 31 dicembre	31

4.6.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono idrocarburi aromatici ad elevato peso molecolare, la cui molecola è formata da due o più anelli benzenici, saldati in modo da avere in comune due o più atomi di carbonio. Vengono suddivisi, in funzione del peso molecolare e del numero di atomi, in IPA leggeri (2-3 anelli condensati) e IPA pesanti (4-6 anelli). La pericolosità di alcuni IPA deriva principalmente dalla loro semi-volatilità che li rende particolarmente mobili attraverso le varie matrici ambientali.

Il composto più studiato e rilevato è il Benzo(a)pirene [BaP] del quale l'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (IARC) ha accertato la cancerogenicità per l'uomo (Gruppo1).

In particolari aree geografiche, le principali sorgenti naturali di IPA nell'ambiente sono costituite da incendi boschivi e vulcani. Per quanto riguarda le sorgenti antropiche, il maggior contributo deriva dalla combustione incompleta di composti organici durante processi industriali ed altre attività come la trasformazione di combustibili fossili, la produzione di alluminio, acciaio e di materiali bituminosi, l'incenerimento di rifiuti, la produzione di energia termoelettrica, il traffico veicolare, il riscaldamento domestico e il fumo di tabacco. In particolare, durante i processi di combustione gli IPA vengono inizialmente generati in fase gassosa e permangono solo per breve tempo nell'atmosfera in quanto, a causa della loro bassa tensione di vapore, tendono rapidamente a condensarsi e ad essere adsorbiti dalle particelle sospese, che, per la loro elevata superficie specifica, presentano alta capacità di adsorbimento anche per questi inquinanti.

In atmosfera l'esposizione agli IPA non è mai legata ad un singolo composto, ma ad una miscela generalmente adsorbita al particolato atmosferico. La distribuzione dei diversi isomeri tra fase gassosa e particolata dipende, in ultima analisi, dal peso molecolare: composti a basso peso molecolare sono praticamente presenti solo nella fase gassosa, mentre i composti definiti pesanti sono per lo più adsorbiti sul particolato atmosferico.

Il valore obiettivo degli IPA è espresso in funzione della concentrazione del Benzo(a)pirene.

Nel 2024 il valore obiettivo di 1,0 ng/m³ come media annuale della concentrazione del Benzo(a)pirene è stato rispettato (Tabella 4.15).

Tabella 4.15 - B(a)P nel PM10 – Confronto fra l'elaborazione dei dati 2024 e il valore obiettivo previsto dal D.Lgs. 155/10

<i>Benzo(a)pirene</i> <i>Periodo di campionamento</i>	<i>Valore obiettivo</i>
	<i>1,0 ng/m³</i>
	<i>Media annuale Benzo(a)pirene</i>
I	0,326
II	0,231
III	0,058
fermo impianto IV	0,010
V	0,004
VI	0,040
VII	0,033
VIII	0,032
IX	0,009
X	0,007
XI	0,203
XII	0,378
Media annuale	0,111

Le concentrazioni dell'ultimo quinquennio (2020-2024) sono contenute; pertanto, la criticità segnalata non è relativa alle concentrazioni rilevate quanto alla classificazione dell'inquinante come accertato cancerogeno.

Il D.Lgs. 155/2010 puntualizza l'opportunità di misurare, contestualmente al benzo(a)pirene, alcuni altri IPA di rilevanza tossicologica – in particolare: benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene, e dibenzo(a,h)antracene – per verificare la costanza dei rapporti nel tempo e nello spazio tra il benzo(a)pirene e gli altri IPA.

Il metodo analitico utilizzato per la determinazione degli IPA prevede l'estrazione del materiale particolato (PM10) con solvente e la successiva purificazione su colonna di gel di silice. L'eluato così raccolto viene ripreso con un volume noto di toluene. La determinazione analitica finale viene effettuata per gascromatografia ad alta risoluzione interfacciata ad un rivelatore costituito da uno spettrometro di massa a bassa risoluzione. Lo standard di riferimento utilizzato consente di determinare – oltre agli IPA riportati nel Decreto, altri 16 composti (DM 05/05/2015 GU n°128 05/06/2015; UNI EN 15549:2008).

La Tabella 4.16 riporta le concentrazioni dei 23 IPA ricercati nei filtri raccolti in ciascun periodo del 2024 e, in ultima colonna, la media annuale. Nel calcolo della media i composti inferiori al Limite di Quantificazione (LQ) sono stati considerati pari alla metà del LQ stesso.

Nella tabella gli IPA indicati dal decreto sono in colore azzurro, il benzo(a)pirene in colore rosso.

Tabella 4.16 - IPA – Concentrazioni medie di campagna e medie anno 2024 (ultima colonna)

IPA	I	II	III	IV (fermo impianto)	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MEDIA 2024
	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
Naftalene	0,0004	0,0039	0,0003	0,0004	0,0003	<0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0043	0,0004	0,0004	0,0009
Acenaftilene	0,0005	0,0006	0,0004	0,0005	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0010	0,0016	0,0004
Acenaftene	0,0018	0,0021	0,0010	0,0013	0,0006	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0006	0,0022	0,0096	0,0004	0,0016
Fluorene	0,0075	0,0272	0,0031	0,0057	0,0033	0,0048	<0,0001	<0,0001	0,0004	0,0009	0,0044	0,0005	0,0048
Fenantrene	0,0575	0,0709	0,0254	0,0630	0,0170	0,0101	0,0239	0,0212	0,0010	0,0060	0,0172	0,0130	0,0272
Antracene	0,0010	0,0011	0,0006	0,0004	0,0015	0,0100	0,0015	0,0014	0,0002	0,0007	0,0177	0,0016	0,0031
Fluorantene	0,1590	0,0766	0,0288	0,0189	0,0110	0,0154	0,0161	0,0183	0,0077	0,0117	0,0843	0,1015	0,0458
Pirene	0,1469	0,0741	0,0266	0,0117	0,0082	0,0214	0,0181	0,0189	0,0109	0,0145	0,0947	0,1400	0,0488
Benzo(a)antracene	0,1966	0,1073	0,0231	0,0075	0,0031	0,0320	0,0190	0,0187	0,0063	0,0080	0,1796	0,2153	0,0681
Ciclopenta(c,d)pirene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0030	0,0050	0,0024	0,0022	0,0357	0,1039	0,0127
Crisene	0,3126	0,1607	0,0488	0,0159	0,0086	0,0591	0,0433	0,0433	0,0120	0,0143	0,1487	0,3046	0,0976
Benzo(b)+(j)fluorantene	0,1997	0,4349	0,1226	0,0372	0,0243	0,0601	0,0384	0,0402	0,0333	0,0491	0,6244	0,7317	0,1997
Benzo(k)fluorantene	0,0728	0,1312	0,0369	0,0093	0,0058	0,0600	0,0427	0,0420	0,0083	0,0132	0,1784	0,1961	0,0664
Benzo(e)pirene	0,1991	0,2448	0,0813	0,0237	0,0135	0,0200	0,0386	0,0381	0,0185	0,0254	0,3070	0,3501	0,1133
Benzo(a)pirene	0,3259	0,2310	0,0580	0,0100	0,0038	0,0404	0,0326	0,0319	0,0093	0,0068	0,2027	0,3775	0,1108
Indeno(1,2,3,c,d,)pirene	0,0598	0,2190	0,0592	0,0216	0,0164	0,0523	0,0407	0,0401	0,0194	0,0278	0,3028	0,3390	0,0998
Dibenzo(ac)+(ah)antracene	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0005	0,0614	0,0481	0,0459	0,0032	0,0048	0,0965	0,0331	0,0245
Benzo(g,h,i)perilene	0,2343	0,2856	0,1047	0,0347	0,0188	0,0674	0,0537	0,0503	0,0231	0,0277	0,2943	0,3244	0,1266
Dibenzo (a,l) pirene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0005	0,0015	0,0017	0,0062	0,0093	0,0536	0,0671	0,0117
Dibenzo(a,e)fluorantene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0014	0,0019	0,0052	0,0296	0,0369	0,0063
Dibenzo (a,e) pirene	0,0033	0,0038	0,0014	0,0007	<0,0001	0,0008	0,0405	0,0389	0,0025	0,0032	0,0188	0,0195	0,0111
Dibenzo (a,i) pirene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0393	0,0375	<0,0001	<0,0001	0,0113	0,0069	0,0079
Dibenzo (a,h) pirene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0089	0,0085	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0019	0,0016

In Figura 4.25 sono riportate le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene (in ng/m^3) rilevate negli ultimi 5 anni. La media annuale del 2024 è più bassa rispetto a quelle rilevate nell'ultimo triennio 2021-2023. In generale, comunque, i valori sono in linea con quelli dell'anno precedente e sempre abbondantemente inferiori al limite normativo di $1,0 \text{ ng}/\text{m}^3$.

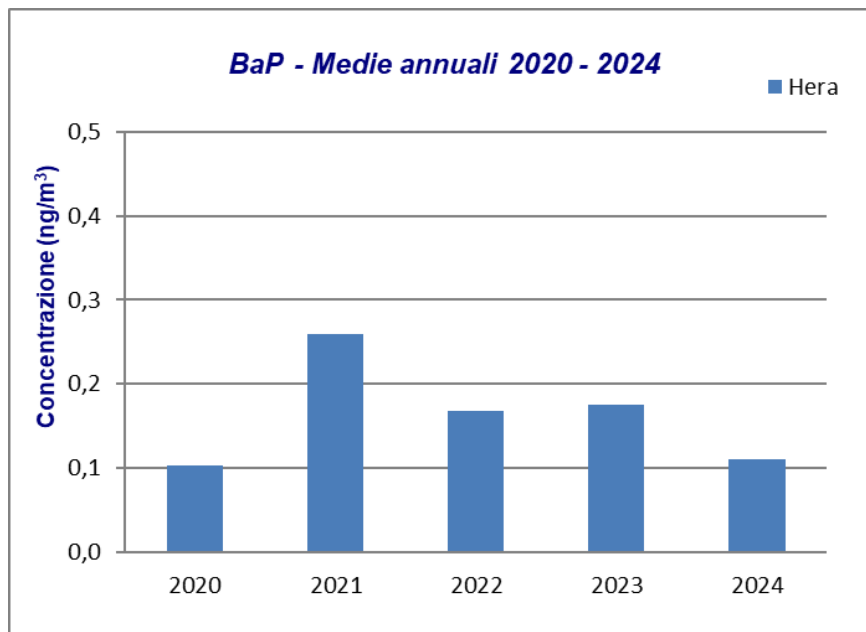


Figura 4.25 - Concentrazioni medie annuali BaP – anni 2020 – 2024 – stazione Hera

L'istogramma delle concentrazioni medie di campagna di BaP (Figura 4.26) mostra un marcato andamento stagionale con concentrazioni più alte nel periodo invernale.

Le basse concentrazioni nei mesi estivi sono riconducibili alla concomitanza di diversi fattori: la riduzione delle sorgenti attive (minor uso dell'auto, riscaldamento spento,...), la presenza di condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti (venti più intensi, maggior convezione, assenza di inversione termica) ed una maggiore insolazione, in grado di favorire reazioni di degradazione degli IPA.

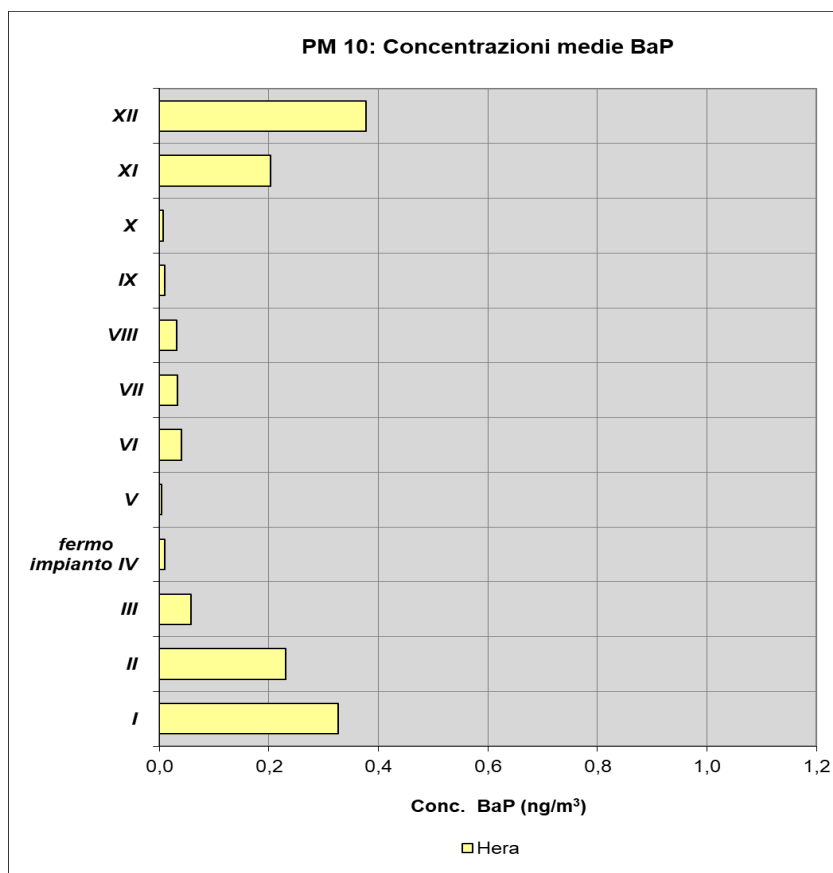


Figura 4.26 - Andamento temporale delle concentrazioni medie di BaP nel PM10 nel 2024 – stazione Hera

Il grafico di Figura 4.27 riporta le concentrazioni medie annuali degli IPA richiamati dal D.Lgs. 155/2010: i congeneri a concentrazione maggiore sono: il benzo[b+j]fluorantene, classificato dallo IARC come possibile cancerogeno per l'uomo (1B), il benzo(a)pirene e l'indeno(1,2,3-cd)pirene, anch'essi classificati cancerogeni per l'uomo (1B); gli altri composti si attestano su valori più bassi. Particolarmente bassa è la concentrazione di dibenzo(a,h+a,c)antracene, anch'esso classificato dallo IARC come 2B.

