

Rapporto sulla qualità dell'aria

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

Anno 2023



Edizione Settembre 2024

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

Gestione monitor e postazioni

Gloria Maresi
Silvia Sandrini
Paolo Vittori

Elaborazione dati

Francesca Liguori
Gloria Maresi
Silvia Sandrini

Redazione relazione

Francesca Liguori
Gloria Maresi
Silvia Sandrini

INDICE

	<i>Pag.</i>
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 Revisione della Direttiva Europea relativa alla qualità dell'aria	6
2 – MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	8
2.1 Introduzione	8
2.2 Informazione e gestione dei dati della stazione locale di monitoraggio	10
3 – INDICATORI METEOROLOGICI PER LO STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL TERRITORIO DI FORLÌ	12
3.1 Indicatori meteorologici a supporto dello studio della qualità dell'aria	12
3.2 Andamento meteorologico del 2023	12
3.2.1 Temperatura	12
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 PM10	31
4.5 Particolato PM2.5	35
4.6 MONITORAGGIO DISCONTINUO: MISURE INDICATIVE DI METALLI PESANTI E MICROINQUINANTI ORGANICI SUL PARTICOLATO ATMOSFERICO	40
4.6.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	41
4.6.2 Metalli	47
4.6.3 Microinquinanti organici: Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB) nel particolato PM10	53

4.6.3.1 Fattore di tossicità equivalente per Policlorodibenzodiossine (PCDD), Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB)	54
4.6.3.2 Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF)	55
4.6.3.3 Policlorobifenili (PCB)	61
4.7 DEPOSIZIONE ATMOSFERICA	65
4.7.1 Metalli	61
4.7.2 IPA, Policlorobifenili (PCB), Diossine (PCDD) e Furani (PCDF)	68
5 - CONCLUSIONI	74

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.

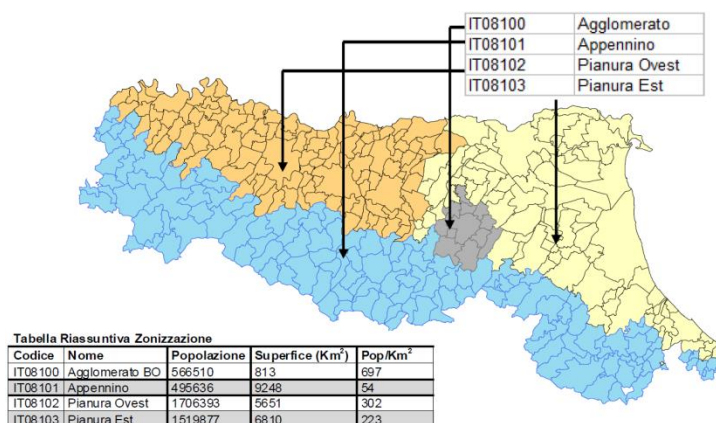


Figura 1.1 – Zonizzazione regionale (D.Lgs. 155/2010 e DGR 2001/2011)

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	/
NO ₂	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.

Inquinante	Parametro	Valori Obiettivo
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
2B: Possibile cancerogeno per l'uomo
2A: Probabile 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

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 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

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) e ha individuato, per sei inquinanti principali (PM_{2,5}, PM₁₀, ozono, biossido di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio), i livelli di qualità dell'aria da raggiungere per proteggere la salute umana. I valori guida, cioè le concentrazioni in aria di inquinanti al di sotto delle quali - secondo le evidenze scientifiche disponibili - non sono attesi effetti avversi per la salute, costituiscono, quindi, uno strumento per valutare l'esposizione della popolazione a livelli di inquinanti potenzialmente dannosi per la salute, oltre a fornire un importante riferimento nel fissare gli standard e gli obiettivi normativi, tra cui 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

Sostanza	Valore guida	Tempo di mediazione
	OMS-AQG ⁽¹⁾ – valori guida 2021	
NO ₂	10 µg/m ³	annuale
	200 µg/m ³	1 ora
SO ₂	40 µg/m ³	24 ore
	500 µg/m ³	10 min
O ₃	100 µg/m ³	8 ore
	60 µg/m ³	picco stagionale*
PM ₁₀	15 µg/m ³	annuale
	45 µg/m ³	24 ore
PM _{2.5}	5 µg/m ³	annuale
	15 µg/m ³	24 ore
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 massima giornaliera 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)

Sostanza	Rischio unitario
	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

1.4 - Revisione della Direttiva Europea 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 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, nel 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 può 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 morbilità, 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 (NH₃) 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 PM_{2,5});
- ❖ l'introduzione di un valore limite giornaliero per il particolato fine (PM_{2,5}) e il biossido di azoto (NO₂) oltre alla revisione dei valori limite annuali (verranno ridotti rispettivamente da 25 µg/m³ a 10 µg/m³ per il PM_{2.5} e da 40 µg/m³ a 20 µg/m³ per l'NO₂) allo scopo di ridurre 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 24 Aprile 2024 il Parlamento Europeo ha adottato in via definitiva un accordo politico provvisorio con governi dell'UE sulle nuove misure introdotte dalla bozza di direttiva (381 voti favorevoli – 225 contrari – 17 astenuti).

Prossimo step: la direttiva dovrà essere formalmente adottata dal Consiglio, prima di essere pubblicata nella gazzetta ufficiale dell'UE ed entrare in vigore 20 giorni dopo. I Paesi dell'UE avranno due anni di tempo per applicare le nuove norme.

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 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 31/12/2023

Zona	Comune	Stazione	Tipo	Zona + Tipo	Inquinanti misurati				
					PM10	PM2.5	NOx	CO	Hg
 Industriale	Forlì	Hera		<i>Ind</i>	●	●	●	●	●

Si riporta la scheda, con la documentazione fotografica e la localizzazione della stazione di monitoraggio Hera nella configurazione 2023.

Stazione: Hera (Forlì)	Stazione locale industriale
	
Tipo Stazione: Industriale	Coordinate geografiche:
Inquinanti: PM₁₀ – PM_{2.5} - 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, inversione termica che 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 2023 dalla centralina meteorologica installata presso la cabina Hera di via Barsanti nel Comune di Forlì.

3.2 - Andamento meteorologico del 2023

3.2.1 Temperatura

A livello regionale il 2023 è risultato l'anno più caldo dal 1961 sia in termini di temperatura media che di temperatura massima. La temperatura media annuale registrata dalla centralina meteo posizionata presso la cabina Hera di via Barsanti nel corso del 2023 è stata pari a 16.7 °C. Queste condizioni generali si sono tradotte in un elevato numero di notti con temperatura minima superiore a 20 °C (notti tropicali): l'indice regionale, calcolato a partire dalla serie delle medie regionali delle temperature minime giornaliere, è stato pari a 15, il terzo valore più alto della serie dopo il 2003 e il 2015, ma a livello locale, in pianura, sono state osservate fino a oltre 60 notti tropicali nell'area metropolitana di Bologna. A queste condizioni si lega anche il valore particolarmente elevato dello zero termico, la quota più alta della troposfera alla quale la temperatura dell'aria assume un valore di 0 °C, che in inverno coincide con la quota neve. In pianura, il valore medio annuo di questo indice è stato il più alto mai registrato dal 1986; le anomalie termiche osservate in superficie nel corso dell'anno sono quindi strettamente correlate a quelle di un consistente strato di atmosfera sovrastante. La prima metà di gennaio si è discostata molto dalla normalità climatica, con elevatissime anomalie che hanno portato la temperatura media regionale fino a 6,3 °C oltre il clima

1991-2020, con superamento dei precedenti record calcolati dal 1961 nei giorni 1, 2 e 4 gennaio; successivamente, i valori termici non hanno presentato eccezionali anomalie e il 10 febbraio è stato rilevato, presso la stazione di Febbio (RE, 1148 m s.l.m.), il valore di temperatura minima assoluta regionale per il 2023, pari a -13,4 °C. A marzo, a cavallo fra la prima e la seconda decade, è stata registrata invece un'intensa ondata di calore, durante la quale per più giorni le temperature hanno segnato nuovi record. Poi, le temperature sono progressivamente diminuite e aprile è risultato complessivamente più freddo della norma, soprattutto per quanto riguarda i valori minimi giornalieri. A maggio, in presenza di condizioni particolarmente perturbate, le temperature medie mensili regionali sono risultate di nuovo inferiori alla norma, ma questa volta sono state le temperature massime giornaliere a determinare maggiormente il segno negativo dell'anomalia mensile.

Con il mese di giugno, in linea con la normale variabilità climatica, si è conclusa la fase dell'anno caratterizzata da brevi anomalie termiche e variabilità, ed è iniziato un secondo periodo caratterizzato da persistenti ed elevate anomalie termiche positive, che si sono intensificate nell'ultima parte dell'anno. Il 25 agosto, presso le stazioni di Marzaglia (MO, 54 m s.l.m.) e Sant'Agata Bolognese (BO, 18 m s.l.m.), è stata rilevata la temperatura massima assoluta regionale dell'anno, pari a 40,7 °C. Va osservato che, nonostante nel 2023 si siano verificate forti ondate di calore, il numero totale di giorni in cui la temperatura massima ha superato i 30 °C (giorni caldi) non ha raggiunto valori particolarmente alti; questo probabilmente a causa di frequenti temporali durante la stagione estiva, e anche perché l'umidità degli strati superficiali del suolo non ha mai raggiunto valori eccessivamente bassi e il rilascio di calore latente ha limitato i possibili effetti di amplificazione superficiale delle anomalie termiche.

In autunno le anomalie termiche si sono ulteriormente intensificate: settembre è risultato il secondo più caldo dal 1961, dopo il 2011, mentre ottobre è stato il più caldo della serie così come l'autunno nel suo complesso; l'anno si è infine concluso con il dicembre più caldo della corrispondente serie storica. Nel corso di questi mesi, più volte la temperatura media regionale ha segnato nuovi record massimi, come il 9 ottobre, quando il precedente record è stato superato di 3,9 °C, complice un'eccezionale avvezione calda, e di nuovo il 23 dicembre, quando il nuovo record ha superato di 3,8 °C quello precedente, complice un intenso evento di foehn alpino. Nel 2023, la temperatura del mare, misurata a circa 10 km dalla costa adriatica, ha assunto in ogni mese dell'anno valori medi superiori al clima 2007- 2020, con anomalie mensili particolarmente pronunciate, superiori a 2,5 °C, a gennaio e ottobre.

Di seguito si riporta graficamente l'andamento nel corso dell'intero anno 2023 delle temperature medie giornaliere registrate presso la cabina Hera di via Barsanti (Figura 3.1).

La temperatura media annuale registrata dalla centralina meteo posizionata presso la cabina Hera di via Barsanti nel corso del 2023 è stata pari a 16,7 °C, con un minimo di -3,3 °C registrato il 10 febbraio e un massimo di 39,5 °C registrato il 17 luglio.

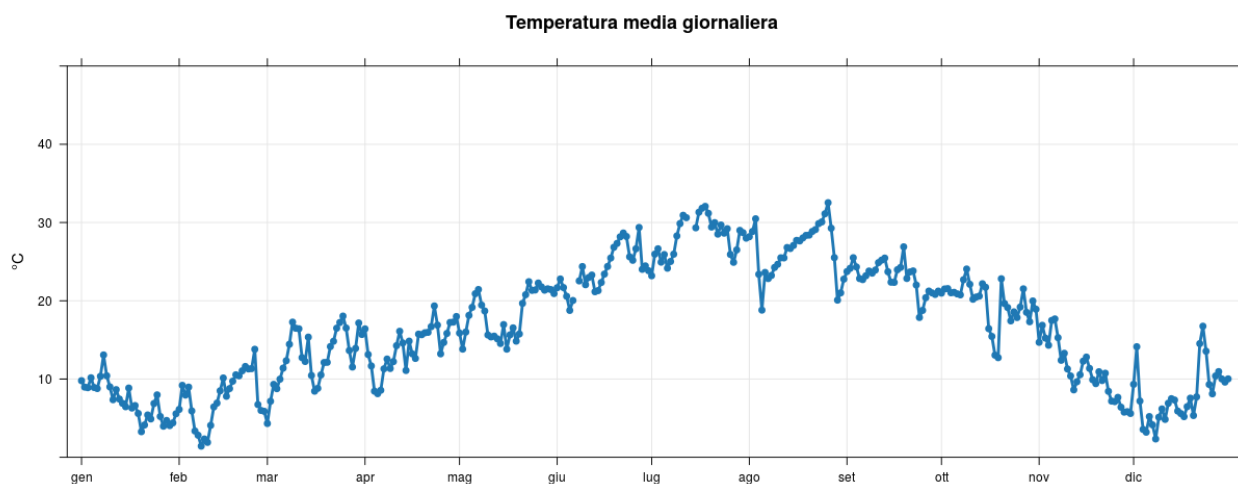


Figura 3.1: Temperatura media giornaliera presso la cabina Hera nel corso del 2023

3.2.2 Precipitazioni

Le precipitazioni totali medie regionali del 2023 hanno raggiunto un valore di 891 mm, molto vicino alla media del periodo di riferimento 1991-2020, pari a 889 mm. Tuttavia, nel corso dell'anno, le precipitazioni hanno mostrato un andamento temporale molto intermittente, con conseguenti periodi critici sia in termini di abbondanza sia di scarsità delle risorse. Il 2023 è iniziato in condizioni di siccità, che si sono instaurate a partire dal 2021, e si sono protratte, con brevi interruzioni, fino al termine del 2022. A esclusione di gennaio, le precipitazioni sono state scarse fino a inizio maggio. Tuttavia, grazie soprattutto a un apporto consistente a inizio anno e nonostante la scarsità di precipitazioni ad aprile, il terzo più secco dal 1961, alla fine del primo quadrimestre le cumulate da inizio anno erano di poco inferiori all'intervallo di normale variabilità per il trentennio 1991-2020. Questo lungo periodo di siccità si è concluso con le eccezionali piogge di maggio, pari a 3,3 volte il valore climatico mensile a livello regionale, e con picchi locali sull'Appennino romagnolo superiori alla metà del valore atteso annuo; successivamente, le abbondanti, per quanto spazialmente poco omogenee precipitazioni di giugno hanno consolidato le risorse idriche regionali, a eccezione delle aree occidentali della regione, dove hanno continuato a persistere condizioni di moderata siccità. A luglio le precipitazioni sono risultate scarse: 27,5 mm regionali contro i 42,4 mm attesi, mentre ad agosto, nonostante il valore medio regionale sia stato di poco inferiore alla norma, le piogge si sono principalmente concentrate nelle aree occidentali, permettendo un locale recupero delle risorse idriche ancora segnate da persistenti, seppur moderate, condizioni di siccità idrologica. Settembre è stato nuovamente caratterizzato da scarse precipitazioni, con valori cumulati medi regionali di 31 mm a fronte degli 81 mm attesi, ma a ottobre, in corrispondenza di una nuova fase particolarmente perturbata, le precipitazioni sono risultate di nuovo nettamente superiori ai valori climatici, con anomalie particolarmente pronunciate sulle aree occidentali. L'anno si è concluso con due mesi di precipitazioni nettamente inferiori alla norma. Quindi, nonostante le cumulate annue medie regionali siano risultate prossime alla norma climatica, più della metà delle precipitazioni del 2023 sono da attribuire unicamente ai mesi di gennaio, maggio e ottobre (nella zona occidentale), mentre nel resto dell'anno sono risultate generalmente inferiori alle attese, spesso molto scarse, e frequentemente concentrate in limitate aree della regione.