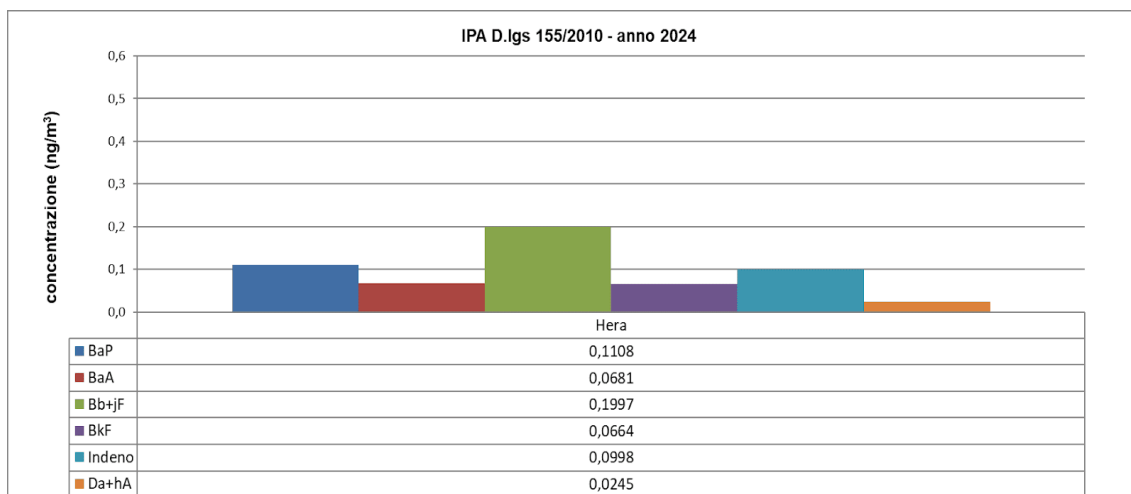


Figura 4.27 - Media annuale sul particolato PM10 (2024) degli IPA indicati dal D.Lgs. 155/2010 – stazione Hera

4.6.2 Metalli

Nel particolato atmosferico sono presenti metalli di varia natura. Quelli di maggior rilevanza sotto il profilo tossicologico per i quali esiste un limite normativo sono: nichel, cadmio, arsenico e piombo, che hanno evidenziato un'ampia gamma di effetti tossici sulla salute e sono classificati dall'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeni per l'uomo.

I metalli presenti nel particolato provengono da diverse fonti sia naturali che antropiche:

- **Alluminio (Al), Ferro (Fe), Silicio (Si), Potassio (K), Manganese (Mn), Calcio (Ca), Cromo (Cr):** costituenti della crosta terrestre \Rightarrow suolo, rocce;
- **Sodio (Na), Cloro (Cl), Magnesio (Mg):** aerosol marino;
- **Bromo (Br), Piombo (Pb), Bario (Ba):** emissioni da trasporto veicolare;
- **Vanadio (V), Nichel (Ni):** combustione di olii combustibili, produzione di metalli non ferrosi, produzione di ferro e acciaio;
- **Selenio (Se), Arsenico (As), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Rame (Cu):** combustione di carbone, produzione di metalli non ferrosi;
- **Zinco (Zn), Antimonio (Sb), Rame (Cu), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg):** incenerimento di rifiuti, produzione di cemento, produzione di metalli non ferrosi, produzione di ferro e acciaio.

In particolare, il piombo aveva come fonte predominante il traffico veicolare da motori a benzina, ma dal 01/01/2002, con l'adozione della "benzina verde", si è registrata una riduzione del 97% della concentrazione di tale metallo sul particolato.

Piombo, zinco, cadmio, arsenico, nichel, vanadio, si trovano in prevalenza nella frazione fine del particolato, mentre elementi come, ferro, cromo, calcio, silicio, alluminio, rame e manganese si possono trovare anche nella parte più "grossolana" del PM₁₀ (detta anche frazione coarse).

Come da piano di monitoraggio previsto dall' Autorizzazione Integrata Ambientale rilasciata con Delibera di G.P. n° 154/68306 del 16/04/2013 per l'esercizio dell'impianto, e modificata con Determina Arpae n. DET-AMB-2022-1106 del 7/3/2022, sul particolato sono stati determinati i metalli pesanti As, Cd, Ni, Pb e V. Si riporta di seguito la tabella con gli esiti delle campagne svolte nel corso del 2024 messi a confronto con:

- i valori limite e obiettivo previsti dal D.Lgs. 155/2010 per i metalli As, Cd, Ni e Pb,
- i livelli di valutazione EALs (Environmental Assessment Levels) previsti dalla Appendice D della "Horizontal Guidance Note IPPC H1 (2003), Integrated Pollution Prevention and Control, Environmental Assessment and Appraisal of BAT" per il V

I dati al di sotto del Limite di Quantificazione (LQ) sono stati considerati pari alla metà del limite stesso.

Tabella 4.17 - As, Cd, Ni, Pb e V nel PM10 – Confronto fra l'elaborazione dei dati 2024 e i valori limite o obiettivo previsti dal D.Lgs. 155/10 (per As Cd, Ni e Pb) e EAL (per V)

Metalli <i>Concentrazione di inquinante nella frazione PM10</i>	Valore obiettivo			Valore limite	Soglia di valutazione su lungo termine (EAL)
	As	Cd	Ni	Pb	V
Periodo	6,0 ng/m ³	5,0 ng/m ³	20,0 ng/m ³	0,5 µg/m ³	5 µg/m ³
I	0,51	0,16	2,86	0,006	0,0008
II	<0,41	0,10	3,22	0,004	0,0007
III	0,38	0,08	2,81	0,002	0,0014
fermo impianto IV	<0,42	<0,08	3,36	0,002	0,0006
V	<0,34	<0,07	2,29	0,002	0,0010
VI	<0,44	<0,09	2,23	0,001	0,0011
VII	<0,40	<0,08	1,84	0,001	0,0010
VIII	<0,39	<0,08	1,91	0,001	0,0008
IX	<0,40	<0,08	1,89	0,002	0,0007
X	<0,39	0,09	1,84	0,002	0,0010
XI	0,59	0,15	<1,60	0,004	0,0005
XII	0,40	0,12	<1,53	0,004	0,0005
Media annuale	0,29	0,08	2,15	0,003	0,0009

Per la determinazione dei metalli sul particolato PM10 viene utilizzato il metodo UNI EN 14902/05. Una porzione delle membrane campionate viene mineralizzata con microonde, ponendo il campione in contenitori ermetici in PTFE nei quali sono aggiunti acidi ultrapuri.

La determinazione analitica della soluzione di campione è effettuata con un sistema ICP/MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry). I dati al di sotto del Limite di Quantificazione (LQ) sono stati considerati pari alla metà del limite stesso.

In Figura 4.28 sono riportate le concentrazioni medie annuali di Cd, Ni (in ng/m³) e Pb (in µg/m³) rilevate negli ultimi 5 anni. Per l'As non viene riportata la tendenza annuale in quanto gli anni precedenti le concentrazioni erano risultate inferiori al LQ. Per il V non è presente il trend storico perché questo parametro è stato misurato per l'intero anno dal 2024.

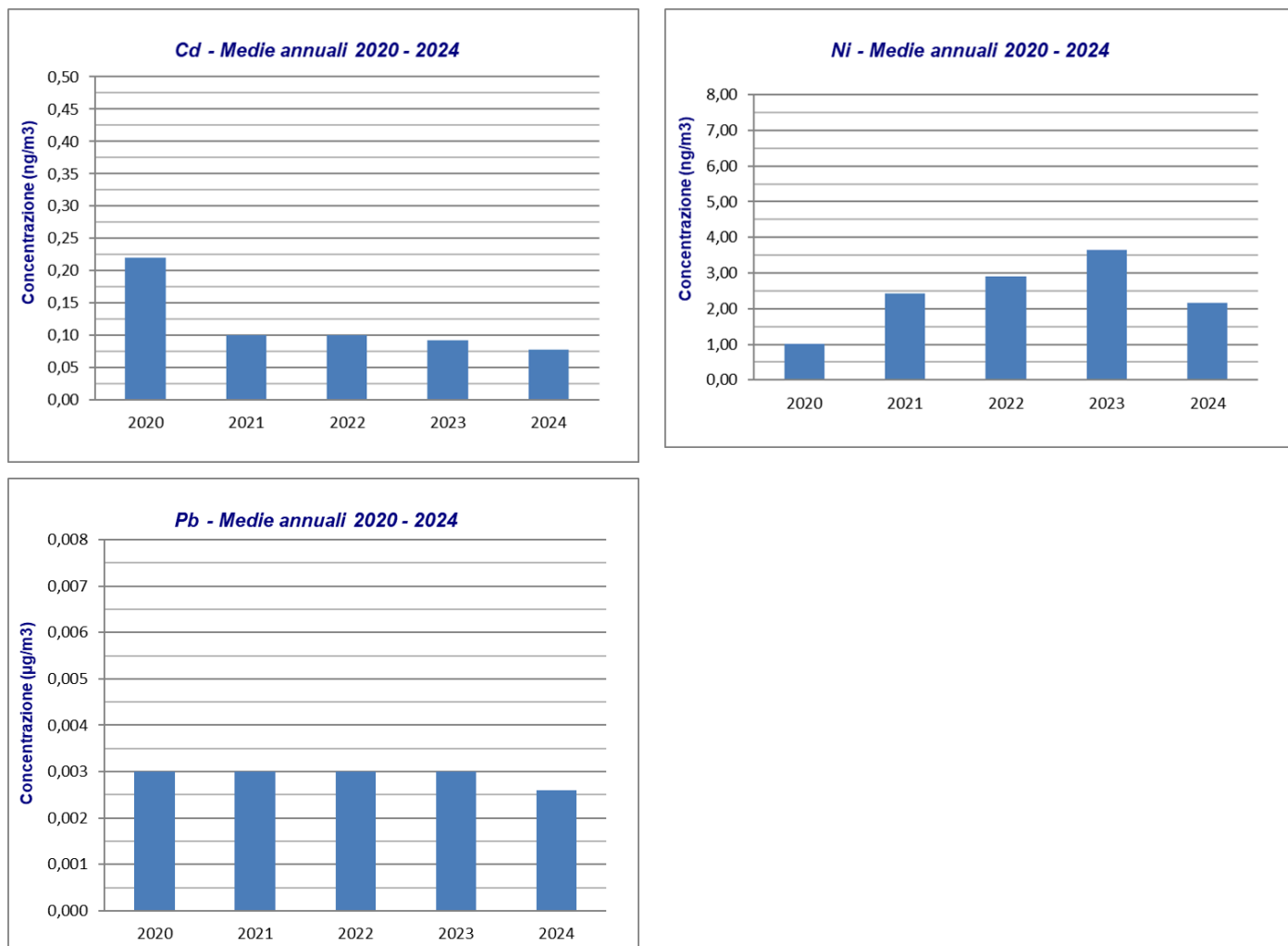


Figura 4.28 - Concentrazioni medie annuali Cd, Ni, Pb nel particolato PM10 – anni 2020-2024 – stazione Hera

Nella Figura 4.29 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie di campagna registrate nel 2024. Nel 2024 i valori obiettivo (per Arsenico, Cadmio e Nichel) e il valore limite (per il Piombo) previsti dalla normativa sono ampiamente rispettati.

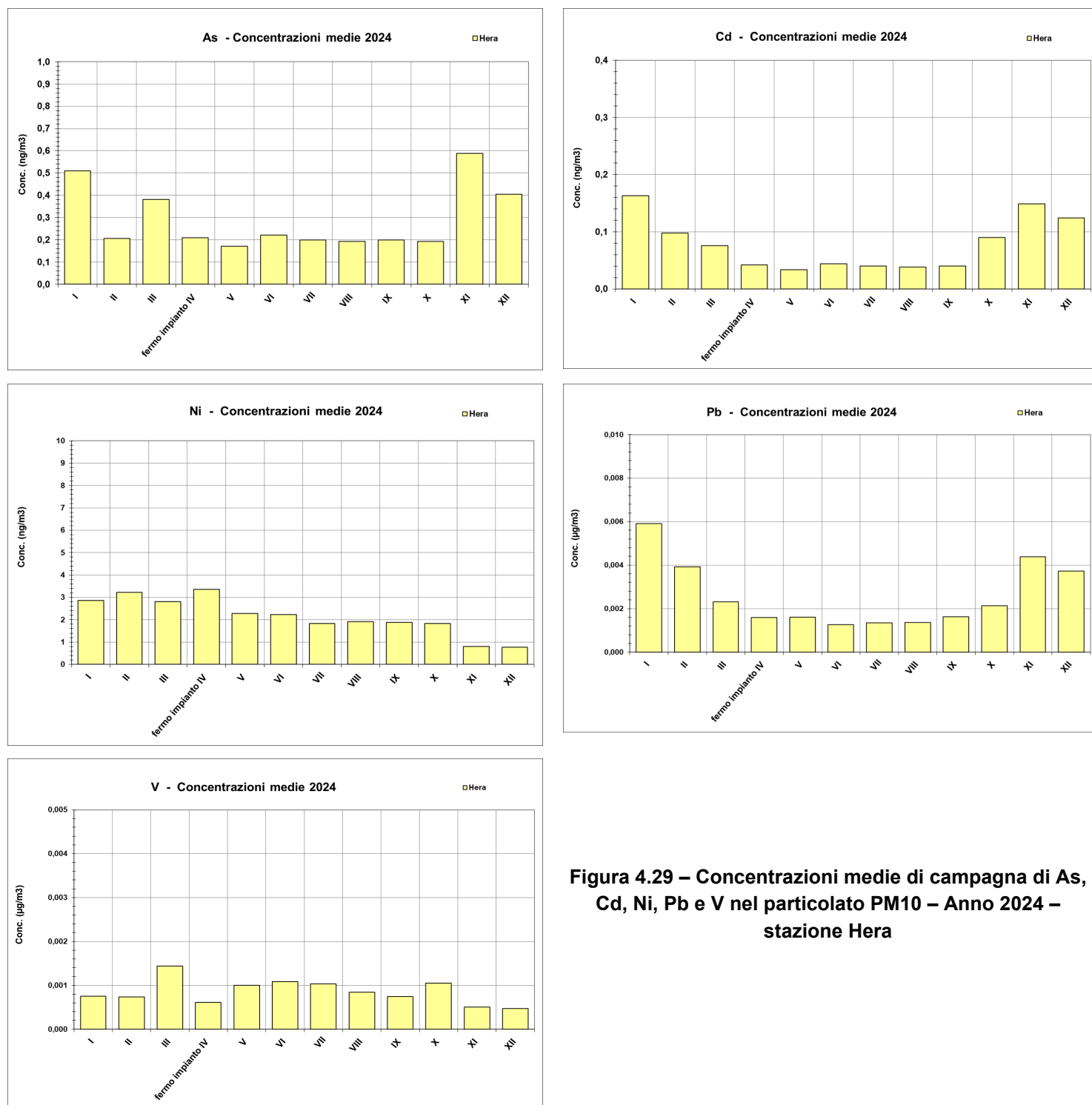


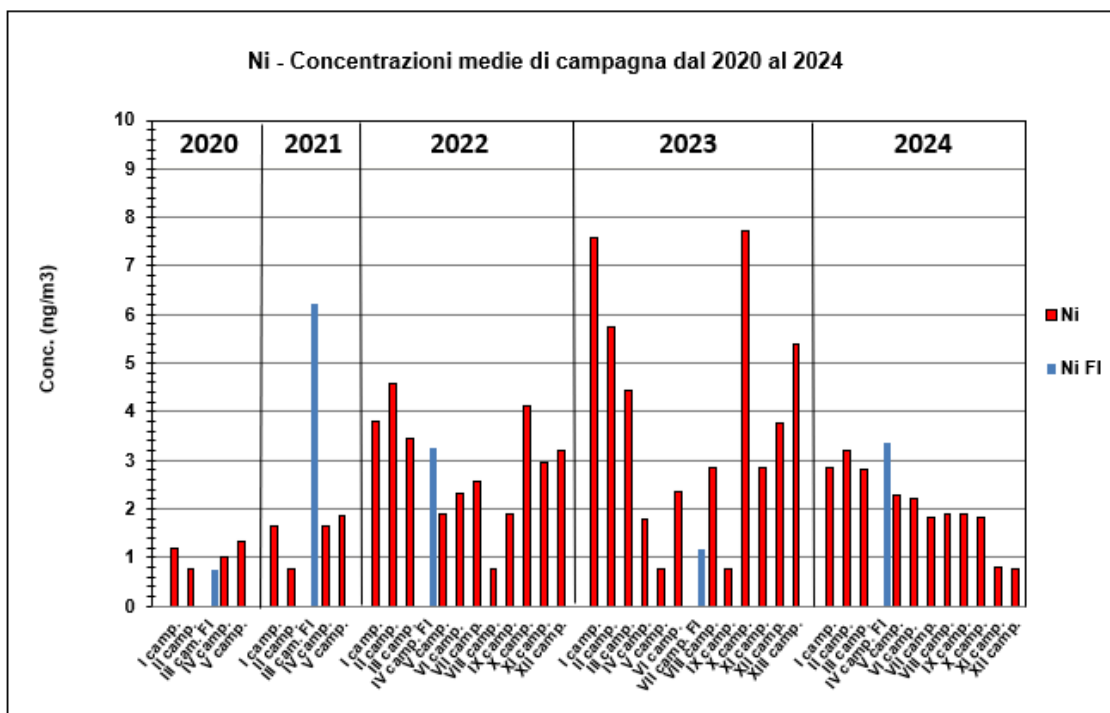
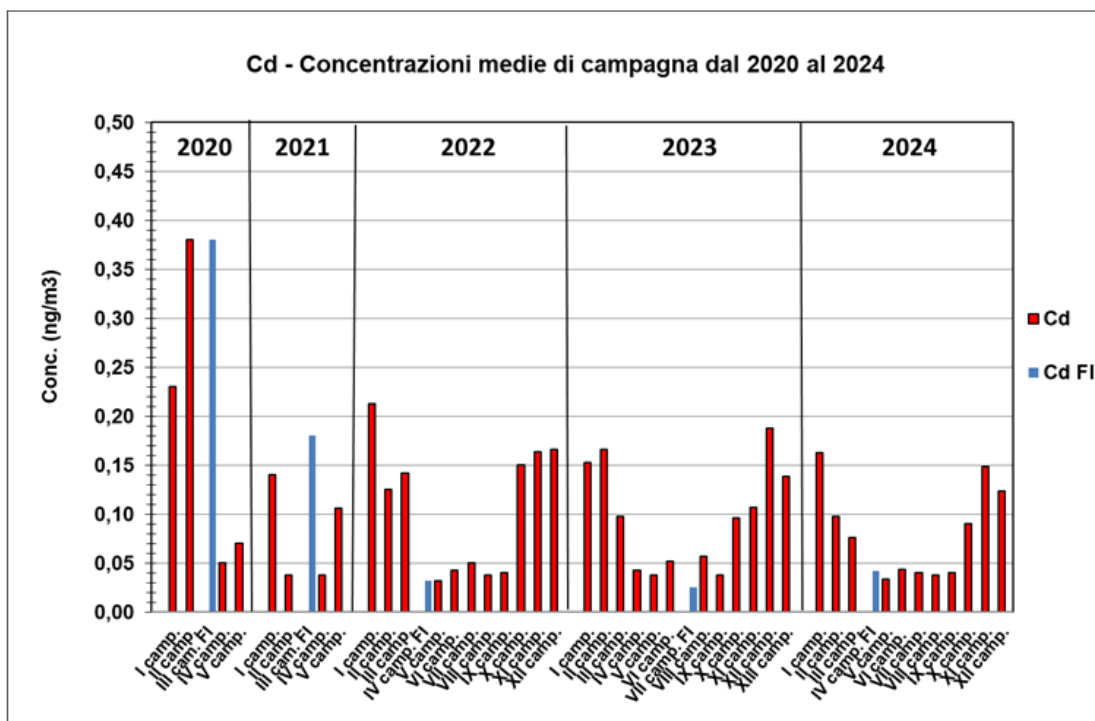
Figura 4.29 – Concentrazioni medie di campagna di As, Cd, Ni, Pb e V nel particolato PM10 – Anno 2024 – stazione Hera

Per tutti i metalli analizzati per l'anno 2024, le concentrazioni medie risultano inferiori ai limiti di legge e in linea o inferiori ai dati rilevati negli anni precedenti (2020-2024).

Rispetto ai riferimenti normativi non si riscontrano particolari criticità per questi inquinanti anche se, considerata la classificazione di alcuni di essi da parte dello IARC, la valutazione dell'indicatore non può essere, in generale, positiva e suggerisce la continuazione di tale monitoraggio.

Seguono i grafici (Figura 4.30) delle concentrazioni medie di campagna dal 2020 al 2024 per Cd, Ni e Pb. Per l'As non viene riportata la tendenza annuale in quanto gli anni precedenti le concentrazioni erano risultate inferiori al LQ. Per il V non è presente il trend storico perché questo parametro è stato misurato per l'intero anno dal 2024.

La campagna di fermo impianto è indicata con la sigla FI.



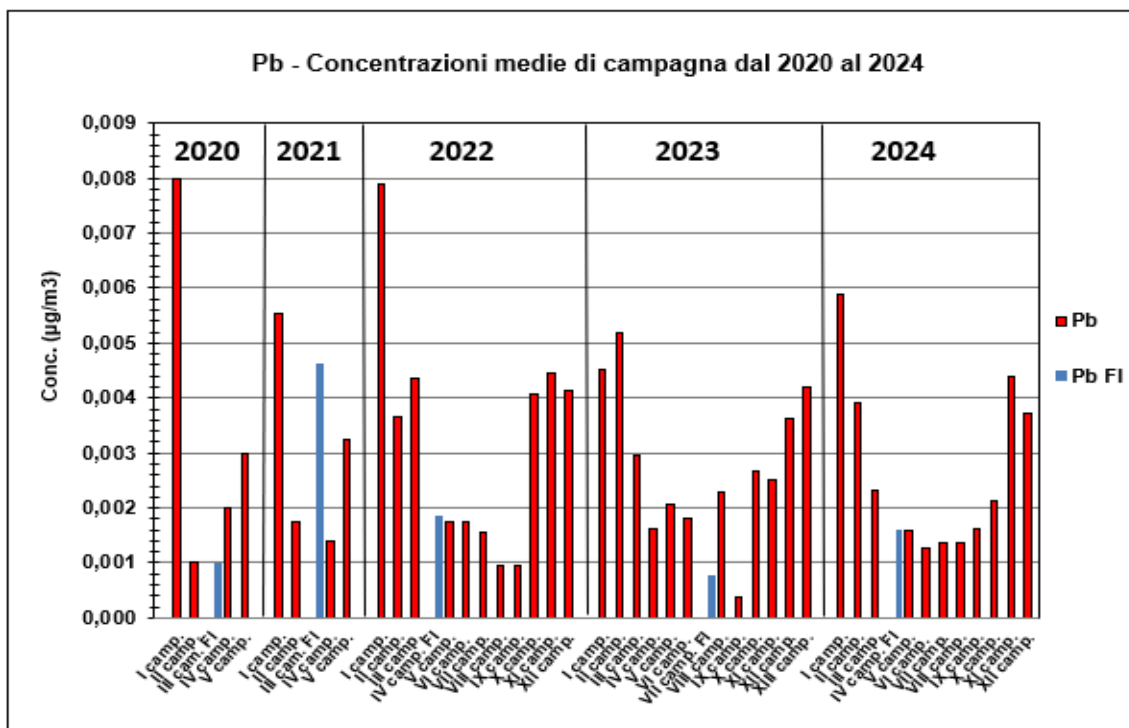


Figura 4.30 - Andamento delle concentrazioni medie di campagna di Cd, Ni e Pb dal 2020 al 2024 – stazione Hera

4.6.3 Microinquinanti organici: Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB) nel particolato PM10

Diossine (**PCDD**) - Furani (**PCDF**) e Policlorobifenili (**PCB**), fanno parte della più ampia famiglia dei Composti Organici Persistenti (**POPs**). I POPs sono sostanze chimiche molto resistenti che, una volta immesse nell'aria, nell'acqua o nel terreno, a causa della loro scarsa degradabilità, permangono nell'ambiente per lungo tempo. Alcuni POPs, come i PCB, erano prodotti a scopo industriale, altri, come diossine e furani, derivano dalla combustione di sostanze chimiche organiche e da processi industriali. Verso la fine degli anni '70 gli insetticidi e altri POPs sono stati vietati o sottoposti a restrizioni d'uso in molti paesi, tra cui l'Italia.

Il termine **Diossine - Furani** si riferisce ad un gruppo di 210 composti chimici aromatici policlorurati, divisi in due famiglie e simili per struttura, detti congeneri: 75 congeneri hanno struttura chimica simile a quella della policlorodibenzo-diossina (PCDD), 135 hanno struttura simile al policlorodibenzo-furano (PCDF). 17 di questi congeneri sono considerati tossicologicamente rilevanti. Le diossine sono immesse nell'ambiente da varie sorgenti e possono essere trasportate per lunghe distanze in atmosfera. In natura vengono rilasciate durante gli incendi boschivi e le eruzioni vulcaniche; le attività umane responsabili della loro formazione sono in generale riconducibili a processi di combustione incontrollata, ad esempio incendi. ISPRA, nella pubblicazione del 2006 (Quaderni APAT ISBN 88-448-0173-6), riporta una stima UE: gli incendi accidentali, con il 21% del totale, sono al secondo posto (dopo la produzione di pesticidi) fra le attività antropiche e naturali per il rilascio di diossine e furani sul suolo.

Generalmente le diossine vengono rilevate, nelle diverse matrici ambientali, come sommatoria dei diversi congeneri. Da sottolineare che non tutti i congeneri sono tossici, e non lo sono alla stessa maniera. Per esprimere la tossicità dei singoli congeneri e della totalità del campione analizzato è stato introdotto il concetto di «fattore di tossicità equivalente (TEF)». I TEF si basano sulla considerazione che PCDD e PCDF sono composti che producono effetti tossici simili ed esprimono la tossicità di un determinato congenere rispetto al congenere più tossico - la 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina) - a cui è assegnato il valore 1. In pratica, il valore di concentrazione di "diossina-equivalente" di un campione è ottenuto sommando i valori di concentrazione dei singoli congeneri dopo averli moltiplicati per i rispettivi TEF. Per i TEF sono stati proposti due schemi di classificazione, l'International TEF (I-TEF) e quello dell'Organizzazione Mondiale della Sanità - World Health Organization (WHO-TEF).

I **PCB** sono composti organici clorurati di sintesi, estremamente stabili, poco solubili in acqua e dalle ottime proprietà dielettriche. Per queste loro caratteristiche sono stati estensivamente impiegati, sin dagli anni '30, nel settore elettrico in qualità di isolanti ed in seguito come lubrificanti, in fluidi per impianti di condizionamento, nella preparazione delle vernici e nei sigillanti di giunti di edifici in calcestruzzo. Anche per i PCB è stato adottato il sistema TEF. In particolare, 12 PCB hanno proprietà tossicologiche molto simili a quelle delle diossine e per questo motivo vengono chiamati PCB-DL (Dioxin Like). Per questi composti sono stati fissati dei TEF che valutano la tossicità in riferimento alla diossina 2,3,7,8-TCDD e quindi le concentrazioni di PCB, espresse in funzione della Tossicità Equivalente (TE), possono essere sommate a quelle delle diossine e dei furani. I TEF dei PCB-DL sono generalmente più bassi di quelli delle diossine; tuttavia, i PCB sono di solito presenti in ambiente a livelli più elevati rispetto a diossine e furani.