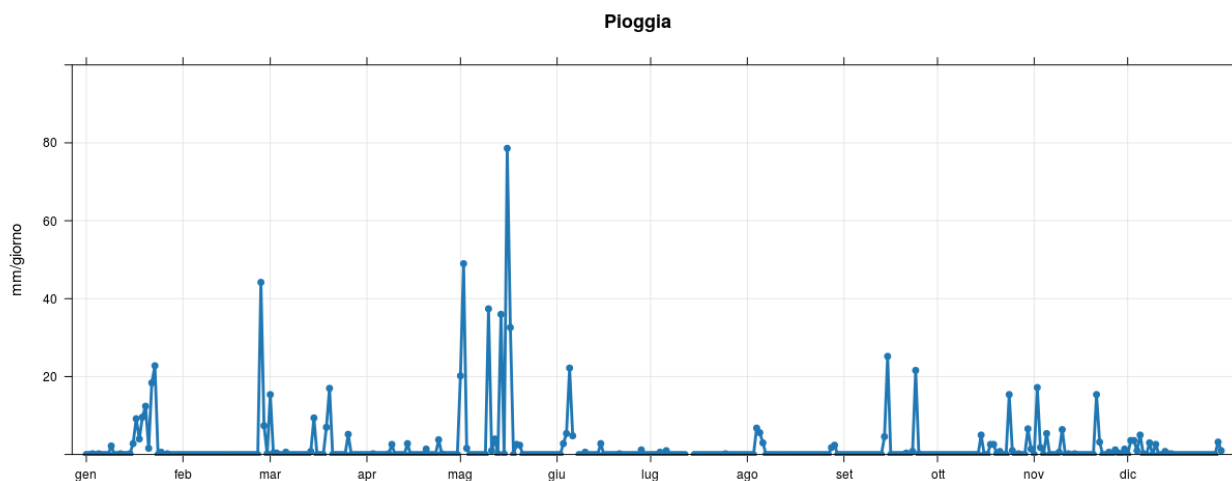


Figura 3.2: Dati giornalieri di pioggia registrati nel 2023 presso la cabina Hera

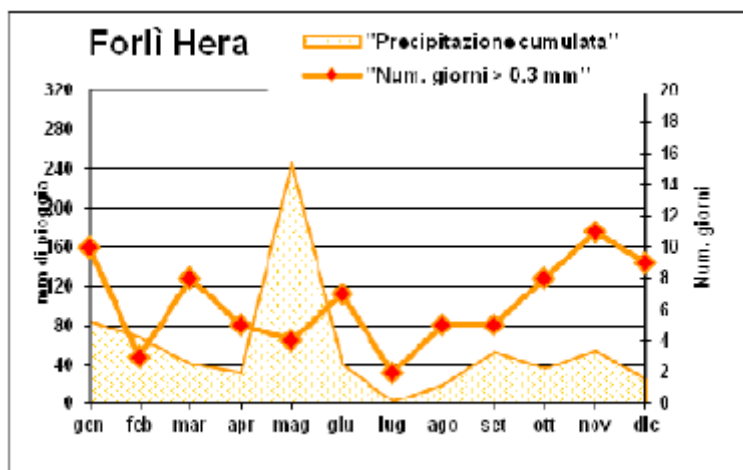
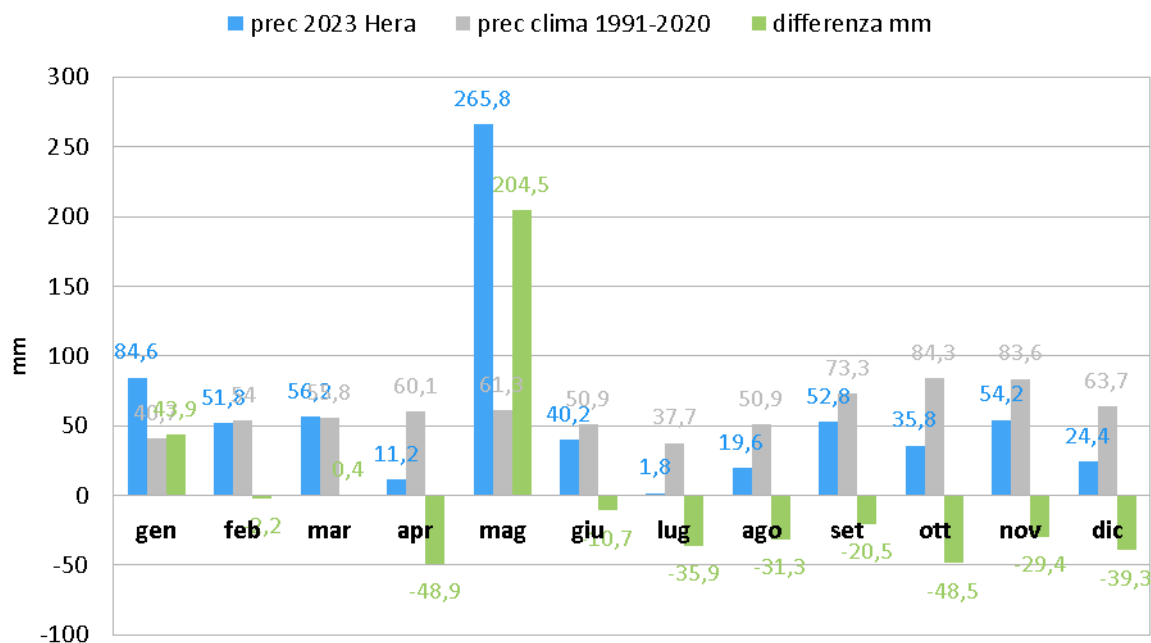


Figura 3.3: precipitazione cumulata mensile e numero di giorni con precipitazione superiore a 0,3 mm (limite di significatività) – Anno 2023

La Figura 3.4 riporta i totali mensili di precipitazioni registrati presso la cabina di Hera insieme ai valori climatici di riferimento e alle corrispondenti anomalie. A Forlì i mesi di aprile e tutta la seconda metà dell'anno (luglio-dicembre) hanno avuto precipitazioni inferiori alle medie 1991-2020.

Il mese di gennaio (inverno 2022/23) è stato più piovoso della media climatica, mentre i mesi seguenti di febbraio e marzo sono risultati in linea con la media climatica; al mese di aprile, estremamente siccitoso, ha poi fatto seguito il mese di maggio, caratterizzato da un intenso evento alluvionale. Nel mese sono caduti 266 mm di pioggia, superiore di 205 mm rispetto al valore medio climatico (+334%).



3.4: Precipitazioni medie mensili 2023, 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.

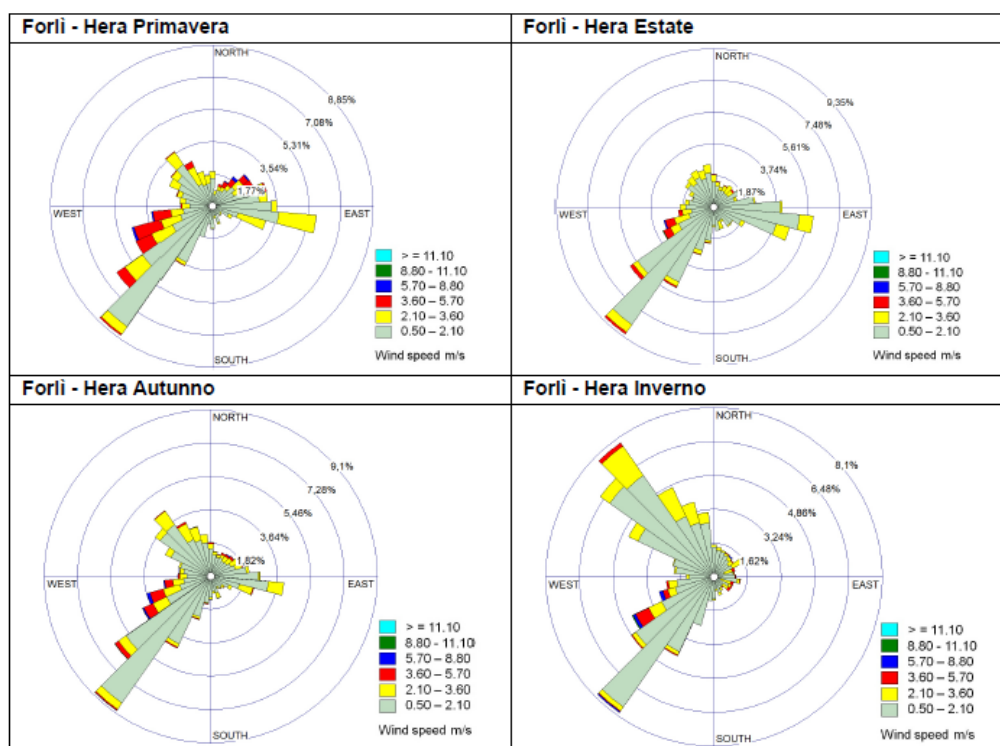


Figura 3.5: Rose dei venti stagionali della stazione di Forlì Hera – Anno 2023.

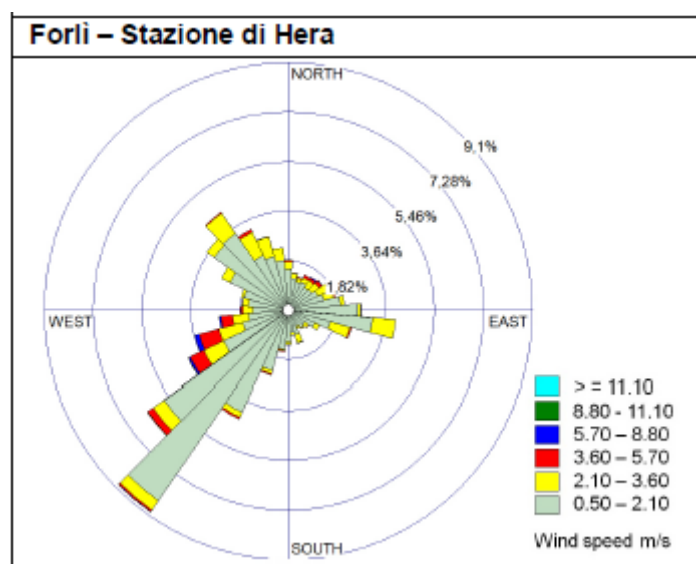


Figura 3.6: Rosa dei venti annuale della stazione di Forlì Hera – Anno 2023.

Nella stazione Hera di Forlì i venti durante tutto l'arco dell'anno risultano tendenzialmente bassi, provenienti principalmente da Sud-Ovest per buona parte dell'anno e anche da nord-ovest durante la stagione invernale e in misura minore da Est, con velocità maggiori da Sud-Ovest.

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.

4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Nei paragrafi seguenti sono riportati, suddivisi per tipologia di inquinante, gli indici statistici dei dati validati nel 2023 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

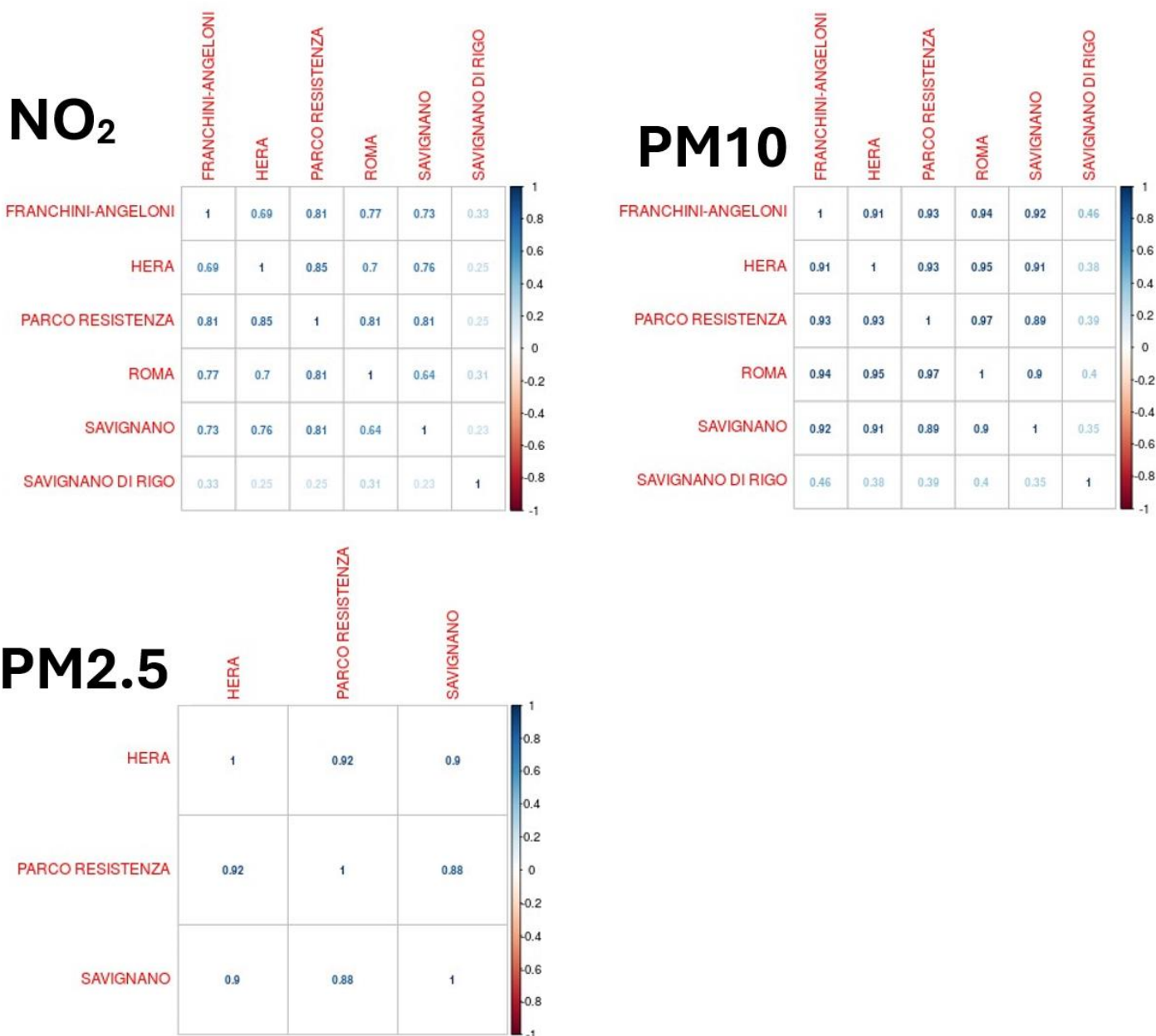
I periodi di mediazione delle concentrazioni rilevate sono quelli dei limiti normativi: nel caso del particolato PM10 e PM2.5 le concentrazioni sono espresse come medie giornaliere e media annuale, per il biossido di azoto come media oraria e media annuale e per il monossido di carbonio come media sulle 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 2023;
- il confronto delle elaborazioni dei dati del 2023 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 2023, 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 = 0,95), mentre per il PM2.5 è con la stazione "Parco Resistenza" (Pearson = 0,92).

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		Valori guida OMS	Valori guida OMS
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	40 µg/m ³	Max 18	200 µg/m ³	10 µg/m ³
						<i>Media anno</i>	<i>N° Sup. 200µg/m³ h</i>	<i>Max orario</i>	<i>Media annua</i>
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	< 8	80	16	0	80	16

Nella Figura 4.1 sono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere del 2023 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).

concentrazioni giornaliere massime di biossido di azoto

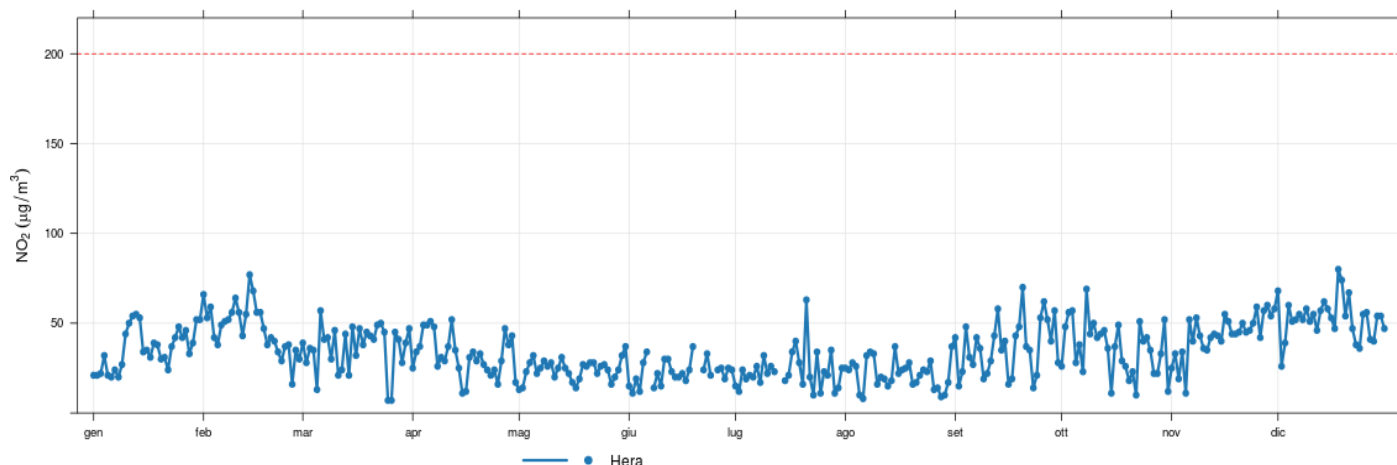


Figura 4.1 – NO₂ - Concentrazioni orarie (µg/m³) massime giornaliere - stazione Hera – Anno 2023