Non esistono riferimenti normativi né a livello nazionale, né a livello europeo che regolamentino la presenza di diossine - furani e PCB in aria. La Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale indica, per la concentrazione in aria (seduta del 12/02/1988), un livello di azione per PCDD e PCDF pari a 40 fg/m³ in unità I-TEQ (espresso in tossicità equivalente utilizzando i Fattori di Tossicità NATO del 1988, I-TEF), mentre WHO, per esposizioni prolungate nel tempo a concentrazioni maggiori o uguali a 300 fg WHO-TE/m³, suggerisce "di indagare la presenza di sorgenti da porre sotto controllo". Un ulteriore riferimento è il limite di 150 fg/m³ WHO-TEQ stabilito dal Comitato Federale tedesco per il controllo dell'inquinamento atmosferico (LAI, 2004).

4.6.3.1 Fattore di tossicità equivalente per Policlorodibenzodiossine (PCDD), Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB)

A livello internazionale per il calcolo della tossicità equivalente (TEQ) di diossine e furani sono disponibili due schemi di classificazione per i fattori di tossicità equivalente (TEF) necessari per la loro determinazione (Tabella 4.18):

1. I fattori internazionali di tossicità equivalente (**I-TEF**), proposti nel 1988 dal Committee on the Challenges of Modern Society della NATO (CCMS)¹ che non comprendono i PCB-DL e sono utilizzati per i livelli di concentrazione delle diossine nelle diverse matrici ambientali in relazione agli standard di qualità stabiliti da norme e regolamenti
2. I fattori indicati dall'Organizzazione mondiale della sanità (**WHO-TEF**) nel 1998 (aggiornati nel 2005 e 2022), utilizzati per valutare il grado di tossicità in relazione agli effetti sulla salute umana. A differenza degli I-TEF comprendono i PCB-DL².

Tabella 4.18 - Fattori di tossicità equivalente per diossine e furani

Composto TCDD	I-TEF 1988	WHO-TEF 2005	WHO-TEF 2022	Variazione fattori (WHO-2005 vs WHO-2022)
2,3,7,8 TCDD	1	1	1	↔
1,2,3,7,8 PeCDD	5×10^{-1}	1	4×10^{-1}	↓
1,2,3,4,7,8 HxCDD	1×10^{-1}	1×10^{-1}	9×10^{-2}	↓
1,2,3,6,7,8 HxCDD	1×10^{-1}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	↓
1,2,3,7,8,9 HxCDD	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	↓
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	1×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	↑
OCDD	1×10^{-3}	3×10^{-4}	1×10^{-3}	↑
Composto TCDF	I-TEF 1988	WHO-TEF 2005	WHO-TEF 2022	Variazione fattori (WHO-2005 vs WHO-2022)
2,3,7,8 TCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	↓
1,2,3,7,8 PeCDF	5×10^{-2}	3×10^{-2}	1×10^{-2}	↑
2,3,4,7,8 PeCDF	5×10^{-1}	3×10^{-1}	1×10^{-1}	↓
1,2,3,4,7,8 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}	3×10^{-1}	↑
1,2,3,6,7,8 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}	9×10^{-2}	↓
1,2,3,7,8,9 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}	2×10^{-1}	↑
2,3,4,6,7,8 HxCDF	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	↔
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	1×10^{-2}	1×10^{-2}	2×10^{-2}	↑
1,2,3,4,7,8,9 HpCDF	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	↑
OCDF	1×10^{-3}	3×10^{-4}	2×10^{-3}	↑

Per il calcolo della tossicità equivalente (TEQ) di Policlorobifenili (PCB), si riportano i TEF proposti dal WHO (2005), rivisti nel 2022, espressi in riferimento alla diossina TCDD (Tabella 4.19).

I PCB risultano decisamente meno tossici della TCDD: da 0,1 (PCB 126) a 3×10^{-5} .

¹ NATO/CCMS – North Atlantic Treaty Organization/Committee on the Challenges of Modern Society (1988), International toxicity equivalency factors (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxin and related compounds, Report no. 176.

² 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](#)

WHO AA.VV. TEF Values WHO, revisione dei limiti del 2005, 2024, [Valori WHO-TEF 2022](#)

Tabella 4.19 - Fattori di tossicità equivalente per policlorobifenili

Composto PCB-DL	WHO-TEF 2005	WHO-TEF 2022	Variazione fattori (WHO-2005 vs WHO-2022)
PCB-126	1×10^{-1}	5×10^{-2}	↓
PCB-169	3×10^{-2}	5×10^{-3}	↓
PCB-77	1×10^{-4}	3×10^{-4}	↑
PCB-81	3×10^{-4}	6×10^{-3}	↑
PCB-105	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-114	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-118	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-123	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-156	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-157	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-167	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔
PCB-189	3×10^{-5}	3×10^{-5}	↔

Per diossine e furani i risultati sono riportati in termini di I-TEF mentre per i PCB vengono riportati utilizzando i fattori WHO-TEF 2005.

Si precisa che il Regolamento (UE) 2022/2400 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 novembre 2022, recante modifica degli allegati IV e V del regolamento (UE) 2019/1021 relativo agli inquinanti organici persistenti, applicato dal 10/06/2023, riporta ancora i WHO-TEF 2005.

4.6.3.2 Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF)

In Tabella 4.20 sono riportate le concentrazioni di ciascun analita ricercato espresse in fg/m^3 . Nel calcolo della media i composti inferiori al Limite di Quantificazione (LQ) sono stati considerati presenti per un valore pari alla metà del LQ stesso.

Tabella 4.20 - Diossine (PCDD) e Furani (PCDF) – Concentrazioni medie di campagna e medie anno 2024 (ultima colonna)

<i>PCDD e PCDF</i>	I	II	III	IV (fermo impianto)	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MEDIA 2024
	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>	<i>fg/m³</i>
2,3,7,8 T4CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	n.d.	<0,8	0,42
1,2,3,7,8 P5CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	2,3	<0,8	n.d.	<0,8	0,59
1,2,3,4,7,8 H6CDD	3,5	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	n.d.	<0,8	0,70
1,2,3,6,7,8 H6CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	n.d.	<0,8	0,42
1,2,3,7,8,9 H6CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	1,5	1,3	<0,8	<0,8	<0,8	n.d.	15,6	1,98
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	56,3	<0,9	10,2	6,3	8,1	2,5	2,2	<0,8	12,5	10,2	n.d.	189,1	27,10
O8CDD	128,1	94,1	39,6	34,5	59,3	4,0	3,6	9,8	22,9	27,3	n.d.	455,7	79,90
2,3,7,8 T4CDF	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	2,0	1,8	<0,8	3,8	<0,8	n.d.	<0,8	0,99
1,2,3,7,8 P5CDF	4,6	3,3	<0,8	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	0,9	n.d.	7,2	1,73
2,3,4,7,8 P5CDF	12,1	8,8	<0,8	<0,9	2,0	<0,9	<0,8	<0,8	2,3	<0,8	n.d.	17,7	4,13
1,2,3,4,7,8 H6CDF	10,1	6,3	2,2	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	n.d.	15,8	3,39
1,2,3,6,7,8 H6CDF	10,6	<0,9	3,1	2,6	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	2,1	n.d.	18,4	3,57
2,3,4,6,7,8 H6CDF	18,4	9,4	4,2	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	3,6	3,5	n.d.	20,4	5,61
1,2,3,7,8,9 H6CDF	<0,8	<0,9	1,1	<0,9	<0,7	1,2	1,1	<0,8	2,7	<0,8	n.d.	<0,8	0,81
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	43,0	20,7	<0,8	11,1	9,2	1,8	1,6	<0,8	9,8	4,9	n.d.	137,7	21,88
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,7	<0,9	<0,8	<0,8	2,7	<0,8	n.d.	19,1	2,32
O8CDF	36,5	14,1	8,5	5,2	11,2	4,0	3,6	5,6	10,7	7,6	n.d.	<0,8	9,78

Per la campagna XI si precisa che è stato impossibile determinare i valori di diossine e furani a causa di interferenti sul campione.

Per tener conto della diversa tossicità dei congeneri è stato utilizzato il "fattore di tossicità equivalente (TEF)".

PCDD e PCDF sono composti che producono effetti tossici simili e il TEF indica quanto un determinato congenere è tossico rispetto alla 2,3,7,8 TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina) a cui è assegnato il valore 1 (massima tossicità).

In Tabella 4.21 la concentrazione di ogni congenere (riportata in Tabella 4.20) è stata moltiplicata per il relativo I -TEF (seconda colonna), ottenendo il valore di concentrazione del congenere espresso in "diossina equivalente" (*dioxin like*).

In azzurro è indicata la concentrazione del composto presente a livello inferiore al limite di quantificazione (LQ), considerato presente per un valore pari alla metà del LQ.

Tabella 4.21 – Diossine (PCDD) e Furani (PCDF) – Concentrazioni medie di campagna per congenere e come somma (ultima riga), e medie anno 2024 (ultima colonna) espresse in I-TEQ fg/m³

<i>PCDD e PCDF</i>	<i>I-TEF</i>	I	II	III	IV (fermo impianto)	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	<i>MEDIA 2024</i>
		<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>	<i>I-TEQ fg/m³</i>
2,3,7,8 T4CDD	1,000	0,425	0,439	0,398	0,448	0,364	0,472	0,425	0,411	0,425	0,411	n.d.	0,408	0,421
1,2,3,7,8 P5CDD	0,500	0,212	0,220	0,199	0,224	0,182	0,236	0,212	0,206	1,153	0,206	n.d.	0,204	0,296
1,2,3,4,7,8 H6CDD	0,100	0,346	0,044	0,040	0,045	0,036	0,047	0,042	0,041	0,042	0,041	n.d.	0,041	0,070
1,2,3,6,7,8 H6CDD	0,100	0,042	0,044	0,040	0,045	0,036	0,047	0,042	0,041	0,042	0,041	n.d.	0,041	0,042
1,2,3,7,8,9 H6CDD	0,100	0,042	0,044	0,040	0,045	0,036	0,148	0,134	0,041	0,042	0,041	n.d.	1,564	0,198
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	0,010	0,563	0,004	0,102	0,063	0,081	0,025	0,022	0,004	0,125	0,102	n.d.	1,891	0,271
O8CDD	0,001	0,128	0,094	0,040	0,034	0,059	0,004	0,004	0,010	0,023	0,027	n.d.	0,456	0,080
2,3,7,8 T4CDF	0,100	0,042	0,044	0,040	0,045	0,036	0,196	0,176	0,041	0,382	0,041	n.d.	0,041	0,099
1,2,3,7,8 P5CDF	0,050	0,231	0,166	0,020	0,022	0,018	0,024	0,021	0,021	0,021	0,047	n.d.	0,359	0,086
2,3,4,7,8 P5CDF	0,500	6,039	4,393	0,199	0,224	0,988	0,236	0,212	0,206	1,153	0,206	n.d.	8,870	2,066
1,2,3,4,7,8 H6CDF	0,100	1,014	0,628	0,216	0,045	0,036	0,047	0,042	0,041	0,042	0,041	n.d.	1,576	0,339
1,2,3,6,7,8 H6CDF	0,100	1,056	0,044	0,313	0,256	0,036	0,047	0,042	0,041	0,042	0,206	n.d.	1,844	0,357
2,3,4,6,7,8 H6CDF	0,100	1,845	0,935	0,421	0,045	0,036	0,047	0,042	0,041	0,364	0,346	n.d.	2,042	0,561
1,2,3,7,8,9 H6CDF	0,100	0,042	0,044	0,108	0,045	0,036	0,121	0,109	0,041	0,267	0,041	n.d.	0,041	0,081
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	0,010	0,430	0,207	0,004	0,111	0,092	0,018	0,016	0,004	0,098	0,049	n.d.	1,377	0,219
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	0,010	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,027	0,004	n.d.	0,191	0,023
O8CDF	0,001	0,037	0,014	0,009	0,005	0,011	0,004	0,004	0,006	0,011	0,008	n.d.	0,0004	0,010
SOMMA		12,499	7,369	2,192	1,705	2,091	1,725	1,552	1,199	4,261	1,857	n.d.	20,945	5,218

In Figura 4.31 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali di diossine (esprese in femtogrammi su metro cubo [fg/m^3]) adsorbite sul particolato PM10 raccolto in corrispondenza della stazione locale Hera. La concentrazione media annuale di diossine (Σ delle medie annuali) è calcolata come somma delle concentrazioni delle sette diossine congeneri indicate in legenda: l'altezza di ogni segmento colorato all'interno di ciascuna barra è proporzionale alla concentrazione media annuale con cui il congenere contribuisce alla media annuale somma delle sette diossine indicate.

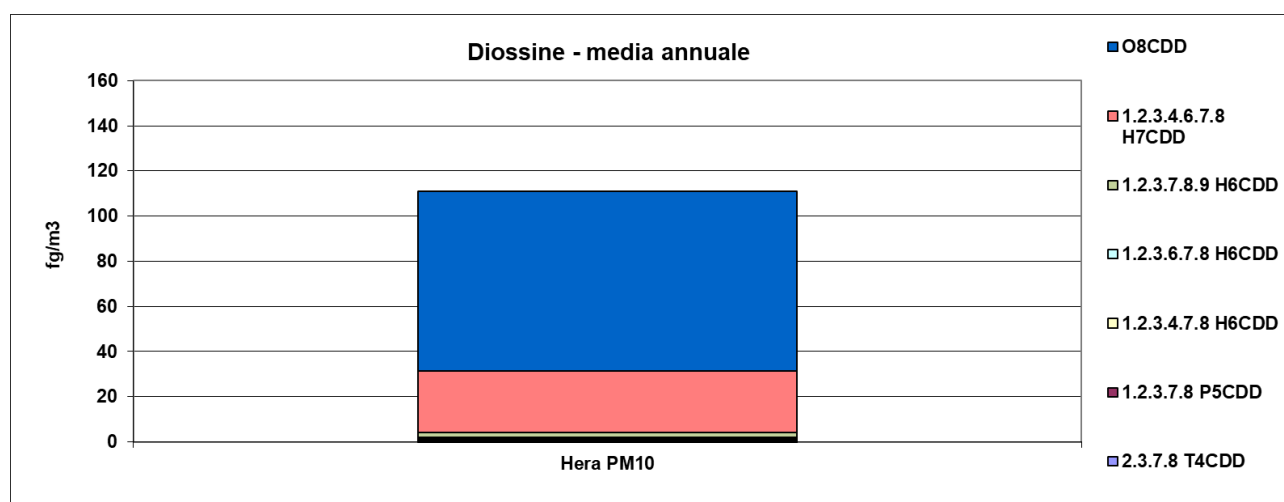


Figura 4.31 – Concentrazioni medie annuali di diossine nel particolato – Anno 2024 – stazione Hera

In generale, i congeneri che concorrono maggiormente sono O8CDD e 1,2,3,4,6,7,8 H7CDD, congeneri caratterizzati da un TEF (fattore di tossicità equivalente) pari, rispettivamente, a 0,001 e 0,010.

Alla luce di quanto esposto relativamente alla diversa tossicità dei composti analizzati, è utile considerare le concentrazioni medie annuali di diossine e furani adsorbite sul particolato, tenendo conto del rispettivo fattore di tossicità equivalente (I-TEF) (Figura 4.32).

In questo modo le concentrazioni totali I-TEQ raggiungono valori da 10 a 100 volte più bassi rispetto alle concentrazioni tal quali.

In generale, i congeneri che danno il contributo più significativo alla concentrazione totale I-TEQ sono:

- per le PCDD → la 2,3,7,8 T4CDD, la 1,2,3,7,8 P5CDD e la 1,2,3,4,6,7,8 H7CDD;
- per i PCDF → il 2,3,4,7,8 P5CDF e il 2,3,4,6,7,8 H6CDF;

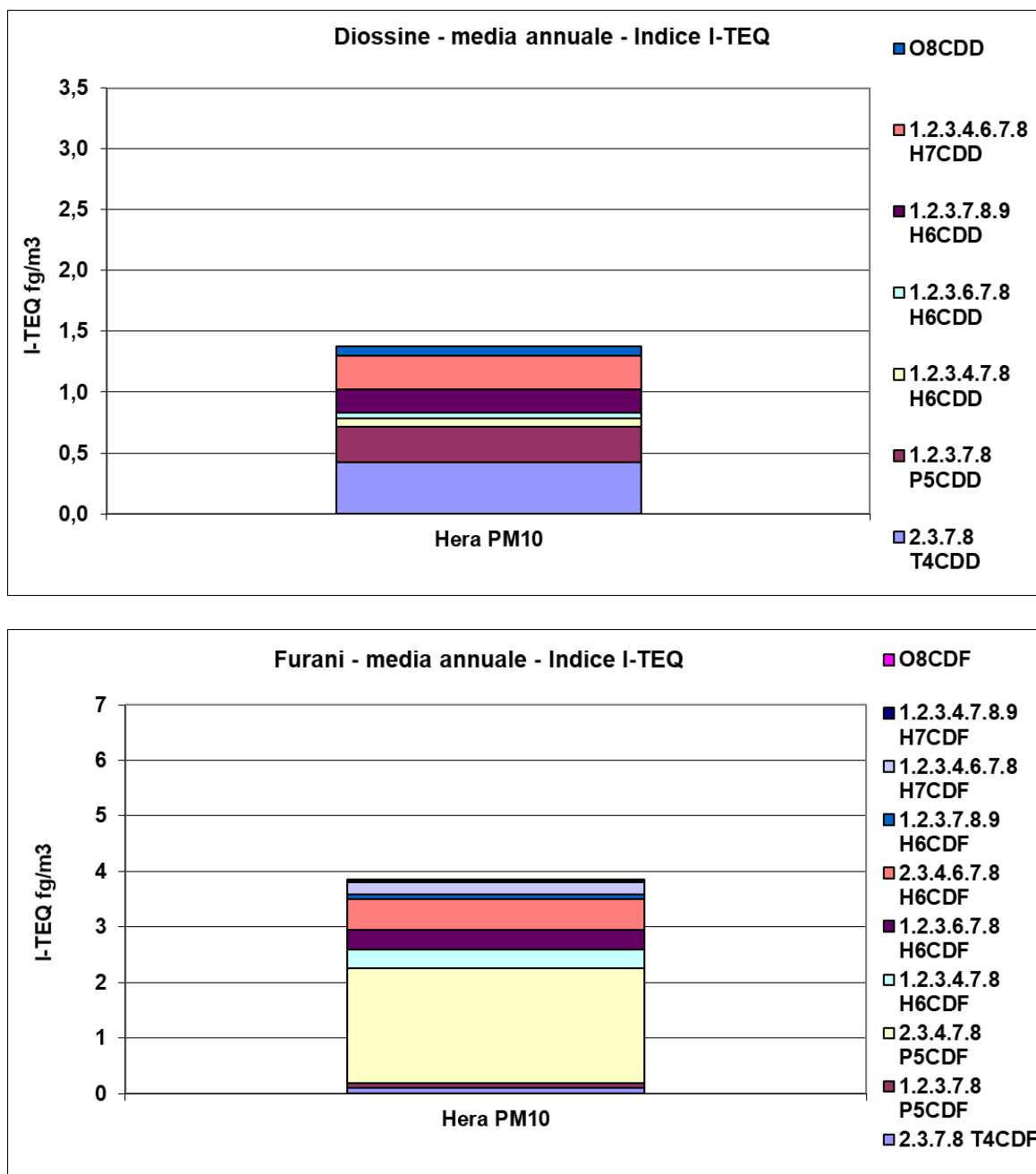


Figura 4.32 – PCDD e PCDF medie annuali 2024 considerando gli I – TEF dei congeneri ricercati – Anno 2024 – stazione Hera

In Figura 4.33a e 4.33b sono riportate le concentrazioni medie di campagna di PCDD e PCDF dal 2020 al 2024, espresse in termini di tossicità equivalente I-TEQ.

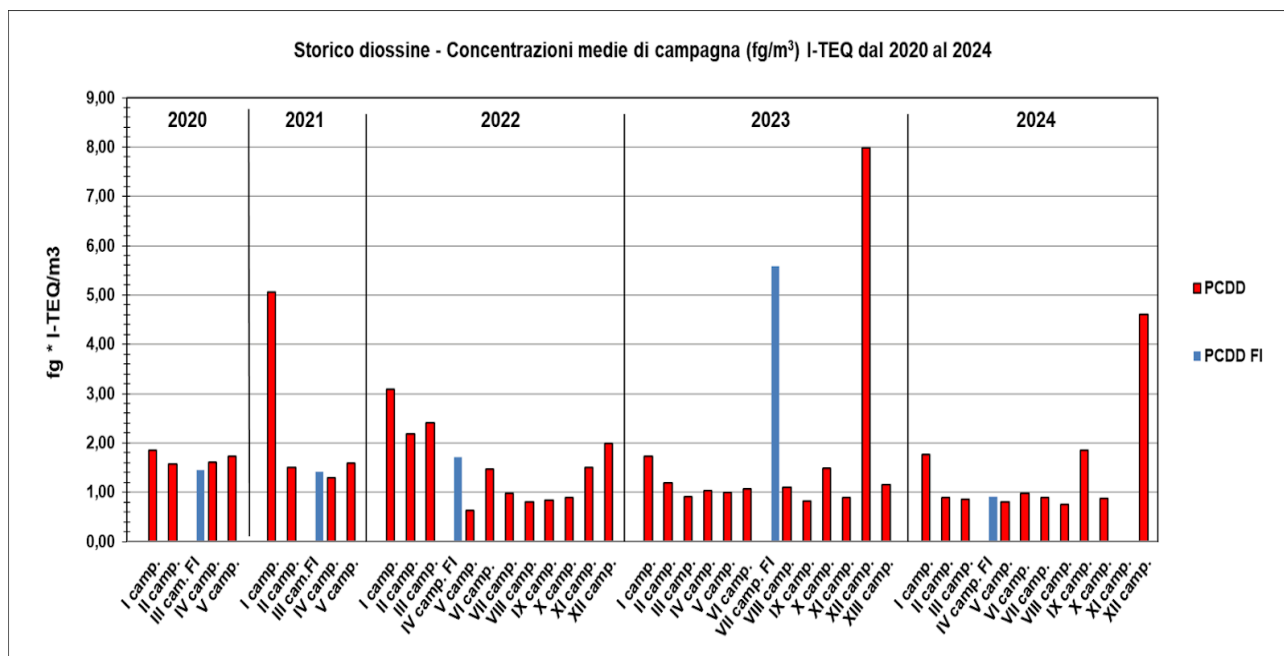


Figura 4.33a – Trend medie annuali per PCDD – stazione Hera

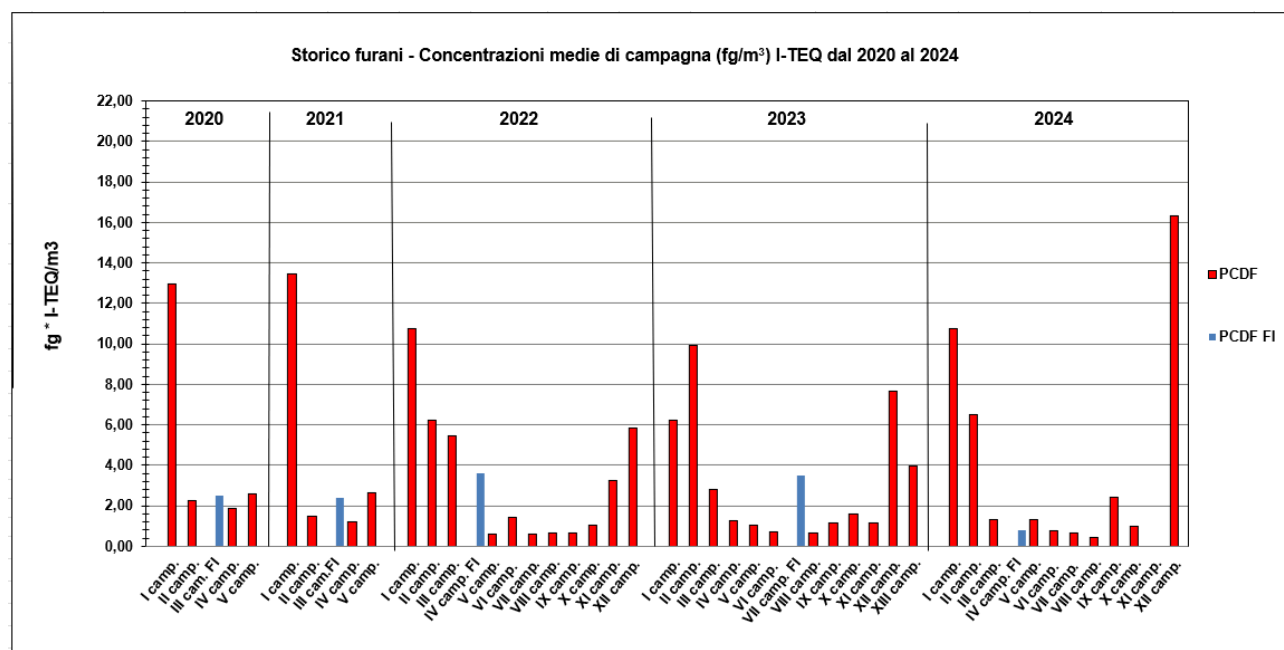


Figura 4.33b - Trend medie annuali per PCDF – stazione Hera

4.6.3.3 Policlorobifenili (PCB)

Nel particolato PM10 sono stati ricercati anche i Policlorobifenili che, in termini di concentrazioni espresse in pg/m^3 , sono riportati in Tabella 4.22; in blu sono indicati i congeneri di tipo coplanare. Per questi ultimi PCB, definiti anche PCB-Dioxin Like (PCB-DL) perché hanno caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche paragonabili alle Diossine ed ai Furani, sono disponibili i fattori di tossicità equivalente proposti dal WHO (WHO-TEF), riportati in seconda colonna nella tabella.

Tabella 4.22 – PCB e PCB Dioxin Like – Concentrazioni medie di periodo e medie anno 2024 (ultima colonna)

PCB e PCB Dioxin Like	WHO-TEF	I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	MEDIA 2024
		pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³	pg/m ³
#81	0,0003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#77	0,0001	0,09	0,07	<0,02	<0,02	0,05	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,30	0,04
#123	0,00003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,45	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,20	0,03
#118	0,00003	<0,02	<0,02	<0,02	0,53	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	9,98	0,89
#114	0,00005	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,22	0,03
#105	0,00003	0,61	0,52	0,46	0,42	0,42	0,67	0,09	<0,02	0,06	0,05	0,50	8,81	0,88
#126	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,01
#167 + #128	0,00003	0,89	0,82	0,68	0,11	0,66	0,57	0,18	0,15	<0,02	0,03	0,02	0,74	0,12
#156	0,00003	0,17	0,13	0,13	0,19	0,12	0,20	0,04	0,02	<0,02	<0,02	0,06	2,35	0,33
#157	0,00003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,18	0,32	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,60	0,06
#169	0,03	0,25	1,23	1,14	1,03	1,12	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
#189	0,00003	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,39	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,15	0,03
#31 + #28	/	0,18	0,15	0,14	0,12	0,14	0,26	0,09	0,03	<0,02	0,19	0,03	0,04	0,10
#52	/	0,17	0,18	0,14	0,13	0,15	0,23	0,09	0,04	<0,02	0,05	0,04	0,09	0,05
#95	/	0,78	0,75	0,61	0,54	0,86	0,98	0,69	0,19	<0,02	<0,02	0,06	0,45	0,23
#101	/	0,12	0,10	0,07	0,10	0,12	0,60	0,35	0,12	0,12	0,18	0,12	1,87	0,52
#99	/	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,05	0,82	0,13
#110	/	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,18	0,18	3,23	0,58
#151	/	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	<0,02	0,02	0,02	0,04	0,13
#149	/	0,01	0,01	0,01	0,54	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,02	0,16	3,45	0,64
#146	/	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,02	0,04	0,02	0,75	0,15
#153 + #168	/	0,27	0,22	0,17	0,13	0,20	0,12	0,02	0,01	0,03	0,31	0,22	5,06	1,04
#138	/	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,36	0,30	8,93	1,45
#187	/	0,10	0,08	0,07	0,06	0,12	0,15	0,04	0,03	0,01	0,21	0,06	1,27	0,25
#183	/	0,25	0,26	0,22	0,20	0,27	0,19	0,05	0,04	0,01	0,10	0,04	0,55	0,15
#177	/	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	<0,02	0,04	1,18	0,20
#180 + #193	/	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,90	0,22	4,25	0,91
#170	/	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,53	0,08	2,29	0,38

Nella Tabella 4.23 si riportano, per i PCB Dioxin Like, le concentrazioni espresse in WHO-TEQ fg/m³ relative alle singole campagne, alle medie del 2024 e alla somma (ultima riga).