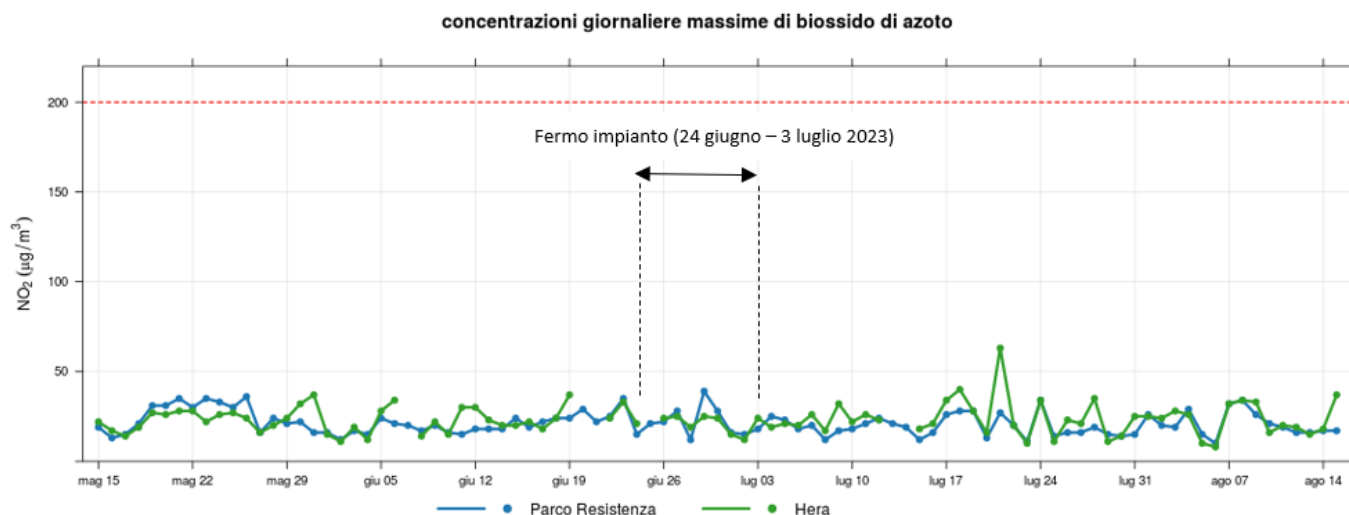


Figura 4.2 – NO₂ - Concentrazioni orarie (µg/m³) massime giornaliere nel periodo a cavallo del fermo impianto ad HERA e a Parco Resistenza

I limiti di lungo (media annuale) e di breve periodo (massimo della media oraria) del biossido di azoto nell'anno 2023 sono stati rispettati.

Nel grafico di Figura 4.3 sono rappresentate le concentrazioni medie annue di NO₂ confrontate con il valore limite stabilito dal D.Lgs 155/2010 (linea viola) e con il valore guida proposto dal OMS (linea verde).

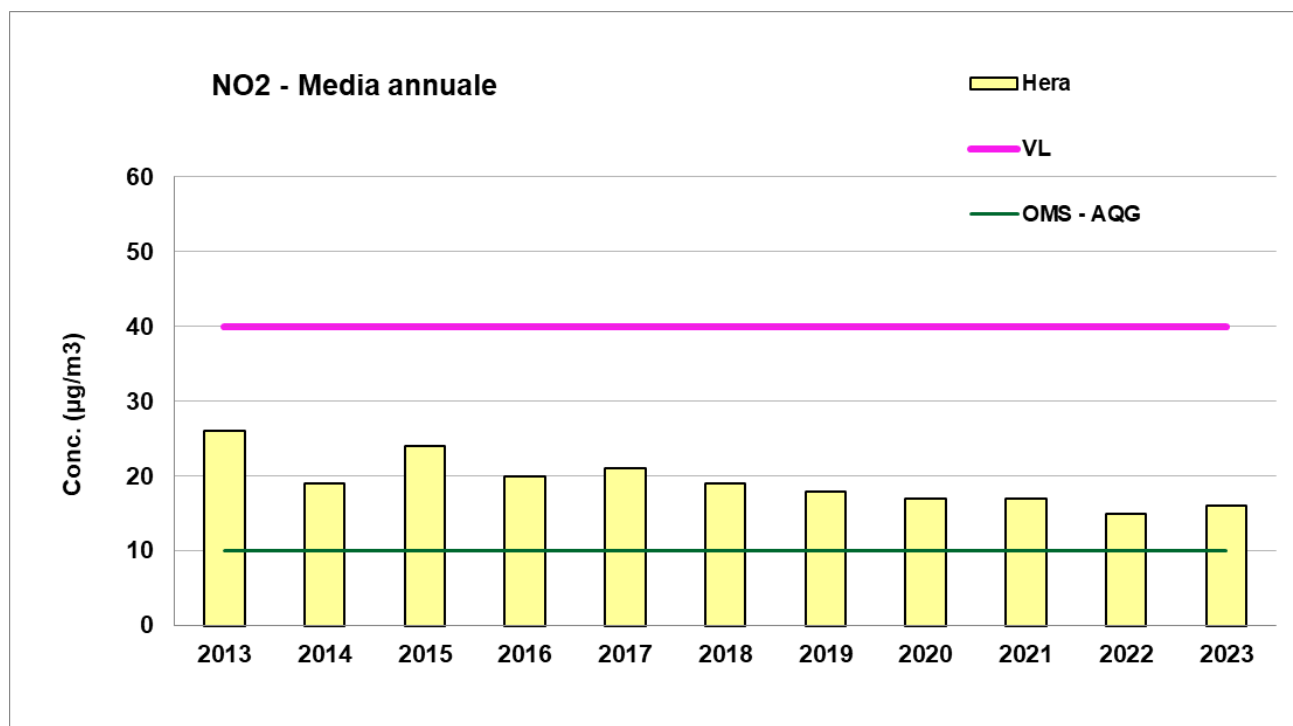


Figura 4.3 – NO₂ - Medie annuali - stazione Hera

Nella Figura 4.4 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2023 per la stazione Locale di Hera.

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

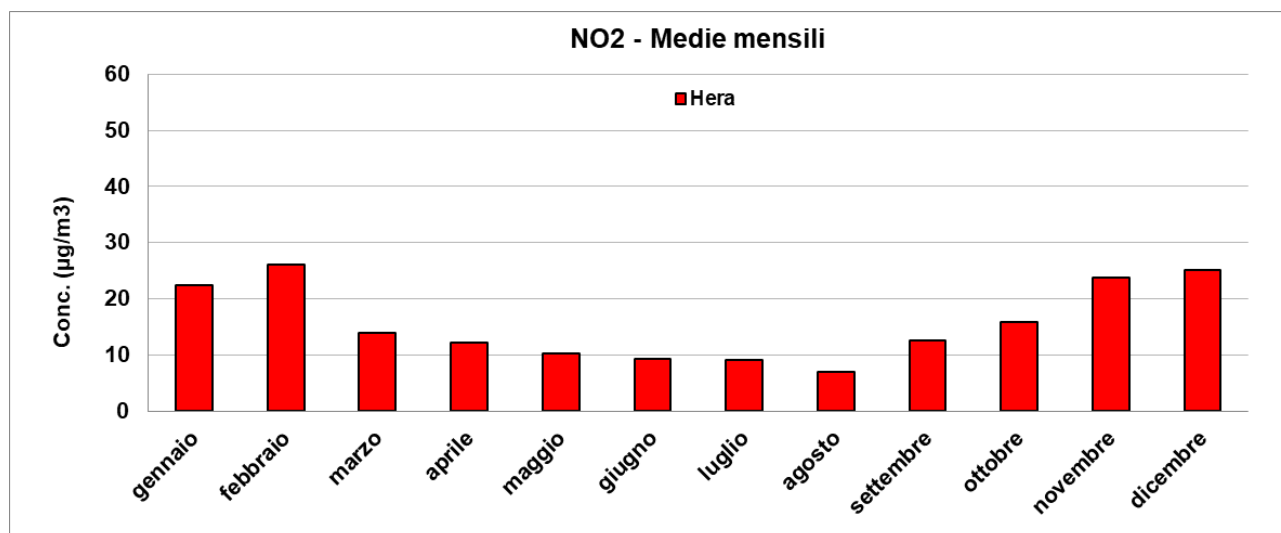
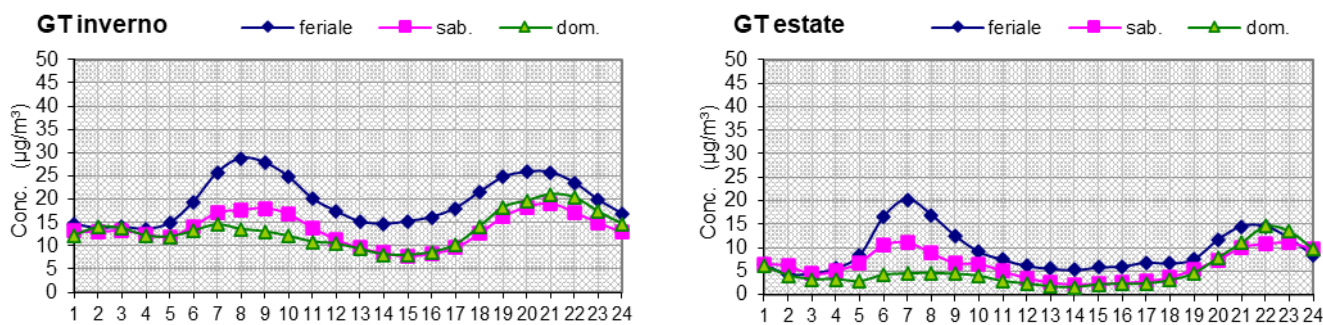


Figura 4.4 – NO₂ - Medie Mensili - stazione Hera – Anno 2023

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.



Hera – LOCALE - Industriale (Ind) – Area Industriale

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 2013 al 2023.

Tabella 4.4 – Indici statistici per le concentrazioni orarie di NO₂ registrate dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in µg/m³)

Stazione: Hera

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media annuale	26	19	24	20	21	19	18	17	17	15	16
50°Percentile	24	15	21	17	18	16	15	13	13	13	12
90°Percentile	46	37	45	39	41	38	38	36	35	30	33
95°Percentile	53	43	52	44	47	45	44	43	42	35	40
98°Percentile	62	49	60	51	54	53	54	51	49	41	48
Massimo orario	109	90	90	83	76	82	84	94	74	65	80
Concentrazioni orarie maggiori 200 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	97	95	93	92	92	86	95	100	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	Valori guida OMS	
<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 1 ora</i>	<i>Max media 8 ore</i>
							10 mg/m ³	35 mg/m ³	10 mg/m ³
Hera	Forlì	Locale Industriale	98	< 0,4	1,7	0,4	1,3	1,7	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 2023.

Il valore più alto della media oraria è pari a 1,7 mg/m³; inoltre, il 67% 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 2023 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.

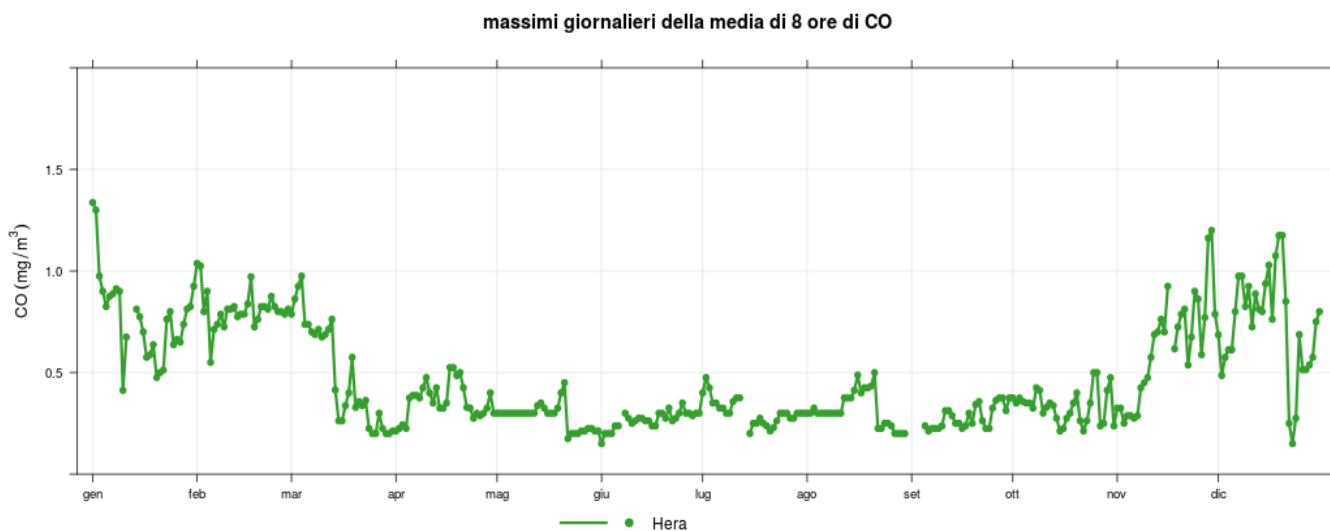


Figura 4.6 - CO - Concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore (mg/m³) - stazione Hera - Anno 2023

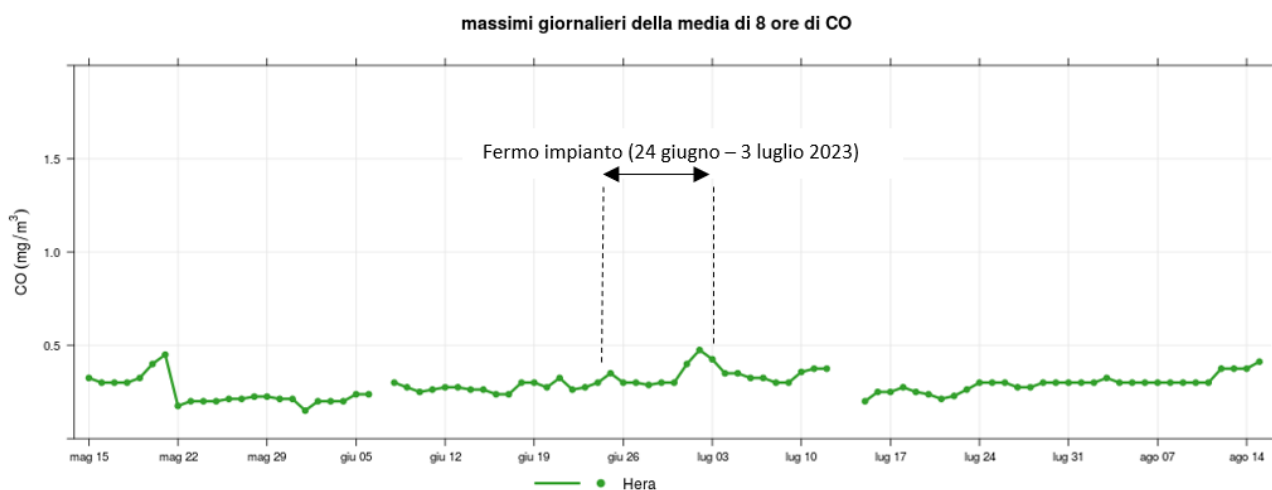


Figura 4.7 - CO - Concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore (mg/m³) nel periodo a cavallo del fermo impianto - stazione Hera

Nella Figura 4.8 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2023 per la stazione Locale di Hera.

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

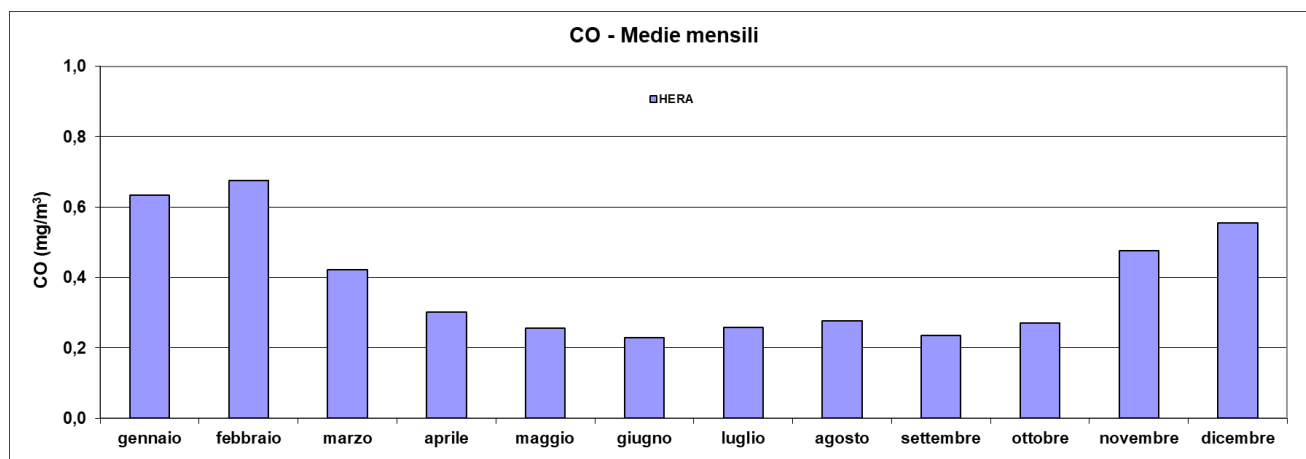
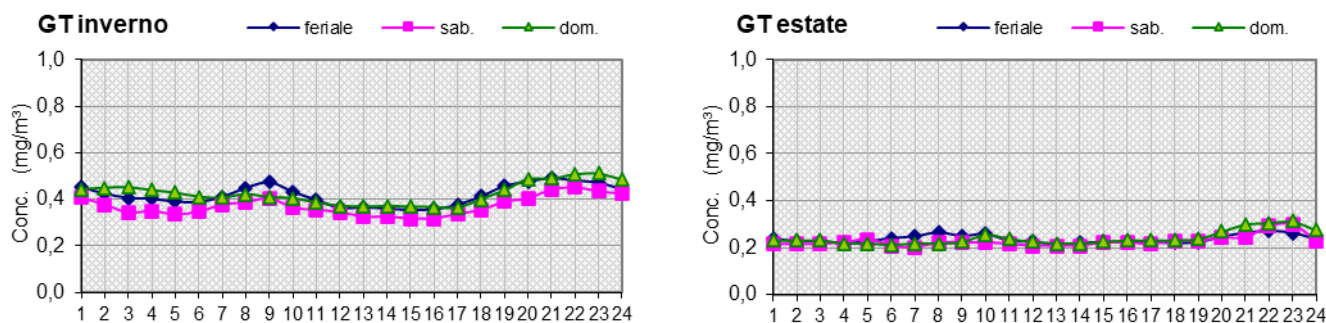


Figura 4.8 - CO - Medie Mensili - stazione Hera – Anno 2023

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 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in mg/m³)

Stazione: Hera

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media annuale	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	0,4
50°Percentile	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	0,3
90°Percentile	<0,6	<0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7	0,9	0,7
95°Percentile	0,7	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8
98°Percentile	0,9	0,7	1,0	1,1	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9	1,1	0,9
Massimo orario	2,1	1,6	2,2	1,9	2,3	1,7	1,5	1,8	1,4	1,9	1,7
Max media 8 ore	1,6	1,1	1,9	1,6	2,0	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,3
% dati validi	98	98	98	98	100	100	100	100	99	99	98

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

Hg [L.Q. = 0,2 ng/m ³]				Concentrazioni in ng/m³						
<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	96	1,0	5,2	2,0	1,9	2,5	2,8	3,1

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 2023 per la stazione Locale Hera.

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

Mercurio - Massimi giornalieri

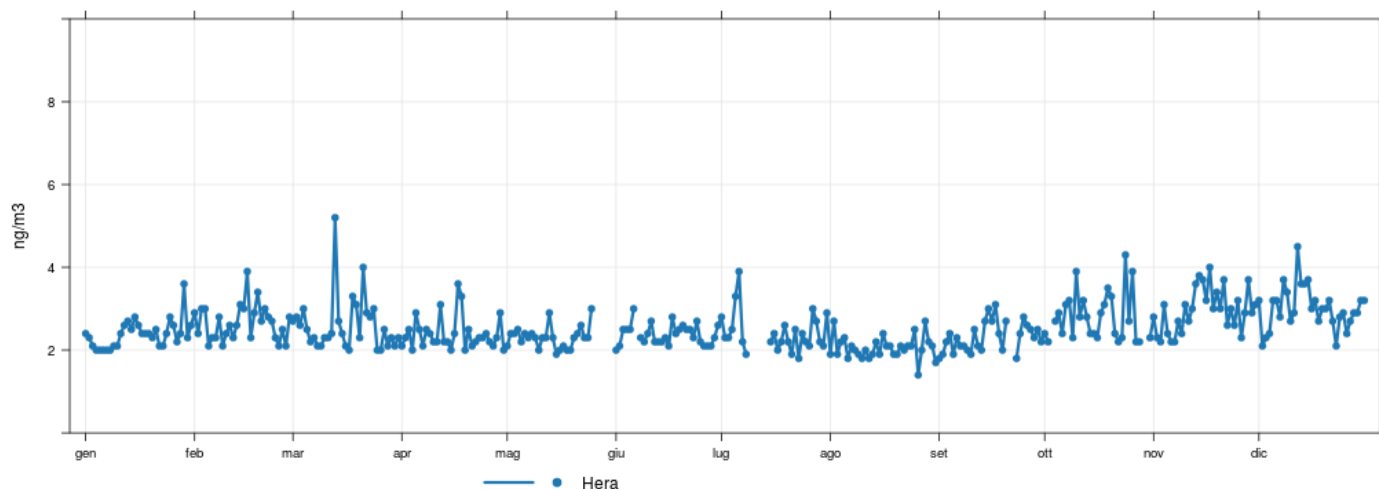


Figura 4.10 – Hg - Concentrazioni orarie massime giornaliere (ng/m³) – Anno 2023 – stazione Hera

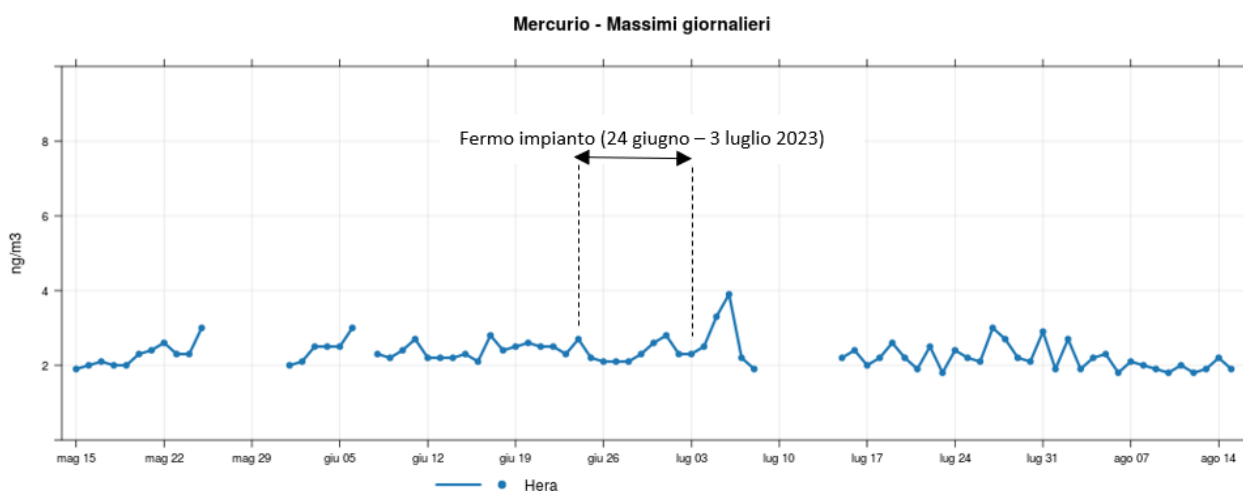


Figura 4.11 - Hg - Concentrazioni orarie massime giornaliere (ng/m³) nel periodo a cavallo del fermo impianto – stazione Hera

Nella Figura 4.12 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2023 per la stazione Locale Hera.

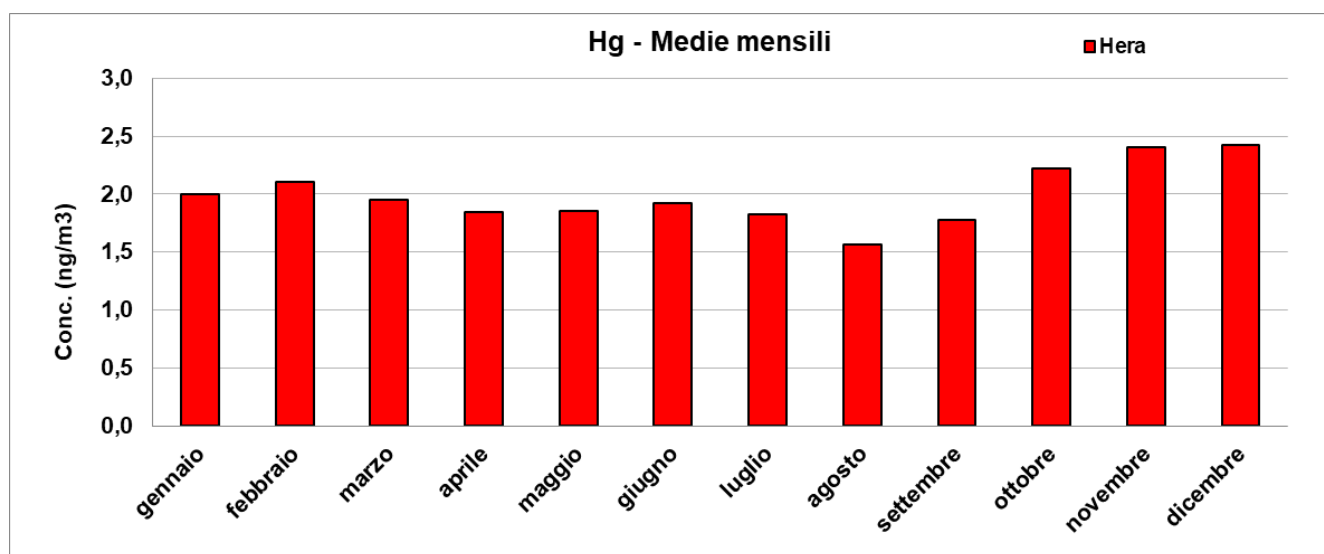


Figura 4.12 - Hg - Medie Mensili – stazione Hera – Anno 2023

La Figura 4.13 riporta l'andamento della concentrazione media annuale di mercurio dal 2013 al 2023.

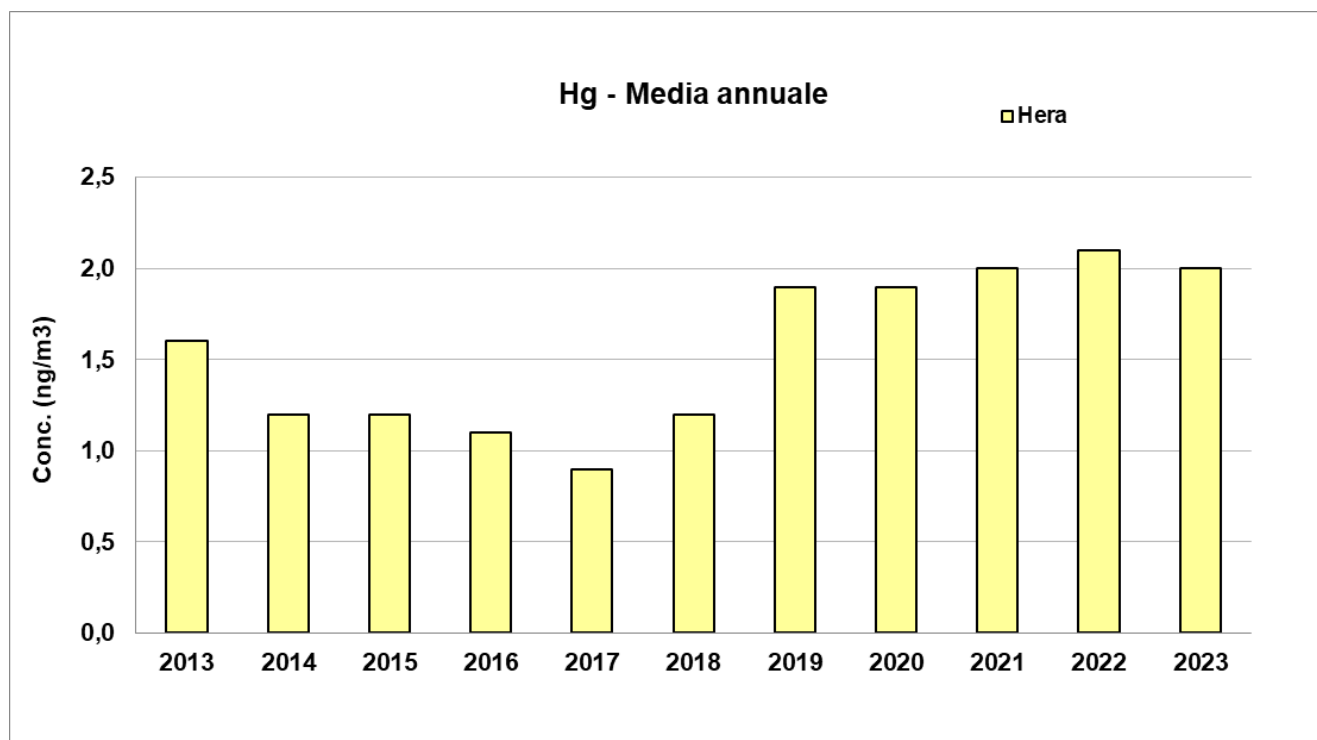


Figura 4.13 – Hg - medie annuali – stazione Hera

Infine, in Tabella 4.9, sono riportati alcuni parametri statistici relativi alle concentrazioni orarie per la serie storica dal 2013 al 2023.

Tabella 4.9 – Indici statistici per le concentrazioni orarie di Hg registrate dal 2013 al 2023 (concentrazioni espresse in ng/m³)

Stazione: Hera

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimo orario	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,1	1,0	0,4	1,0
Media annuale	1,6	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	1,2	1,9	2,0	2,1	2,0
50°Percentile	1,5	1,2	1,1	1,0	0,8	1,1	1,8	1,8	1,9	2,0	1,9
90°Percentile	2,2	1,6	2,0	1,8	1,4	1,9	2,4	2,4	2,6	2,6	2,5
95°Percentile	2,5	1,8	2,3	2,1	1,7	2,2	2,6	2,7	3,0	2,9	2,8
98°Percentile	2,7	2,1	2,7	2,4	2,1	2,8	2,9	3,1	3,4	3,2	3,1
Massimo orario	4,0	3,8	10,5	4,2	5,0	6,1	9,4	6,6	5,9	11,7	5,2
% dati validi	78	75	50	82	65	79	85	94	95	97	96

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 morbilità, 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 2023 la media annuale del *PM10* è risultata pari a 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 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 guida dell'OMS pari a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione sulle 24 ore sono entrambi 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 di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si rilevano - se confrontate con i valori guida dell'OMS - la valutazione dello stato dell'indicatore - nonostante il rispetto del limite - non può essere considerata positiva.

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

<i>PM10</i> [L.Q. = 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]				Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Limiti Normativi	
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza%</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <i>Valore guida OMS: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Max 35 <i>Valore guida OMS: 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare mai</i>
						<i>Media anno</i>	N° giorni Sup, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	3	80	28	32 (OMS 41)

Nella Figura 4.14 sono riportate le concentrazioni giornaliere del 2023 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).