In azzurro è indicata la concentrazione del composto presente a livello inferiore al limite di quantificazione (LQ), considerato presente per un valore pari alla metà del LQ.

Tabella 4.23 – PCB Dioxin Like – Concentrazioni medie di campagna per congenere e come somma (ultima riga), medie anno 2024 (ultima colonna) espresse in WHO-TEQ fg/m³

PCB Dioxin Like	WHO-TEF	I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	MEDIA 2024
		<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>	<i>WHO-TEQ fg/m³</i>
#81	0,0003	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030
#77	0,0001	0,0030	0,0020	0,0010	0,0010	0,0020	0,0040	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0040
#123	0,00003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0018	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009
#118	0,00003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0162	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0266
#114	0,00005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0014
#105	0,00003	0,0081	0,0066	0,0051	0,0039	0,0060	0,0036	0,0006	0,0003	0,0009	0,0015	0,0150	0,2643	0,0263
#126	0,1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0833
#167 + #128	0,00003	0,0030	0,0024	0,0021	0,0018	0,0036	0,0045	0,0012	0,0009	0,0003	0,0009	0,0006	0,0222	0,0036
#156	0,00003	0,0075	0,0078	0,0066	0,0060	0,0081	0,0057	0,0015	0,0012	0,0003	0,0003	0,0018	0,0705	0,0098
#157	0,00003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006	0,0180	0,0019
#169	0,03	1,2000	1,2000	0,6000	0,6000	1,5000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,6000
#189	0,00003	0,0012	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0045	0,0008
SOMMA		2,2272	2,2235	1,6195	1,6333	2,5250	1,3252	1,3090	1,3081	1,3072	1,3084	1,3234	3,0289	1,7616

Alla luce di quanto esposto relativamente alla diversa tossicità dei composti analizzati, è utile considerare anche le concentrazioni medie annuali di policlorobifenili adsorbite sul particolato, tenendo conto del rispettivo fattore di tossicità equivalente (WHO-TEF) (Figura 4.34).

In questo modo le concentrazioni totali WHO-TEQ raggiungono valori da 10 a 100 volte più bassi rispetto alle concentrazioni tal quali.

In generale, i congeneri che danno il contributo più significativo alla concentrazione totale WHO-TEQ sono il PCB 126 in misura maggiore e il PCB 169.

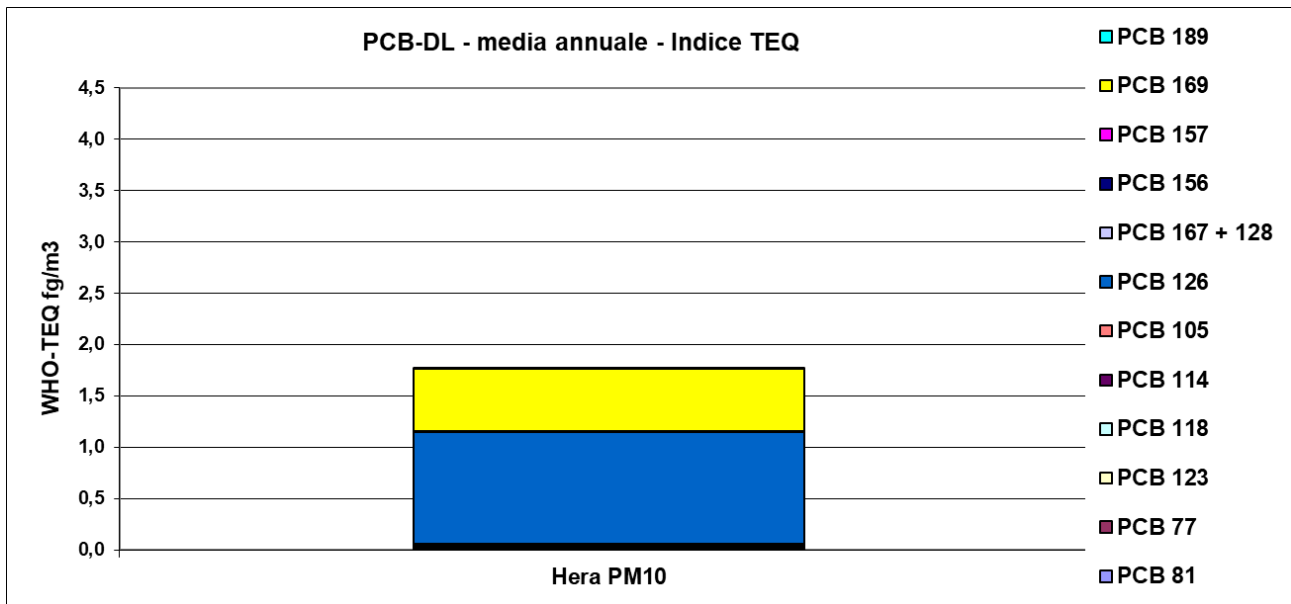


Figura 4.34 – PCB-DL medie annuali 2024 considerando i WHO-TEF dei congeneri ricercati – stazione Hera

In Figura 4.35 sono riportate le concentrazioni medie di campagna di PCB-DL dal 2020 al 2024, espresse in termini di tossicità equivalente WHO-TEQ.

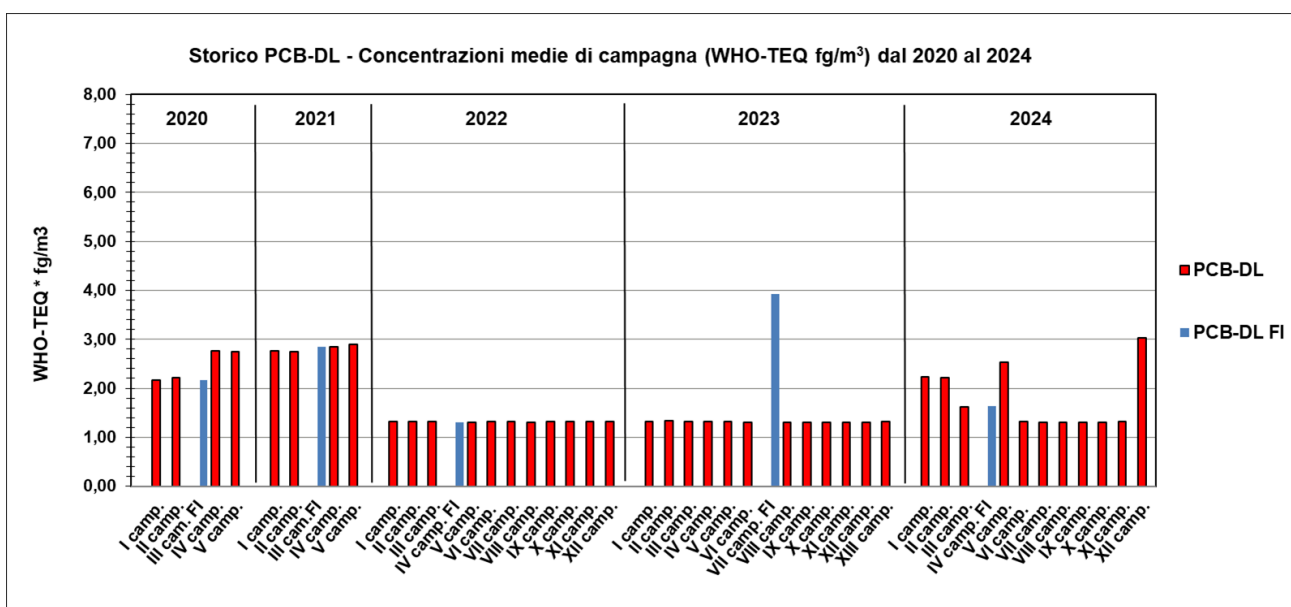


Figura 4.35 – Trend medie annuali per PCB-DL – stazione Hera

4.7 - Deposizione atmosferica

Gli inquinanti emessi in atmosfera durante la loro dispersione in aria subiscono trasformazioni chimiche ad opera di vari agenti sia chimici che fisici che perdurano fino alla loro rimozione dall'atmosfera ad opera di processi di deposizione che si distinguono in:

- Deposizione Secca → Meccanismo, sempre presente, che elimina una parte dell'inquinante presente in aria e lo trasferisce al suolo senza intervento dell'acqua presente in atmosfera;
- Deposizione Umida → Meccanismo di eliminazione causato dall'azione delle acque meteoriche che catturano le particelle nei pressi del suolo.

L'entità della deposizione dipende, fra l'altro, dal livello di turbolenza atmosferica (maggiore è il livello di turbolenza, maggiore è la quantità di inquinante portato al suolo e maggiore è la probabilità che venga trasferito al suolo stesso) e dalle proprietà fisico-chimiche dell'inquinante (la reattività chimica e la solubilità degli inquinanti gassosi, oppure la densità e le dimensioni del particolato atmosferico).

Sia per i gas sia per la deposizione di particolato vale la legge secondo cui il Flusso (F) di particolato al suolo è proporzionale alla sua concentrazione in aria:

$$F = V_d \cdot C(z) \quad \text{dove } V_d \text{ è la velocità di deposizione}$$

Nello studio dei fenomeni di deposizione, si assume che il particolato abbia una velocità di sedimentazione gravitazionale propria (proporzionale alla propria densità e alle sue dimensioni), non interagisca con la vegetazione ed abbia la medesima resistenza aerodinamica dei gas. Si può avere una stima delle sostanze che si depositano al suolo analizzando campioni raccolti mediante un deposimetro tipo bulk (così come previsto dal D.Lgs. 152/07 e dalla norma UNI EN 15841:2010).

La determinazione dei flussi di deposizione per alcuni inquinanti atmosferici mediante deposimetri costituisce – come si diceva - un buon sistema di sorveglianza ambientale. Pur considerando le possibili interferenze che sistemi di questo tipo possono avere (es. insetti, fogliame, ecc.), si sono dimostrati negli anni strumenti estremamente utili, in particolare per quegli inquinanti che possono accumularsi nell'ambiente (es. attraverso la catena alimentare) quali, appunto, i POPs, in particolare le diossine, i furani e i PCB³.

I risultati sono espressi in "flusso di deposizione", cioè come rapporto fra la massa di inquinante raccolta dal deposimetro in un giorno e la superficie di campionamento.

La modifica al piano di monitoraggio previsto dall'Autorizzazione Integrata Ambientale per l'esercizio dell'impianto (rilasciata con Delibera di G.P. n° 154/68306 del 16/04/2013), introdotta dalla Determina Arpae n. DET-AMB-2022-1106 del 7/3/2022, prevede il monitoraggio delle deposizioni totali in corrispondenza di due postazioni e cioè in corrispondenza della massima ricaduta dell'impianto e in una posizione limitrofa ma non interessata dalle ricadute dell'impianto (fondo locale).

³ Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo e al Comitato Economico e Sociale Europeo relativa all'attuazione della strategia comunitaria sulle diossine, i furani e i bifenili policlorurati (COM(2001)593).

Col supporto di modelli previsionali delle ricadute, ma anche tenendo conto del fatto che la strumentazione debba essere posta in aree recintate o sorvegliate, sono state identificate rispettivamente la "postazione Cabina", dove si ritiene massimo il contributo dell'inceneritore, e la "postazione Depuratore", dove lo stesso contributo si ritiene ininfluenza.

Le due postazioni sono situate in corrispondenza della cabina di monitoraggio della qualità dell'aria di via Barsanti e del depuratore di Hera (Figura 4.36).

Il monitoraggio prevede la raccolta delle deposizioni con cadenza mensile mentre per l'analisi delle stesse è previsto l'accorpamento trimestrale dei campioni.



Figura 4.36 – Collocazione delle postazioni "Depuratore" e "Cabina"

4.7.1 Metalli

Le deposizioni totali (in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$) minime e massime di metalli rilevate nelle due postazioni e le medie del periodo di monitoraggio sono riportate in Tabella 4.24.

I valori analitici risultati inferiori al limite di quantificazione ($<\text{LQ}$) sono stati considerati pari alla metà del valore di LQ.