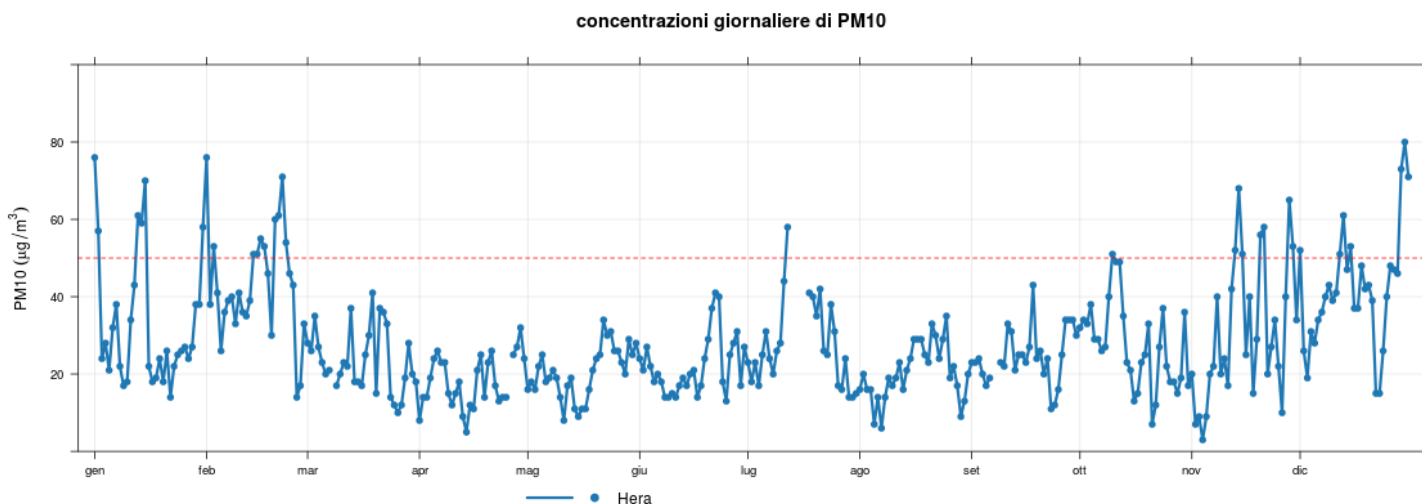


Figura 4.14 – PM10 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2023 – stazione Hera

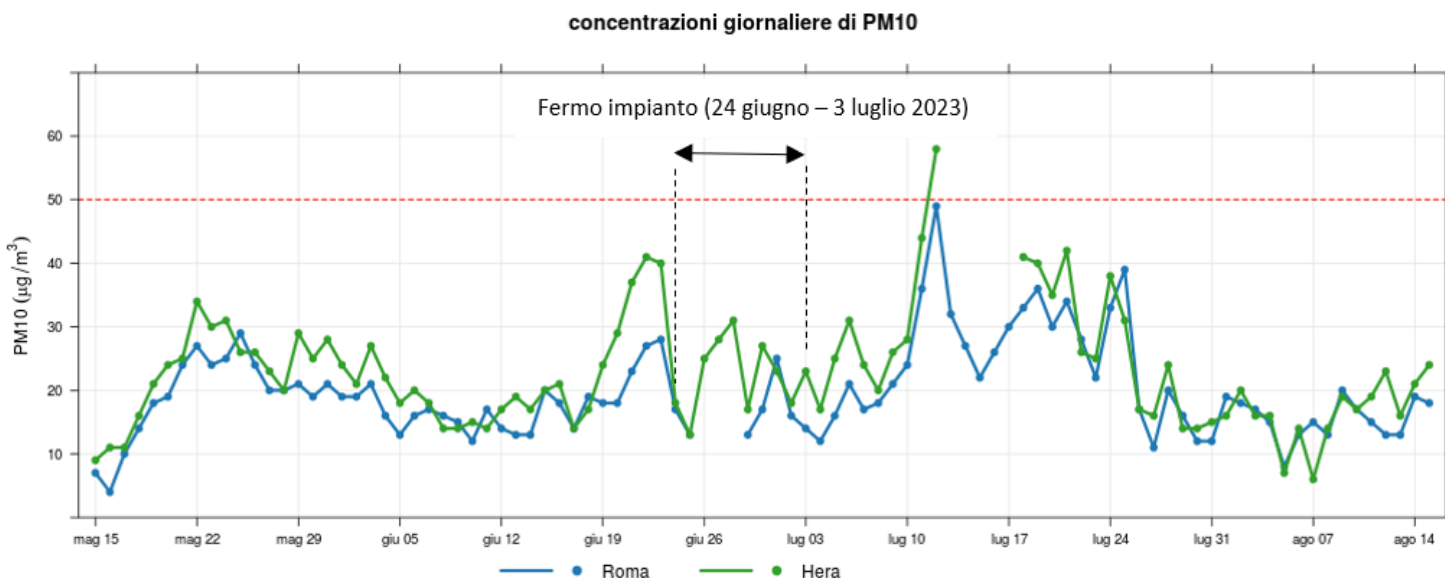


Figura 4.15 - PM10 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante il periodo a cavallo del fermo impianto ad HERA e a Roma – stazione Hera

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 2023 la media annuale è in linea con quella degli anni precedenti e il numero di superamenti mostra un leggero decremento.

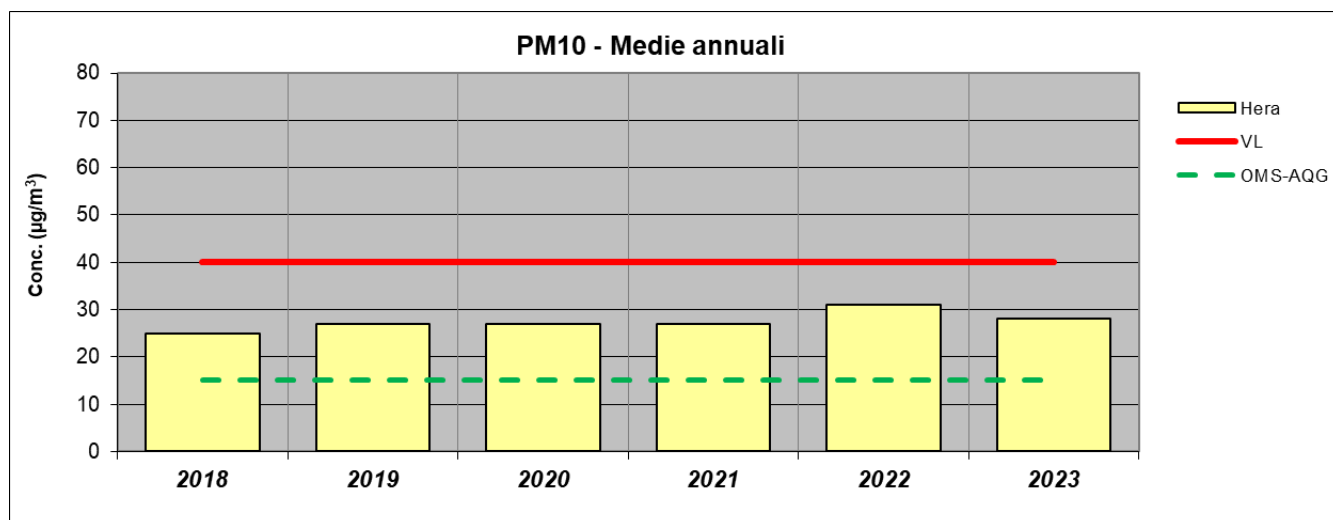


Figura 4.16 - PM10 - medie annuali – stazione Hera

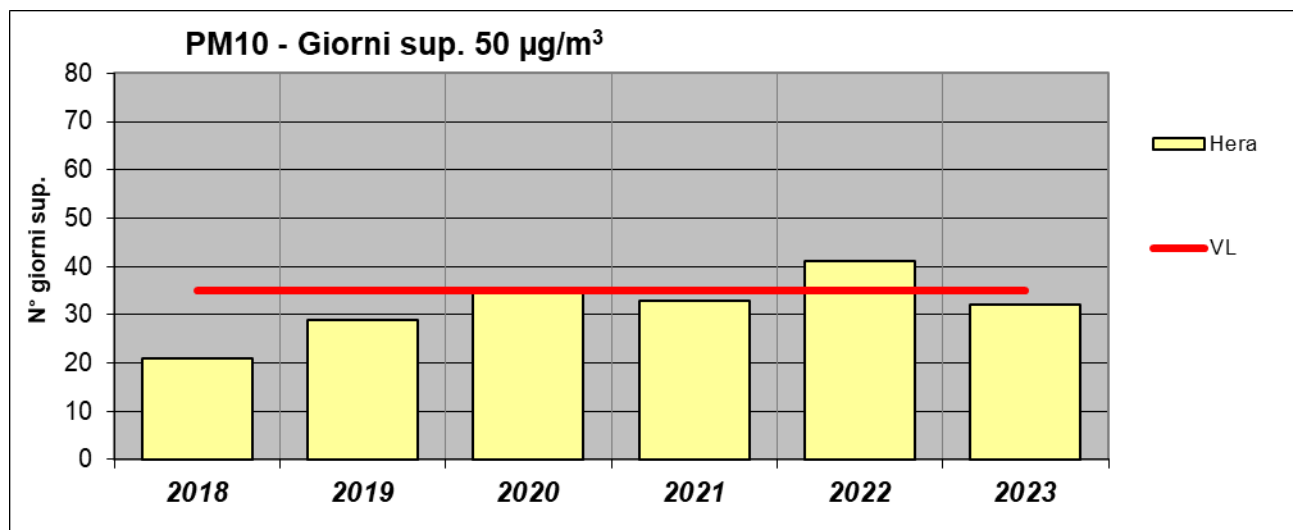


Figura 4.17 – PM10 - giorni con superamento dei 50 µg/m³ – stazione Hera

Le Figure 4.18 e 4.19 riportano l'andamento nel 2023 rispettivamente delle medie mensili e del numero di giorni con concentrazioni superiori a 50 µg/m³.

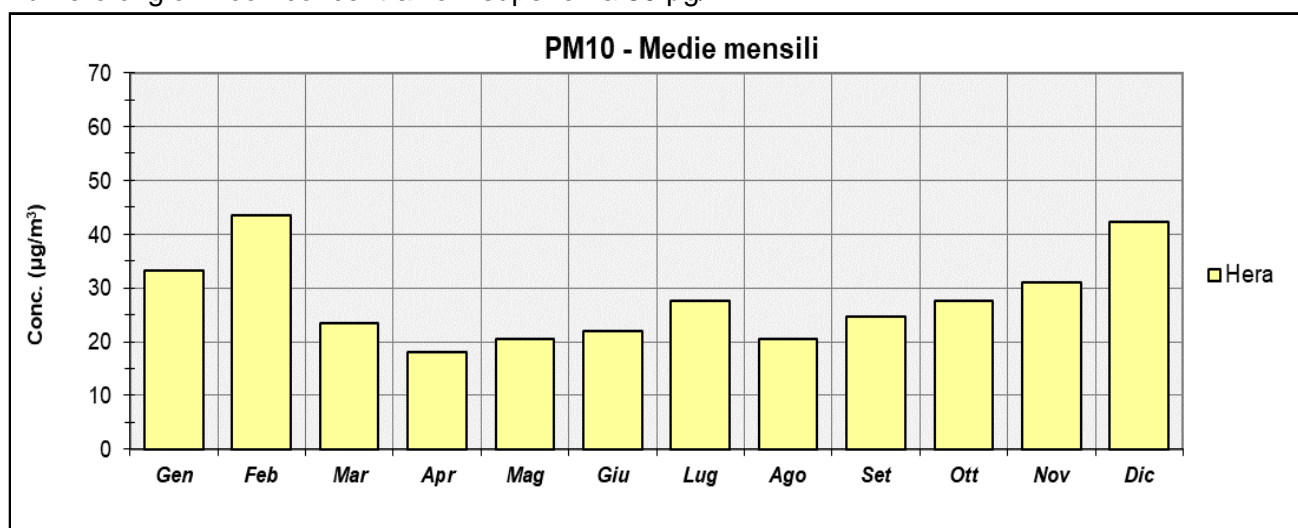


Figura 4.18 - PM10 - medie mensili – stazione Hera – Anno 2023

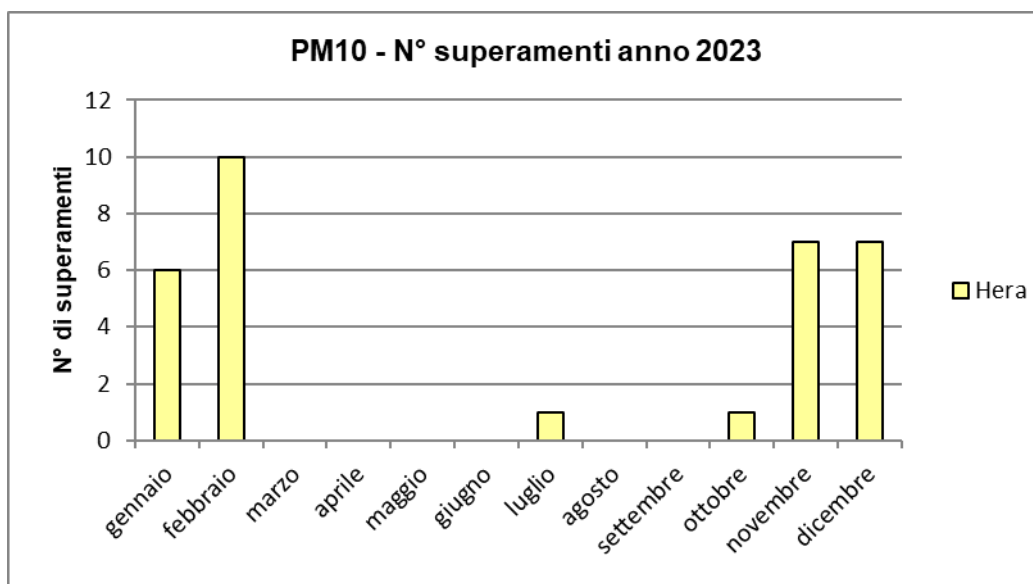


Figura 4.19 – PM10 – N° superamenti del valore limite giornaliero – stazione Hera – Anno 2023

Infine, la Tabella 4.11 riporta alcuni parametri relativi al PM10, calcolati a partire dal 2018.

Tabella 4.11 – Indici statistici per le concentrazioni giornaliere di PM10 registrate dal 2018 al 2023 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Hera

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media annuale	25	27	27	27	31	28
50°Percentile	22	22	21	22	28	24
90°Percentile	42	48	51	49	52	48
95°Percentile	51	58	70	62	60	56
98°Percentile	62	67	87	72	68	68
Massimo giornaliero	80	89	125	112	81	80
Concentrazioni giornaliere maggiori di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	21	29	35	33	41	32
% dati validi	98	95	95	95	96	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, ($\leq\text{PM}_{10}$), 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 morbilità, 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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. Anche in questo caso, considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si rilevano, se confrontate con i valori guida dell'OMS, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva nonostante il rispetto del limite.

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

PM2.5 [L.Q. = 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$]				Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Limite Normativo	Limite indicativo
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Valore guida OMS:- 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
						Media anno	Media anno
Hera	Forlì	Locale Industriale	96	<3	59	14	14

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 µg/m³ viene di seguito riportato come "limite indicativo".

Nel 2023 il valore limite della media annuale del PM2.5 (25 µg/m³), così come il "limite indicativo" (20 µg/m³), sono stati rispettati.

Non è invece rispettato il valore guida dell'OMS, più restrittivo (5 µg/m³) (Tabella 4.12).

Nella Figura 4.20 sono riportate le concentrazioni giornaliere del 2023 per la stazione Locale 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).

concentrazioni giornaliere di PM2.5

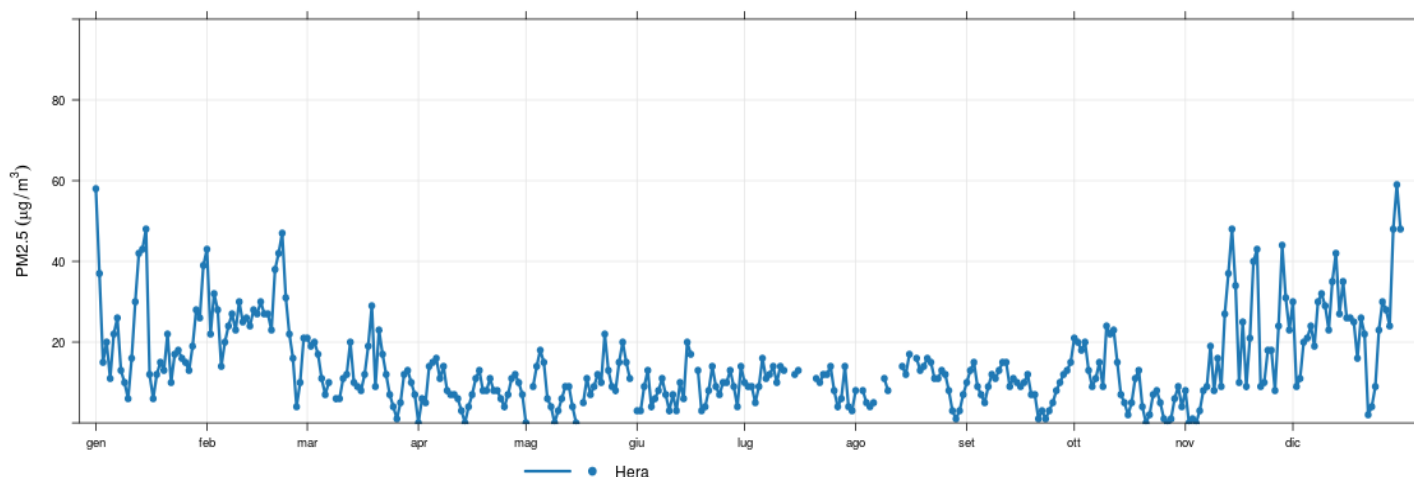


Figura 4.20 – PM2.5 - Concentrazioni giornaliere (µg/m³) – Anno 2023 – stazione Hera

concentrazioni giornaliere di PM2.5

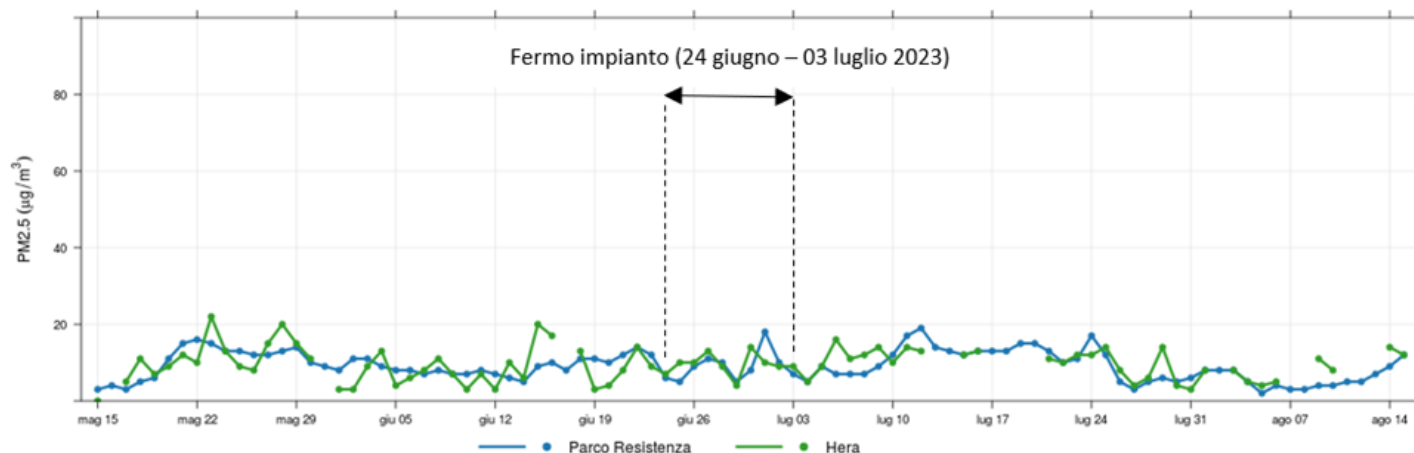


Figura 4.21 – PM2.5 - Concentrazioni giornaliere (µg/m³) durante il periodo a cavallo del fermo impianto ad HERA e a Parco Resistenza – stazione Hera

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.

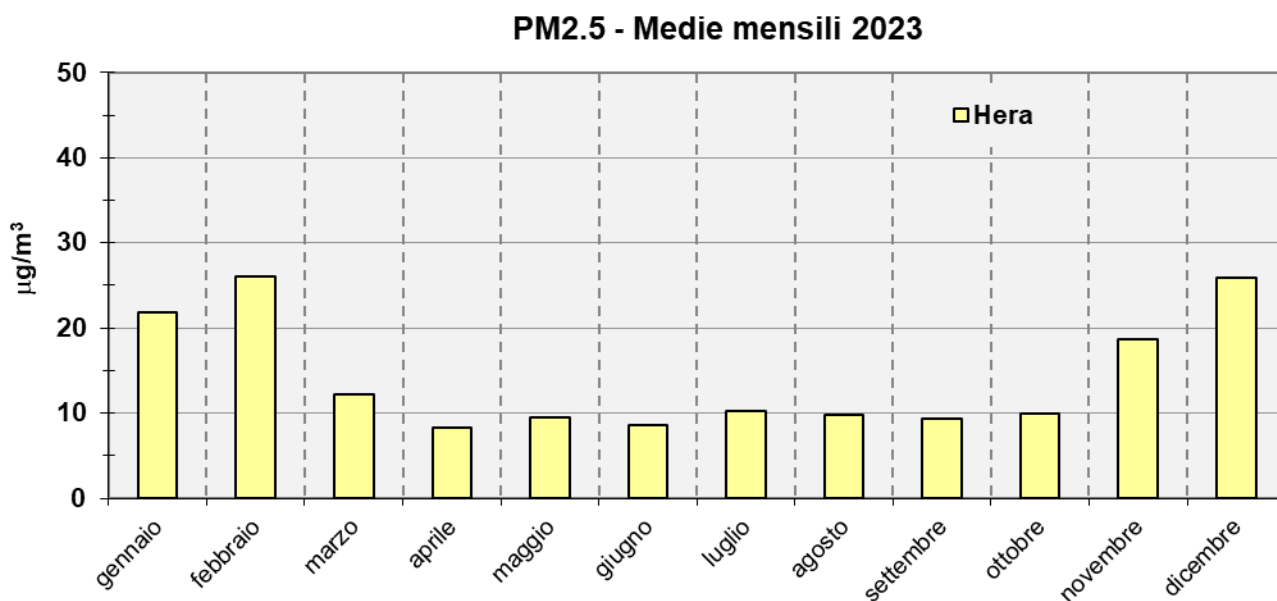


Figura 4.22 – PM2.5 - medie mensili – stazione Hera

In Figura 4.23a sono riportate le medie annuali rilevate dal 2018, messe a confronto con il limite previsto dalla normativa (25 µg/m³ – linea rossa), il valore indicativo della fase 2 (20 µg/m³ – linea nera) e il valore guida dell'OMS (5 µg/m³- linea verde).

Negli ultimi sei anni, sia il limite normativo che quello indicativo non sono stati superati, mentre il valore guida dell'OMS continua ad essere superato abbondantemente.

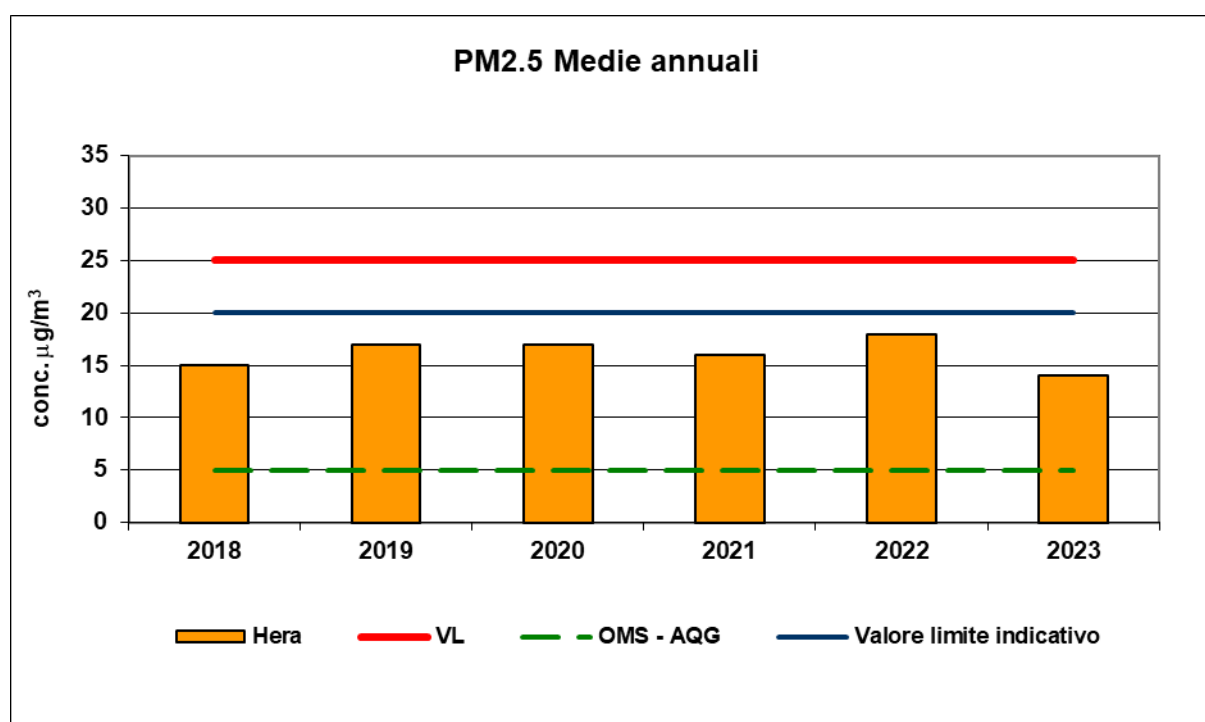


Figura 4.23a – PM2.5 - medie annuali nell'intervallo 2018 – 2023 – stazione Hera

Viene inoltre presentato graficamente il numero di superamenti della media giornaliera in riferimento al valore guida OMS pari a 25 µg/m³ fino al 2020 e a 15 µg/m³ dal 2021 (Figura 4.23b).

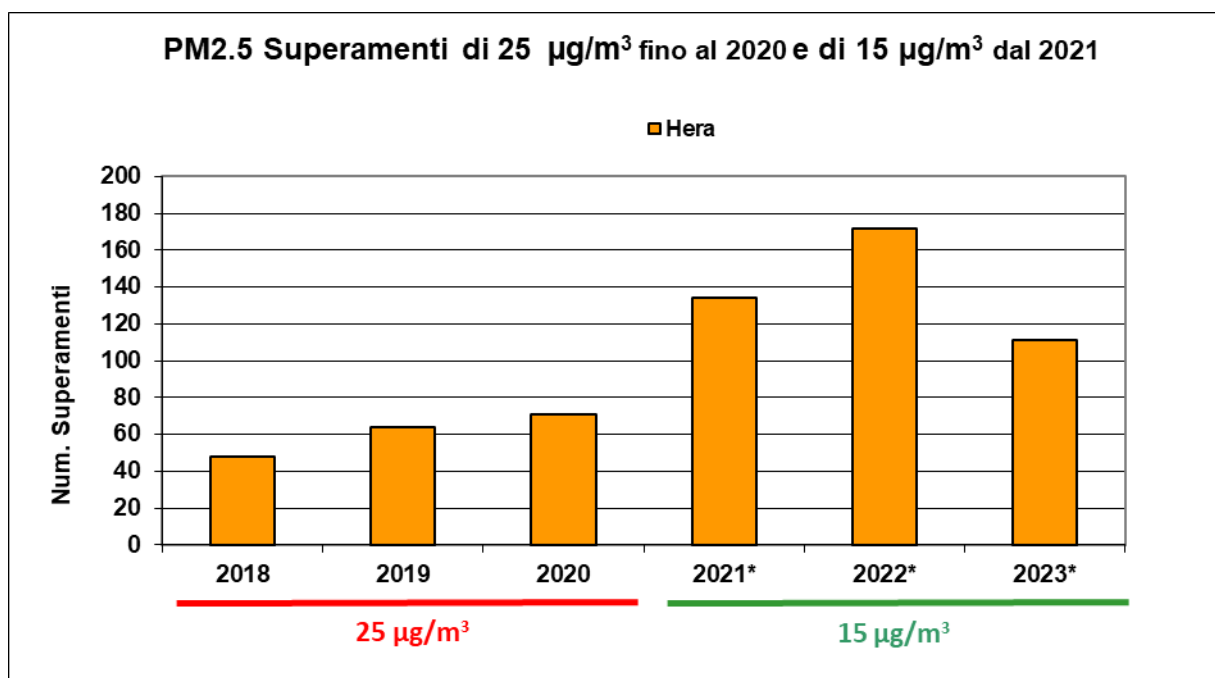


Figura 4.23b – PM2.5 - N° superamenti valore guida OMS della media giornaliera: 25 µg/m³ nell'intervallo 2018 – 2020 e 15 µg/m³ dal 2021 – stazione Hera

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.

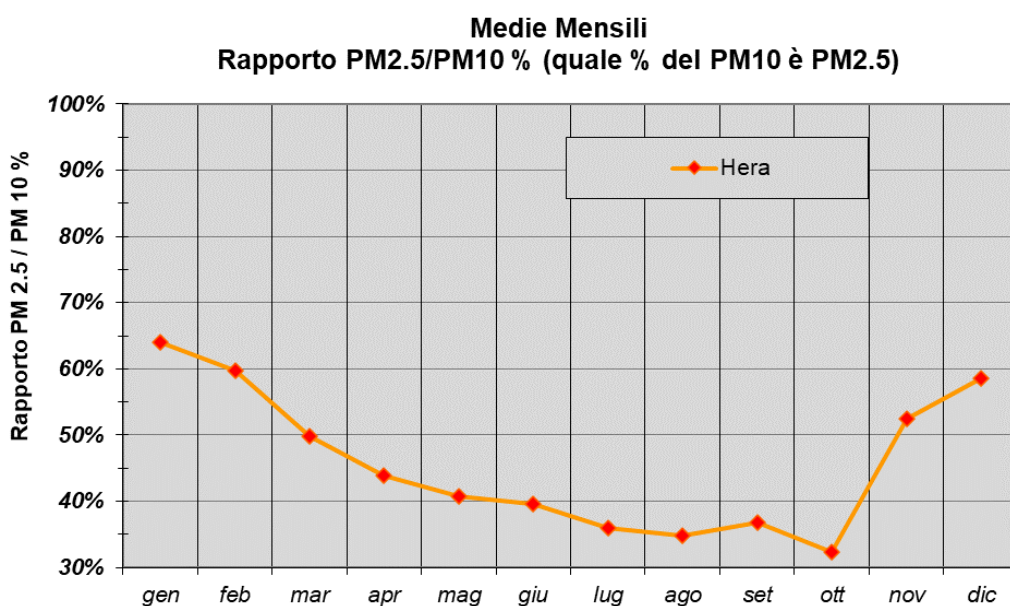


Figura 4.24 – Rapporto PM2.5/PM10: medie mensili 2023 – stazione Hera

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, 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 di precursori in atmosfera.

Infine, la Tabella 4.13 riporta alcuni parametri statistici relativi al PM2.5, calcolati a partire dal 2018.

Tabella 4.13 - Indici statistici per le concentrazioni giornaliere di PM2.5 registrate dal 2018 al 2023 (dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Hera

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Media annuale	15	17	17	16	18	14
50°Percentile	12	13	11	12	15	11
90°Percentile	31	36	38	32	34	28
95°Percentile	39	45	47	41	41	37
98°Percentile	44	52	58	52	49	44
Max giornaliero	64	72	93	80	63	59
Concentrazioni giornaliere maggiori di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2018-2020)	48	64	71	-	-	-
Concentrazioni giornaliere maggiori di 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2021-2023)	-	-	-	134	172	111
% dati validi	94	94	93	97	96	96

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 2023 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 24 giugno al 03 luglio. I filtri relativi alle giornate di inizio e fine fermo impianto (24 giugno e 03 luglio) sono stati esclusi dalle 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 le 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 2023)

<i>Periodo di campionamento</i>		<i>N° giorni</i>
I	01 gennaio – 31 gennaio	31
II	01 febbraio – 28 febbraio	28
III	01 marzo – 31 marzo	30
IV	01 aprile – 30 aprile	28
V	01 maggio – 31 maggio	31
VI	01 giugno – 23 giugno	23
VII (fermo impianto)	25 giugno – 02 luglio	8
VIII	04 luglio – 31 luglio	23
IX	01 agosto – 31 agosto	31
X	01 settembre – 30 settembre	28
XI	01 ottobre – 31 ottobre	31
XII	01 novembre – 30 novembre	30
XIII	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 2023 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 2023 e il valore obiettivo previsto dal D.Lgs. 155/10

<i>Benzo(a)pirene</i>	<i>Valore obiettivo</i>
	<i>1,0 ng/m³</i>
<i>Periodo di campionamento</i>	<i>Media annuale Benzo(a)pirene</i>
I	0,502
II	0,390
III	0,091
IV	0,062
V	0,010
VI	0,004
VII (F.I.)	0,184
VIII	<0,0001
IX	0,005
X	0,012
XI	0,023
XII	0,323
XIII	0,660
Media annuale	0,174

Le concentrazioni dell'ultimo quinquennio (2019-2023) 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 2023 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 2023 (ultima colonna)