Tabella 4.24 – Deposizioni totali di metalli – Flussi minimi, massimi e medi annuali rilevati nel 2024

Deposizioni totali	Range di variabilità (min – max) ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$)		Media del periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$)	
	Depuratore	Cabina	Depuratore	Cabina
Pb	1,0 - 3,4	1,4 - 3,2	2,4	2,1
Cd	0,03 - 0,2	0,04 - 0,1	0,1	0,1
Ni	2,0 - 7,3	3,1 - 6,0	5,3	4,3
As	0,1 - 0,4	0,1 - 0,3	0,2	0,2
V	0,6 - 1,7	0,9 - 1,2	1,0	1,1

In assenza di una normativa nazionale ed europea specifica che fissi limiti sulle deposizioni atmosferiche questi valori possono essere confrontati con:

- i limiti della normativa tedesca (TA LUFT 24/07/02) per le deposizioni totali di Pb, Cd, Ni e As, espressi come flussi giornalieri mediati durante l'anno;
- con i valori descritti in bibliografia espressi come range di variabilità in diversi contesti territoriali (aree rurali, aree urbane, aree industriali) (Tabella 4.25).

Tabella 4.25 – Deposizioni totali di metalli – limiti della normativa tedesca e dati bibliografici di riferimento

Deposizioni totali	Limiti Germania ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$)	Aree rurali ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$)	Aree urbane ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$)	Aree industriali ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$)
Pb	100	3.3 – 10.3 ⁽²⁾	0.4 – 106 ⁽²⁾	--
Cd	2	0.011 – 0.14 ⁽¹⁾	0.16 – 0.9 ⁽¹⁾	0.12 – 4.6 ⁽¹⁾
Ni	15	0.03 – 4.3 ⁽¹⁾	5 – 11 ⁽¹⁾	2.3 – 22 ⁽¹⁾
As	4	0.082 – 0.43 ⁽¹⁾	0.22 – 3.4 ⁽¹⁾	2.0 – 4.3 ⁽¹⁾
V	--	--	2.8 - 4.5 ⁽³⁾	7.9 - 9.6 ⁽³⁾

(1) Position paper UE "Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds"

(2) Francia "Air Pays de la Loire - 2009"

(3) ARPAL "Report monitoraggio prescrizione 29 (ex 14) - anno 2022"

Per tutti i metalli considerati, i dati delle due postazioni risultano abbastanza simili.

Per Pb, Cd, Ni e As i flussi sono ampiamente inferiori ai limiti previsti dalla normativa tedesca.

In generale, per tutti i metalli, i flussi risultano confrontabili con i range reperibili in bibliografia.

4.7.2 IPA, Policlorobifenili (PCB), Diossine (PCDD) e Furani (PCDF)

Nelle tabelle seguenti (Tabella 4.26 ÷ 4.33) sono riportati i flussi di deposizione dei diversi microinquinanti (minimi e massimi) misurati nelle postazioni, oltre al flusso massimo annuale calcolato a partire dal flusso massimo giornaliero misurato nel 2024.

I valori analitici risultati inferiori al limite di quantificazione (<LQ) sono stati considerati pari alla metà del valore di LQ.

Tabella 4.26 - Flussi minimi e massimi giornalieri di IPA e flusso massimo annuale stimato – anno 2024.

IPA	Post. Depuratore (ng/m ² day)	Post. Cabina (ng/m ² day)	Stima Flusso max/anno Depuratore (µg/m ² anno)	Stima Flusso max/anno Cabina (µg/m ² anno)
Benzo(a)pirene	2,68 – 12,72	2,69 – 6,68	4,64	2,44
Benzo(a)antracene	1,42 – 8,17	2,41 – 5,60	2,98	2,05
Benzo (b)+(j)fluorantene	4,82 – 38,55	7,48 – 23,47	14,7	8,57
Benzo(k)fluorantene	1,07 – 8,71	1,40 – 5,94	3,18	2,17
Indeno(1,2,3,cd)pirene	4,03 – 21,13	4,35 – 11,67	7,71	4,26
Dibenzo(ac+ah)antracene	<0,03 – 2,85	<0,03 – 1,83	1,04	0,67
IPA tot	102,47 – 427,00	107,44 – 268,08	155,86	97,85

Tabella 4.27 – Flussi giornalieri di IPA nelle due postazioni – anno 2024

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	Post. Depuratore (ng/m ² day)				Post. Cabina (ng/m ² day)			
	GEN- MAR	APR- GIU	LUG- SET	OTT- DIC	GEN- MAR	APR- GIU	LUG- SET	OTT- DIC
Naftalene	0,05	0,33	0,11	0,15	0,05	0,33	0,75	0,15
Acenaftilene	0,19	0,71	0,28	0,18	0,16	0,68	0,55	0,31
Acenaftene	0,37	1,78	0,53	<0,03	0,50	2,08	1,44	<0,03
Fluorene	0,45	3,59	5,29	4,83	0,50	3,56	8,55	5,86
Fenantrene	11,14	28,75	27,68	71,20	14,66	24,26	30,72	66,57
Antracene	0,42	<0,03	0,80	73,25	0,66	<0,03	<0,03	1,62
Fluorantene	33,67	11,55	15,53	53,46	34,47	10,35	12,23	43,70
Pirene	29,70	17,33	21,92	49,86	28,11	13,28	19,76	41,90
Benzo(a)antracene	7,56	1,42	3,52	8,17	4,91	2,41	2,60	5,60
Ciclopenta(c,d)pirene	<0,03	<0,03	3,40	12,13	<0,03	<0,03	2,77	7,40
Crisene	13,12	4,60	5,84	19,66	13,52	6,16	5,12	14,80
Benzo (b)+(j)fluorantene	14,32	4,82	9,13	38,55	13,89	7,47	8,77	23,47
Benzo(k)fluorantene	3,45	1,07	2,88	8,71	3,18	1,40	2,57	5,94
Benzo(e)pirene	8,72	7,17	6,92	22,31	10,29	13,42	7,34	15,16
Benzo(a)pirene	4,69	2,68	5,90	12,72	3,79	3,07	2,68	6,68
Indeno(1,2,3,cd)pirene	9,76	4,02	5,67	21,13	8,33	4,35	5,34	11,67
Dibenzo(ac+ah)antracene	1,01	<0,03	1,77	2,85	1,25	<0,03	1,80	1,82
Benzo(g,h,i)perilene	13,89	11,66	12,04	24,52	11,32	13,47	8,89	13,67
Dibenzo(a,l)pirene	2,12	<0,03	1,22	<0,03	2,15	<0,03	1,19	<0,03
Dibenzo(a,e)fluorantene	<0,03	<0,03	0,72	1,72	<0,03	<0,03	0,69	0,93
Dibenzo(a,e)pirene	1,14	0,88	<0,03	1,34	1,22	1,07	1,13	0,69
Dibenzo(a,i)pirene	0,16	<0,03	<0,03	0,15	0,16	<0,03	<0,03	0,08
Dibenzo(a,h)pirene	0,19	<0,03	<0,03	0,05	0,34	<0,03	<0,03	0,03
IPA totali	156,14	102,47	131,19	427	153,49	107,45	124,96	268,08

Tabella 4.28 – Flussi minimi e massimi giornalieri di PCB 16 congeneri e PCB Dioxin-Like (PCB - DL) e flusso massimo annuale stimato – anno 2024.

PCB	Post. Depuratore (ng/m ² day)	Post. Cabina (ng/m ² day)	Stima Flusso max/anno Depuratore (µg/m ² anno)	Stima Flusso max/anno Cabina (µg/m ² anno)
PCB 16 congeneri	1,94 - 5,90	2,36 - 18,62	2,15	6,80
PCB - DL	0,49 - 0,73	0,65 - 2,13	0,26	0,78

Tabella 4.29 – Flussi giornalieri di PCB 16 congeneri e PCB Dioxin-Like (PCB - DL) nelle due postazioni – anno 2024

PCB	Post. Depuratore (ng/m ² day)				Post. Cabina (ng/m ² day)			
	GEN-MAR	APR-GIU	LUG-SET	OTT-DIC	GEN-MAR	APR-GIU	LUG-SET	OTT-DIC
#31 + #28	0,23	0,24	0,35	0,12	0,33	0,20	0,86	0,13
#52	0,17	0,14	0,19	0,13	0,22	0,14	0,71	0,14
#95	0,31	0,26	0,38	0,12	0,38	0,28	1,11	0,15
#101	0,40	0,32	0,63	0,18	0,48	0,45	1,80	0,26
#99	0,10	0,09	0,11	0,07	0,12	0,16	0,66	0,10
#110	0,34	0,32	0,51	0,19	0,40	0,51	1,58	0,24
#151	0,16	0,11	0,16	0,03	0,17	0,16	0,43	0,03
#149	0,46	0,36	0,58	0,18	0,49	0,50	2,11	0,21
#146	0,08	0,07	0,11	0,04	0,08	0,08	0,36	0,04
#153 + #168	0,71	0,56	0,83	0,24	0,69	0,73	2,63	0,27
#138	0,67	0,57	0,80	0,25	0,63	0,73	2,80	0,28
#187	0,14	0,09	0,22	0,07	0,12	0,18	0,78	0,08
#183	0,10	0,07	0,13	0,04	0,08	0,10	0,33	0,04
#177	0,10	0,08	0,12	0,04	0,08	0,10	0,30	0,05
#180 + #193	0,45	0,31	0,49	0,20	0,37	0,45	1,51	0,26
#170	0,04	0,04	0,27	0,05	0,04	0,06	0,67	0,07
PCB 16 cong totali	4,45	3,63	5,90	1,94	4,71	4,82	18,62	2,36
#81	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01
#77	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02
#123	<0,01	<0,01	0,02	0,03	0,01	<0,01	0,03	0,03
#118	0,30	0,37	0,29	0,21	0,37	0,52	1,08	0,27
#114	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,05	0,01
#105	0,10	0,13	0,13	0,18	0,13	0,22	0,44	0,24
#126	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
#167 + #128	0,03	0,03	0,11	0,01	0,03	0,05	0,17	0,01
#156	0,08	0,10	0,08	0,02	0,07	0,10	0,19	0,04
#157	0,01	0,02	0,02	<0,01	0,01	0,02	0,04	0,01
#169	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
#189	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
PCB DL totali	0,57	0,71	0,73	0,49	0,67	0,98	2,13	0,65

Tabella 4.30 – Flussi minimi e massimi giornalieri di PCB Dioxin-Like (PCB - DL) – anno 2024.

PCB DL	Post. Depuratore (pg WHO-TEQ/m ² day)	Post. Cabina (pg WHO-TEQ/m ² day)
PCB - DL	0,53 - 0,74	0,54 - 1,53

Tabella 4.31 – Flussi giornalieri di PCB Dioxin-Like (PCB - DL) nelle due postazioni– anno 2024

PCB DL	Post. Depuratore (pg WHO-TEQ/m ² day)				Post. Cabina (pg WHO-TEQ/m ² day)			
	GEN- MAR	APR- GIU	LUG- SET	OTT- DIC	GEN- MAR	APR- GIU	LUG- SET	OTT- DIC
#81	<0,0024	<0,0025	0,0080	<0,0023	<0,0024	<0,0025	0,0199	<0,0023
#77	0,0021	0,0021	0,0019	0,0016	0,0024	0,0042	0,0029	0,0019
#123	<0,0002	<0,0002	0,0006	0,0008	0,0002	<0,0002	0,0010	0,0010
#118	0,0091	0,0108	0,0083	0,0066	0,0112	0,0152	0,0311	0,0084
#114	<0,0004	<0,0004	0,0008	<0,0004	0,0004	<0,0004	0,0023	0,0005
#105	0,0029	0,0039	0,0037	0,0056	0,0039	0,0064	0,0126	0,0075
#126	<0,7954	<0,8214	<0,8304	<0,7711	<0,7954	<0,8214	1,3257	<0,7711
#167 + #128	0,0010	0,0009	0,0031	0,0004	0,0009	0,0014	0,0049	0,0004
#156	0,0023	0,0028	0,0024	0,0007	0,0022	0,0029	0,0056	0,0011
#157	0,0002	0,0005	0,0005	<0,0002	0,0003	0,0006	0,0012	0,0002
#169	0,3182	0,3182	<0,2491	<0,2313	<0,2386	<0,2464	<0,2491	<0,2313
#189	0,0002	0,0002	0,0003	<0,0002	<0,0002	0,0004	<0,0002	<0,0002
PCB DL totali	0,7353	0,7386	0,5464	0,5343	0,5399	0,5495	1,5266	0,5393

Tabella 4.32 - Flussi minimi e massimi giornalieri di PCDD/F – anno 2024

PCDD/F	Post. Depuratore (pg I-TEQ/m ² day)	Post. Cabina (pg I-TEQ/m ² day)	Stima Flusso max/anno Depuratore (ng I-TEQ/m ² anno)	Stima Flusso max/anno Cabina (ng I-TEQ/m ² anno)
PCDD/F	0,54 – 1,63	0,71 – 4,58	0,59	1,67

Tabella 4.33 – Flussi giornalieri di PCDD/F nelle due postazioni – anno 2024

DIOSSINE E FURANI	Post. Depuratore (pg I-TEQ/m ² day)				Post. Cabina (pg I-TEQ/m ² day)			
	GEN- MAR	APR- GIU	LUG- SET	OTT- DIC	GEN- MAR	APR- GIU	LUG- SET	OTT- DIC
2.3.7.8 T4CDD	<0,345	<0,356	<0,360	<0,334	<0,345	<0,356	<0,360	<0,334
1.2.3.7.8 P5CDD	<0,172	<0,178	<0,180	<0,167	<0,172	3,860	<0,180	<0,167
1.2.3.4.7.8 H6CDD	<0,034	<0,036	<0,036	0,126	<0,034	0,096	<0,036	<0,033
1.2.3.6.7.8 H6CDD	<0,034	<0,036	0,091	<0,033	<0,034	<0,036	0,119	0,129
1.2.3.7.8.9 H6CDD	<0,034	<0,036	<0,036	0,103	<0,034	<0,036	0,105	<0,033
1.2.3.4.6.7.8 H7CDD	0,024	<0,004	0,008	<0,003	0,026	0,056	0,019	0,065
OCDD	0,013	0,017	0,004	0,010	0,014	0,022	0,163	0,006
2.3.7.8 T4CDF	<0,034	<0,036	0,166	0,041	<0,034	<0,036	<0,036	<0,033
1.2.3.7.8 P5CDF	<0,017	<0,018	<0,018	<0,017	0,019	<0,018	<0,018	<0,017
2.3.4.7.8 P5CDF	<0,172	0,178	0,554	<0,167	0,305	<0,178	0,221	<0,167
1.2.3.4.7.8 H6CDF	<0,034	0,118	<0,036	<0,033	<0,034	<0,036	0,180	<0,033
1.2.3.6.7.8 H6CDF	<0,034	0,088	0,094	0,108	<0,034	<0,036	0,044	0,067
2.3.4.6.7.8 H6CDF	<0,034	<0,036	0,343	<0,033	0,072	0,118	0,058	<0,033
1.2.3.7.8.9 H6CDF	<0,034	<0,036	<0,036	0,103	<0,034	<0,036	0,094	<0,033
1.2.3.4.6.7.8 H7CDF	<0,003	0,020	0,013	<0,003	0,029	0,032	0,011	<0,003
1.2.3.4.7.8.9 H7CDF	<0,003	<0,004	<0,004	<0,003	<0,003	<0,004	<0,004	<0,003
OCDF	0,002	0,003	0,002	<0,0003	0,009	0,004	0,004	<0,0003
PCDD/F tot	0,535	0,809	1,628	0,889	0,853	4,572	1,336	0,712

Il calcolo dei flussi di deposizione consente, in mancanza di una normativa specifica, il confronto con i dati di bibliografia (Tabelle 4.34 ÷ 4.37).