IPA	I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	MEDIA 2023
	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	ng/m ³
Naftalene	0,0006	0,0009	0,0010	0,0007	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00027
Acenaftilene	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0007	<0,0001	0,00013
Acenaftene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00004
Fluorene	0,0033	0,0035	0,0033	0,0045	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	0,0056	0,0031	<0,0001	0,0047	0,0021	0,00233
Fenantrene	0,0834	0,0787	0,0221	0,0300	0,0125	0,0145	0,1837	<0,0001	0,0419	0,0434	0,0210	0,0662	0,0634	0,05083
Antracene	0,0059	0,0044	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0032	0,0024	0,00125
Fluorantene	0,2871	0,2731	0,0586	0,0761	0,0210	0,0137	0,0489	<0,0001	0,0225	0,0294	0,0159	0,1171	0,2162	0,09074
Pirene	0,2560	0,2438	0,0494	0,0630	0,0195	0,0135	0,0310	<0,0001	0,0137	0,0330	0,0193	0,1408	0,2338	0,08591
Benzo(a)antracene	0,4486	0,2659	0,0439	0,0469	0,0069	0,0076	<0,0002	<0,0001	0,0031	0,0120	0,0095	0,1772	0,2097	0,09473
Ciclopenta(c,d)pirene	0,0450	0,0380	0,0049	0,0118	0,0009	<0,0001	0,0139	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0905	0,01578
Crisene	0,4486	0,3459	0,0698	0,0722	0,0137	0,0089	0,2754	<0,0001	0,0078	0,0222	0,0211	0,2410	0,4195	0,14969
Benzo(b)+(j)fluorantene	1,3241	0,8504	0,2160	0,1586	0,0273	0,0156	0,2435	<0,0001	0,0096	0,0420	0,0628	0,6355	1,1585	0,36492
Benzo(k)fluorantene	0,3505	0,2464	0,0625	0,0465	0,0095	0,0045	0,2595	<0,0001	0,0049	0,0125	0,0180	0,1785	0,3096	0,11561
Benzo(e)pirene	0,6030	0,4025	0,1050	0,0748	0,0139	0,0079	<0,0002	<0,0001	0,0051	0,0252	0,0329	0,3053	0,5182	0,16107
Benzo(a)pirene	0,5020	0,3901	0,0910	0,0625	0,0099	0,0042	0,1839	<0,0001	0,0052	0,0124	0,0232	0,3229	0,6597	0,17439
Indeno(1,2,3,c,d,)pirene	1,1644	0,6560	0,1869	0,0988	0,0150	0,0070	0,2686	<0,0001	0,0053	0,0172	0,0348	0,3023	0,8524	0,27760
Dibenzo(ac)+(ah)antracene	0,1145	0,0634	0,0193	0,0127	<0,0001	<0,0001	0,2617	<0,0001	<0,0001	0,0028	<0,0001	0,0472	0,0799	0,04628
Benzo(g,h,i)perilene	0,8361	0,5175	0,1462	0,0910	0,0171	0,0105	0,3073	<0,0001	0,0059	0,0244	0,0402	0,3011	0,7015	0,23069
Dibenzo (a,i) pirene	0,0893	0,0239	0,0370	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0396	0,01463
Dibenzo(a,e)fluorantene	0,0260	0,0085	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00269
Dibenzo (a,e) pirene	0,1163	0,0533	0,0119	0,0081	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,0012	<0,0001	0,0188	0,0540	0,02029
Dibenzo (a,i) pirene	0,0286	<0,0001	0,0026	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0065	0,0222	0,00464
Dibenzo (a,h) pirene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0452	0,00352

In Figura 4.25 sono riportate le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene (in ng/m³) rilevate negli ultimi 5 anni. La media annuale del 2023 è più bassa rispetto a quelle rilevate negli anni 2019 e 2021. In generale, comunque, i valori sono in linea con quelli dell'anno precedente e sempre abbondantemente inferiori al limite normativo di 1,0 ng/m³.

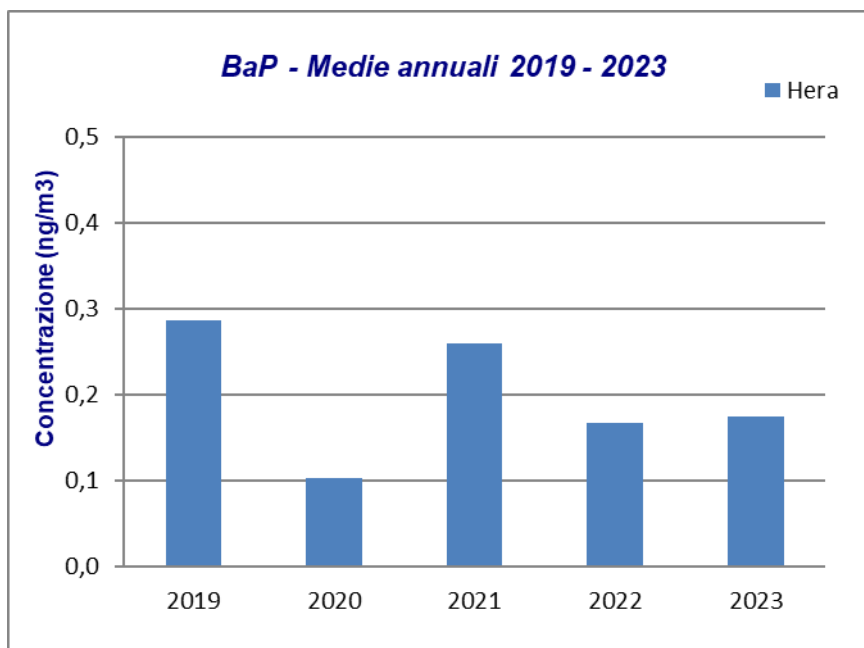


Figura 4.25 - Concentrazioni medie annuali BaP – anni 2019 – 2023 – stazione Hera

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.

Il fermo impianto, nonostante ricada in periodo estivo, mostra valori più elevati delle medie del periodo probabilmente a causa di fenomeni occasionali che possono avere influenzato le concentrazioni di IPA vista anche la breve durata del fermo.

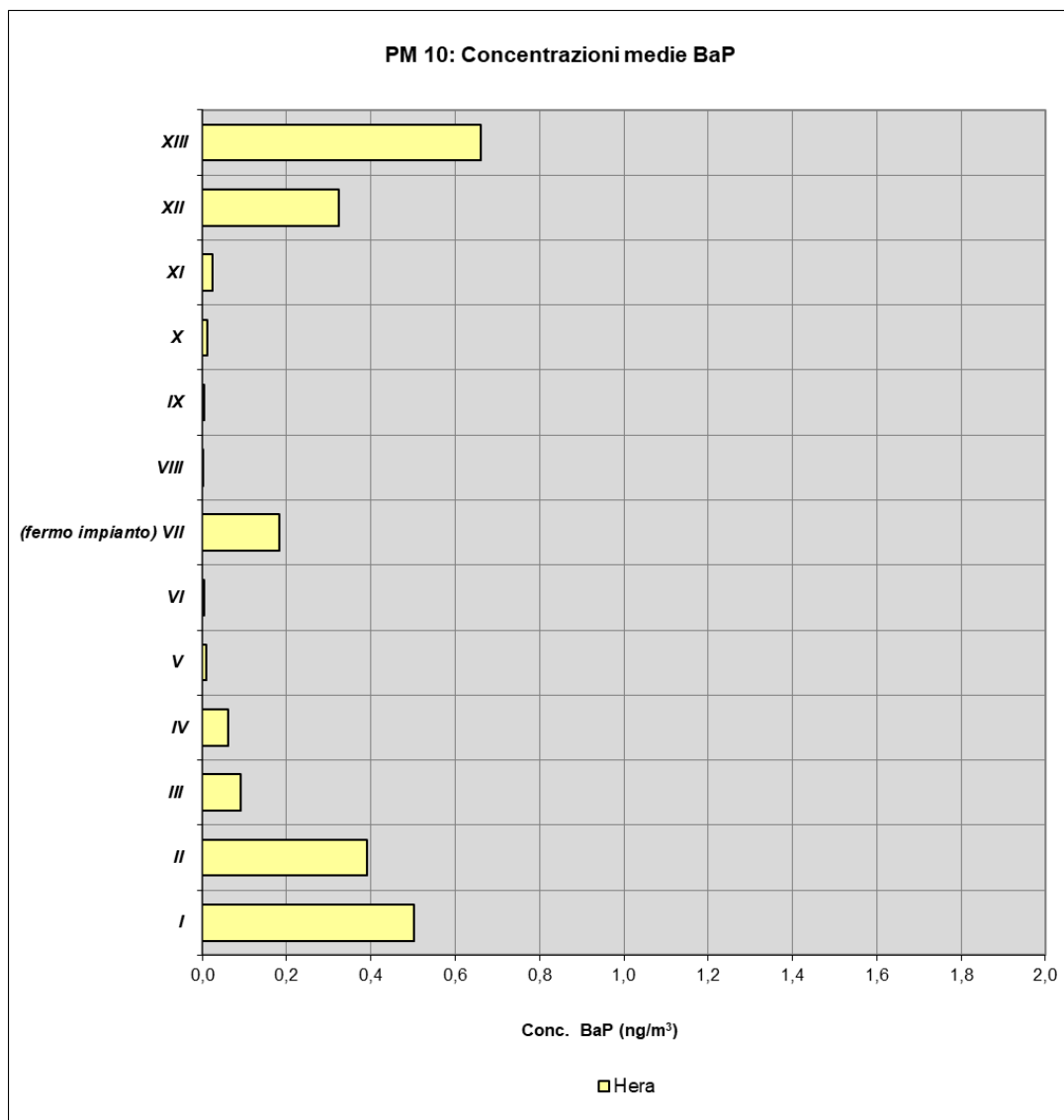


Figura 4.26 – Andamento temporale delle concentrazioni medie di BaP nel PM10 nel 2023 – stazione Hera

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) e l'indeno(1,2,3-cd)pirene, anch'esso classificato cancerogeno 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.

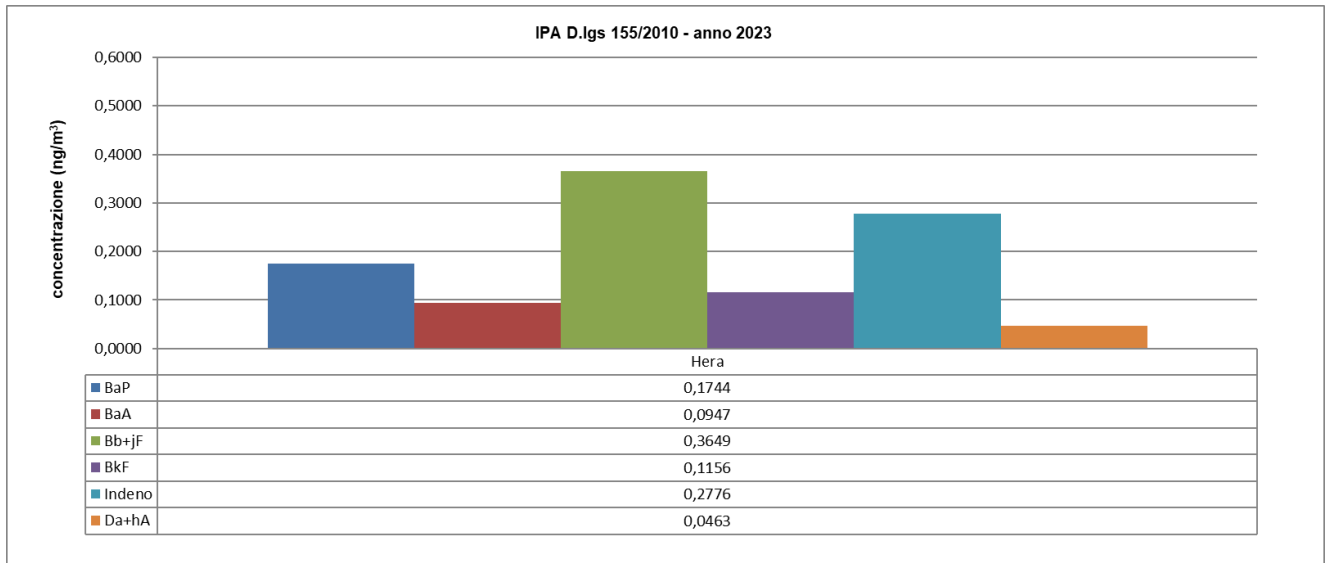


Figura 4.27 – Media annuale sul particolato PM10 (2023) degli IPA indicati dal D.Lgs. 155/2010 – stazione Hera

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 ⇒ 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 e Pb. Si riporta di seguito la tabella con i valori limite e obiettivo previsti dal D.Lgs. 155/2010 e gli esiti delle campagne svolte nel corso del 2023 (Tabella 4.17). 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 e Pb nel PM10 – Confronto fra l'elaborazione dei dati 2023 e i valori limite o obiettivo previsti dal D.Lgs. 155/10

Metalli <i>Concentrazione di inquinante nella frazione PM10</i>	Valore obiettivo			Valore limite
	<i>As</i> 6,0 ng/m ³	<i>Cd</i> 5,0 ng/m ³	<i>Ni</i> 20,0 ng/ m ³	<i>Pb</i> 0,5 µg/ m ³
Periodo				
I	0,45	0,15	7,60	0,005
II	0,58	0,17	5,74	0,005
III	<0,40	0,10	4,46	0,003
IV	<0,43	<0,09	1,79	0,002
V	<0,39	<0,08	<1,54	0,002
VI	<0,52	<0,10	2,36	0,002
VII (F.I.)	<0,25	<0,05	1,17	0,001
VIII	<0,57	<0,11	2,86	0,002
IX	<0,39	<0,08	<1,54	<0,001
X	0,44	0,10	7,72	0,003
XI	<0,39	0,11	2,86	0,003
XII	0,44	0,19	3,78	0,004
XIII	0,52	0,14	5,39	0,004
Media annuale	0,32	0,09	3,64	0,003

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 riportato la tendenza annuale in quanto gli anni precedenti le concentrazioni erano sempre risultate inferiori al LQ.

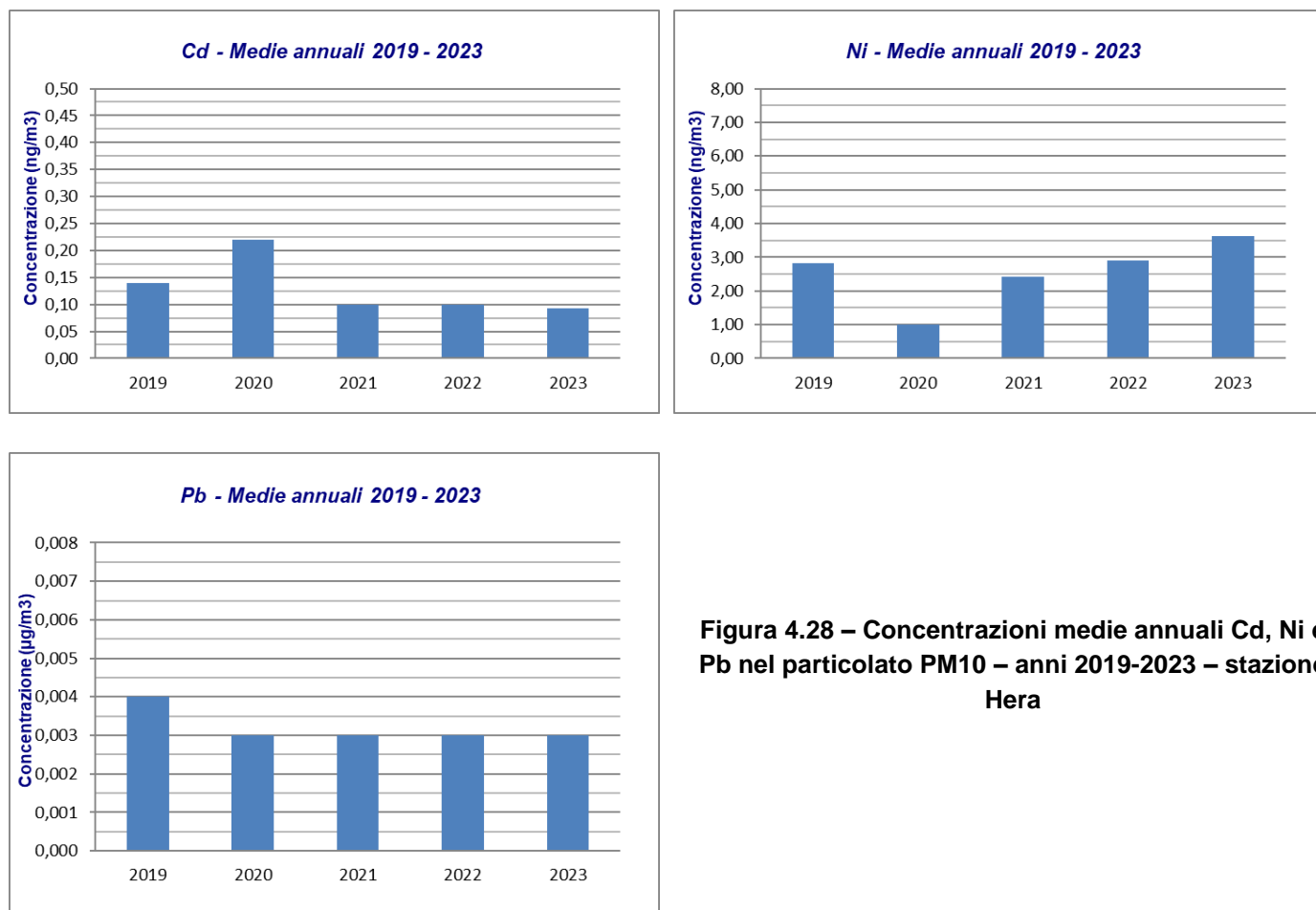


Figura 4.28 – Concentrazioni medie annuali Cd, Ni e Pb nel particolato PM10 – anni 2019-2023 – stazione Hera

Nella Figura 4.29 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie di campagna registrate nel 2023. Nel 2023 i valori obiettivo (per Arsenico, Cadmio e Nichel) e il valore limite (per il Piombo) previsti dalla normativa sono ampiamente rispettati.