In particolare:

- per gli IPA sono stati confrontati i valori minimi e massimi di flusso di deposizione di BaP in $\text{ng/m}^2 \text{ day}$ con i valori reperiti in letteratura (Tabella 4.34) riassunti nella relazione tecnica di Arpa Veneto 2021⁴.

Tabella 4.34 – Dati di letteratura su deposizioni di Benzo(a)pirene

Dati di letteratura del B(a)P in ($\text{ng/m}^2 \text{ die}$)		
Aree rurali	Min-max	Riferimento bibliografico
Melfi (Italia)	1,9 – 6,9	Menichini e alt. (2006)
Laguna di Venezia	6 – 9	Rossini e al. (2001), magistrato acque (2000)
Pallas (Finlandia)	2 - 10	EMEP 2005
Rorvik (Svezia)	5 - 17	EMEP 2005
Aree urbane	Media annuale	
Venezia (Italia)	30	Rossini e al. (2001), magistrato acque (2000)
Parigi (Francia)	25	Motelay- Massei e alt – (2003)
Cardiff (Inghilterra)	219	Halsall e al. (1997)
Manchester (Inghilterra)	300	Halsall e al. (1997)

I valori massimi misurati per il flusso di deposizione del BaP di 13 e 7 $\text{ng/m}^2 \text{ day}$, rispettivamente per la postazione depuratore e la postazione cabina (cfr. Tabella 4.26), sono inferiori ai valori riportati per l'area urbana di Venezia (30 $\text{ng/m}^2 \text{ day}$).

- per i PCB-DL i flussi di deposizione in $\text{pg WHO-TEQ/m}^2 \text{ day}$ sono stati confrontati con i valori reperiti in letteratura (Tabelle 4.35 e 4.36) riassunti nella relazione tecnica di Appa Trentino 2025⁵.

Per le deposizioni di PCB DL e PCDD/F, infatti, attualmente non sono stati fissati livelli normativi nazionali o europei, pertanto le valutazioni vengono effettuate confrontando i dati raccolti con dati di letteratura e con valori guida proposti da alcuni Stati, a partire dai valori di "Dose giornaliera tollerabile per l'organismo umano" (*TDI – Tolerable Daily Intake*) stabiliti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e dall'Unione Europea (Tabella 4.35).

Il comitato scientifico dell'alimentazione umana (*SCF - Scientific Committee on Food*) dell'Unione Europea ha adottato nel 2001 un parere sulla valutazione dei rischi delle PCDD/F e dei PCB DL nei prodotti alimentari. Il comitato ha stabilito un valore cumulativo per la dose tollerabile settimanale (*TWI – Tolerable Weekly Intake*) di PCB DL e PCDD/F pari a 14 picogrammi di equivalente tossico (WHO-TEQ 1998) per chilogrammo di peso corporeo.

⁴ Monitoraggio delle ricadute di microinquinanti organici e metalli in comune di Trebaseleghe – Anno 2020. Relazione tecnica.

⁵ Deposizioni atmosferiche di Borgo Valsugana - Monitoraggio dei flussi di deposizione degli inquinanti atmosferici - 2015/2024 presso Borgo Valsugana - (aggiornamento al 9° report intermedio).

Questo valore corrisponde alla dose tollerabile mensile di 70 pg/(kg_{peso corporeo} mese) stabilita in via provvisoria dal comitato congiunto di esperti FAO/OMS sugli additivi alimentari (JECFA) nel 2001. Tale valore coincide con il valore minimo della gamma di TDI (*Tolerable Daily Intake*) pari a 1-4 pg_{WHO 1998-TEQ}/kg_{peso corporeo} definito dall'Organizzazione mondiale della sanità nel 1998 (European Commission, 2001b).

La regione delle Fiandre (Belgio) ha adottato un TDI pari a 3 pg_{WHO 1998-TEQ}/kg_{peso corporeo}. Attraverso l'uso di modelli specifici, sono state ricavate le deposizioni medie annue associabili ai valori di TDI indicati, fissando altresì i valori guida per le medie mensili pari al doppio dei valori indicati per le medie annuali (Van Lieshout et al., 2001)⁶.

Successivamente, è stata stimata la deposizione media annua di PCB DL e PCDD/F associabile al valore TWI indicato dall'Unione Europea, individuando il rispettivo valore guida per la media mensile in 2,6 volte il valore indicato per la media annuale (Desmedt et al., 2008)⁷.

Tabella 4.35 - Corrispondenza tra TDI/TWI e deposizione.

	Dose tollerabile [pg WHO 1998-TEQ/kg peso corporeo]		Siti urbani [pg WHO 1998-TEQ/(m ² d)]		Fonte
	TDI	TWI	Media annua	Media mensile	
WHO, 1998	1-4	-	3,4-14	6,8-27	Van Lieshout et al., 2001
Fiandre (Belgio)	3	-	10	20	Van Lieshout et al., 2001
SCF Unione Europea	-	14	8,2	21	Desmedt et al., 2008

In Tabella 4.36 vengono ripresentati i flussi di deposizione in pg WHO-TEQ/m² day per PCB-DL e PCDD/F e la loro sommatoria totale.

Tabella 4.36 – Flussi giornalieri di PCB-DL e PCDD/F (pg WHO-TEQ/m² day) misurati nelle due postazioni – anno 2024

	Post. Depuratore (pg WHO-TEQ/m ² day)				Post. Cabina (pg WHO-TEQ/m ² day)			
	GEN-MAR	APR-GIU	LUG-SET	OTT-DIC	GEN-MAR	APR-GIU	LUG-SET	OTT-DIC
PCB-DL	0,735	0,739	0,546	0,534	0,540	0,550	1,427	0,539
PCDD/F	0,572	0,809	1,489	0,928	0,794	8,375	1,217	0,755
Sommatoria	1,307	1,548	2,035	1,462	1,334	8,925	2,644	1,294

- Per Diossine e Furani i valori minimi e massimi di flusso di deposizione pari a 1,6 e 4,6 pg I-TEQ/m² day (Tabella 4.32) vengono confrontati con i valori delle deposizioni atmosferiche totali riscontrati in alcuni Paesi della UE, relativamente a siti urbani e

⁶ Van Lieshout et al., Deposition of Dioxins in Flanders (Belgium) and a Proposition for Guide Values. Atmospheric Environment, 35, 2001.

⁷ Desmedt et al., Threshold values for atmospheric deposition of dioxins and PCBs. First results of deposition of DL-PCBs in Flanders (Belgium) - Organohalogen Compounds, Volume 70 2008.

rurali (European Commission-ELICC 2002, Danish Dioxin Program 2006, AIRPARIF 2003) come riportati in Tabella 4.37⁵.

Tabella 4.37 – Valori deposizioni di diossine riscontrate in siti urbani e rurali in altre nazioni.

Paese	Deposizione atmosferica totale (pg I-TEQ/(m ² d))	
	siti urbani min-max	siti rurali min-max
Belgio	<1 – 12	<1 – 3,1
Germania	<0,5 - 464	7 – 17
Regno Unito	<1 – 312	0 – 157
Danimarca	300 – 31600	300 – 1700
Francia	100 - 147	20 - 50

La maggior parte dei congeneri di PCDD e PCDF sono risultati inferiori al limite di quantificazione. Tra tutti i congeneri delle PCDD, solo la meno tossica delle diossine, octaclorodibenzo-p-diossina (O8CDD) è risultata sempre rilevabile, mentre tra i congeneri PCDF l'octaclorodibenzofurano (O8CDF) e la 1.2.3.4.6.7.8 H7CDF sono risultati i congeneri più rappresentati. La T4CDD non è mai stata rilevata in alcuna postazione nelle quattro campagne perché inferiore al limite. Complessivamente, le deposizioni medie di PCDD/F e PCB DL del 2024 nelle due postazioni depuratore e cabina a Forlì sono risultate inferiori al valore guida di 4 pg WHO-TEQ/m² day.

5. CONCLUSIONI

Si riporta di seguito una descrizione sintetica dell'andamento dei principali inquinanti per l'anno 2024 in relazione al rispetto o meno dei limiti normativi.

Biossido di Azoto NO₂

Nel 2024 il valore limite orario (200 µg/m³) e il limite della media annuale (40 µg/m³) per il biossido di Azoto sono stati rispettati presso la stazione locale di Hera, come nelle restanti stazioni della RRQA della Provincia di Forlì-Cesena. Dal 2014 si delinea un trend in diminuzione della media annuale che sembra essersi stabilizzato negli ultimi anni. La concentrazione media misurata nel 2024 è pari a quella dell'anno precedente e solo di poco superiore a quella del 2022.

Il valore della media annuale per il 2024 è pari a 16 µg/m³, inferiore alla metà del limite normativo (40 µg/m³), così come il massimo della media oraria che è risultato pari a 76 µg/m³ rispetto al limite normativo di 200 µg/m³.

È importante mantenere alta l'attenzione su questo inquinante, sia perché gli ossidi di azoto sono dei precursori di particolato secondario e di O₃, sia per le criticità ancora riscontrate a livello regionale, in particolar modo nelle concentrazioni medie annuali.

Si deve inoltre considerare che la nuova Direttiva (UE) 2024/2881 della Qualità dell'Aria, entrata in vigore il 10 dicembre 2024 e che dovrà essere recepita dagli stati membri dell'UE entro l'11 dicembre 2026, prevede limiti più stringenti rispetto a quelli attualmente in vigore.

Monossido di Carbonio CO

I valori di monossido di carbonio misurati presso la stazione di Hera mostrano un andamento stabile negli ultimi anni e il valore limite per la protezione della salute umana (media massima giornaliera su otto ore pari a 10 mg/m³) è ampiamente rispettato già da parecchi anni. Tale andamento, ormai consolidato, fa presupporre che anche in futuro questo inquinante non presenti particolari criticità.

Il valore più alto della media oraria è pari a 1,5 mg/m³, inoltre il 54% dei dati disponibili è risultato minore o uguale al limite di quantificazione strumentale (0,4 mg/m³).

Il valore limite come massima media oraria introdotto dalla Direttiva europea del 2024, pari a 4 mg/m³ da non superare per più di 18 ore in un anno, non è mai stato superato.

Mercurio Hg

Il D.Lgs. 155/2010 e s.m.i. non prevede valori limite per le concentrazioni di mercurio in aria ambiente, tuttavia si può dire che il valore medio misurato (2,2 ng/m³) rientri nel range dei valori reperibili in bibliografia per le aree urbane, con un valore massimo della media oraria pari a 8,6 ng/m³. Le medie annuali degli ultimi 5 anni si sono mantenute pressoché costanti.

Particolato PM10

Nel 2024 il limite della media annuale del PM10 (40 µg/m³) è stato rispettato presso la stazione di Hera come in tutte le stazioni della RRQA della Provincia di Forlì-Cesena. Il limite giornaliero

(media giornaliera di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno) è stato rispettato (32 superamenti).

Analizzando il trend storico di questo inquinante possiamo affermare che la media annuale, già da diversi anni, mostra un valore medio attorno a $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi al di sotto del limite di legge ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Il PM10 resta comunque un inquinante critico per il nostro territorio, sia per i diffusi superamenti del limite di breve periodo, sia per gli importanti effetti negativi che, come dimostrato, ha sulla salute umana.

Si deve altresì notare che la nuova Direttiva Europea sulla qualità dell'aria, da recepire entro il 2026, stabilisce valori limite sia di breve che di lungo periodo **ridotti di oltre il 50%** rispetto agli attuali. Nell'anno in esame, la stazione di Hera, così come le altre stazioni di pianura della rete di Forlì-Cesena, non ha dimostrato conformità a tali limiti ridotti.

Particolato PM2.5

Nonostante il PM2.5, data la sua origine prevalentemente secondaria, si misuri in genere nelle stazioni di Fondo Urbano e Sub-Urbano, a Forlì viene misurato anche nella stazione Locale Industriale di Hera.

Nel 2024 si è registrato un valore medio annuale di PM2.5 pari a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pertanto il valore limite della media annuale ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato rispettato, così come il "limite indicativo" ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La stagione più critica per il PM2.5 è sempre quella invernale, da novembre a febbraio le concentrazioni sono risultate maggiori di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mesi durante i quali il contributo di PM2.5 sul PM10 ha raggiunto anche il 65%.

Considerata anche la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS, il PM2.5 resta un inquinante critico per il nostro territorio. Similmente al PM10, bisogna inoltre porre l'attenzione ai nuovi limiti più restrittivi previsti dalla nuova Direttiva che sono stati superati in tutte le stazioni della RRQA di Forlì-Cesena.