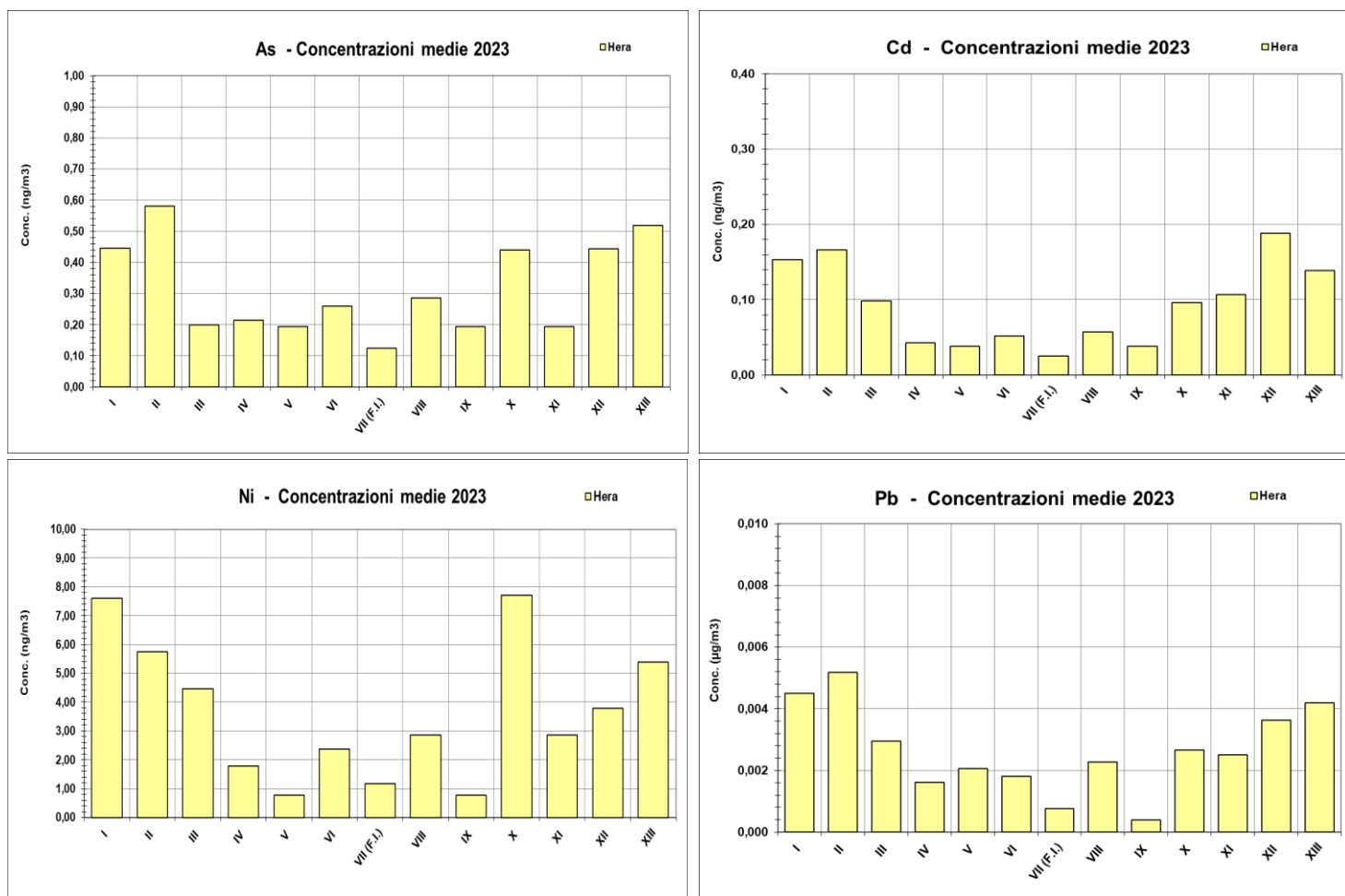


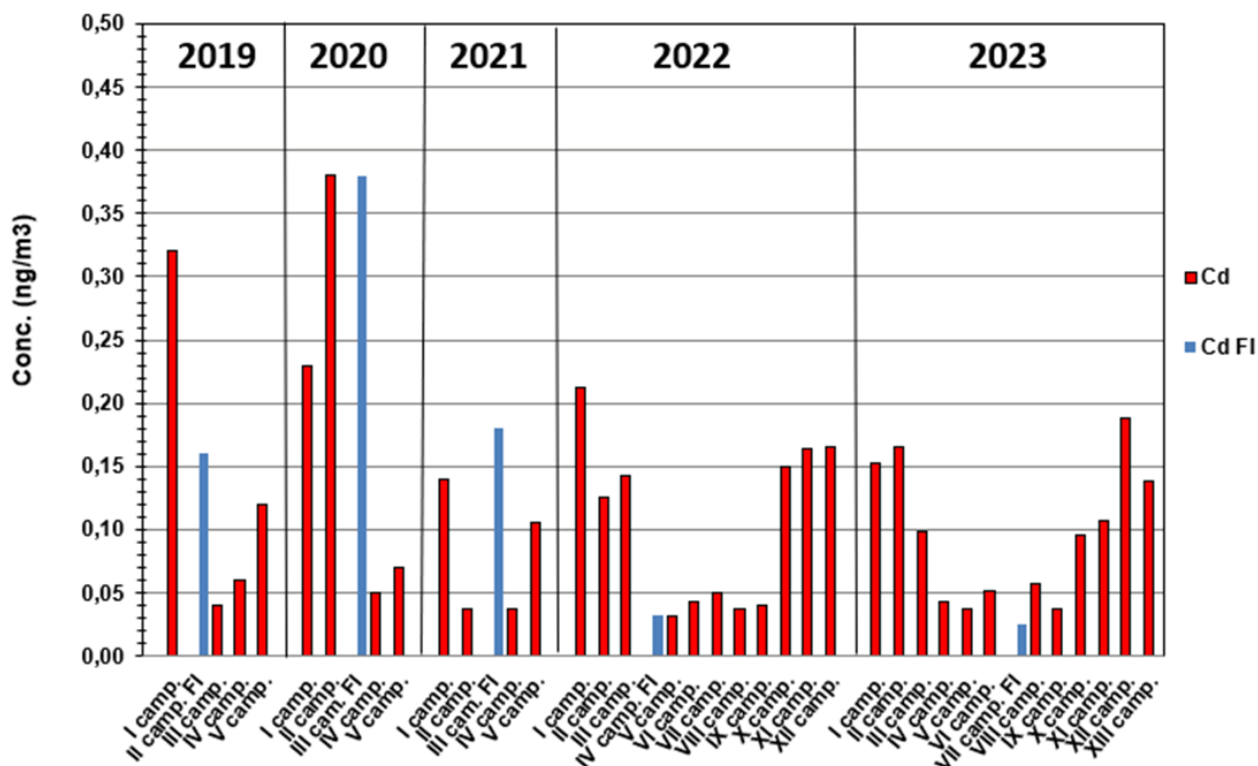
Figura 4.29 – Concentrazioni medie di campagna di As, Cd, Ni e Pb nel particolato PM10 – Anno 2023 – stazione Hera

Per tutti i metalli analizzati per l'anno 2023, le concentrazioni medie risultano inferiori ai limiti di legge e in linea o inferiori ai dati rilevati negli anni precedenti (2019-2023), fa eccezione il Nichel che nell'ultimo anno ha mostrato un incremento rispetto al 2022 confermando il trend in crescita dal 2020.

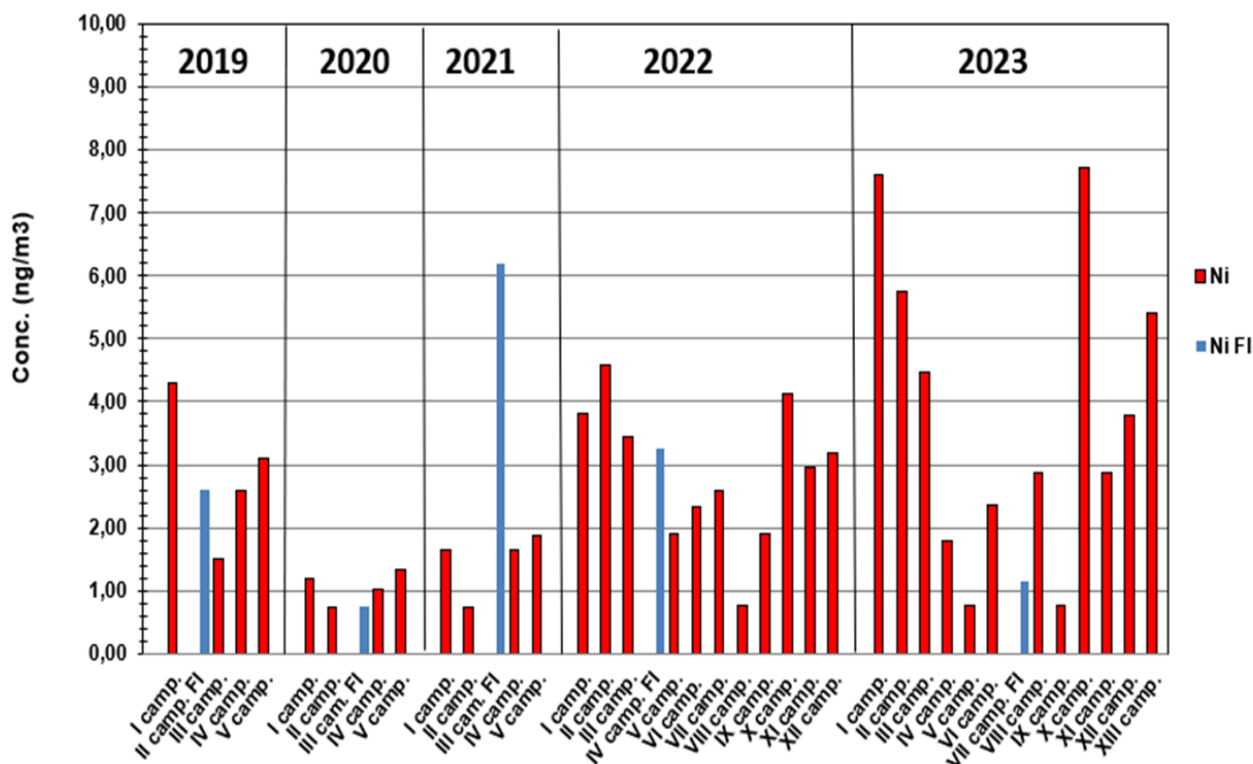
Rispetto ai riferimenti normativi non si riscontrano particolari criticità per questi inquinanti anche se, considerata la classificazione di alcuni di essi da parte dello IARC la valutazione dell'indicatore non può essere, in generale, positiva e suggerisce la continuazione di tale monitoraggio.

Seguono i grafici (Figura 4.30) delle concentrazioni medie di campagna dal 2019 al 2023 per Cd, Ni e Pb. Per l'As non viene riportato la tendenza annuale in quanto gli anni precedenti le concentrazioni erano sempre risultate inferiori al LQ. La campagna di fermo impianto è indicata con la sigla FI.

Cd - Concentrazioni medie di campagna dal 2019 al 2023



Ni - Concentrazioni medie di campagna dal 2019 al 2023



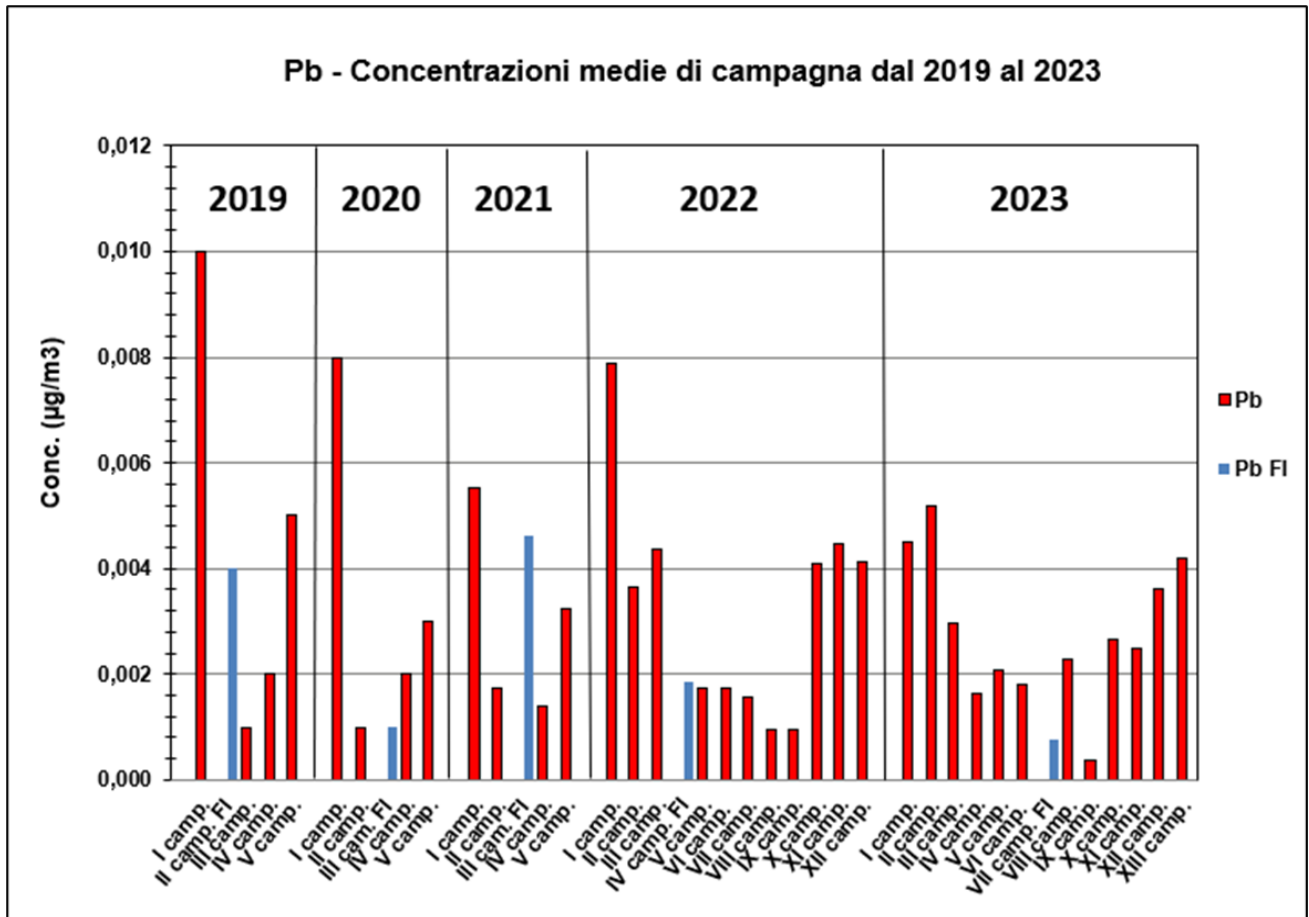


Figura 4.30 - Andamento delle concentrazioni medie di campagna di Cd, Ni e Pb dal 2019 al 2023 – stazione Hera

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 sommati quelli 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 di 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 di tossicità equivalente (TEF) proposti dalla classificazione internazionale (**I-TEF**), proposto nel 1988 dal Committee on the Challenges of Modern Society della NATO (CCMS)⁵ 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-DL⁶.

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	5x10 ⁻¹	1	4x10 ⁻¹	↓
1,2,3,4,7,8 HxCDD	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	9x10 ⁻²	↓
1,2,3,6,7,8 HxCDD	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	7x10 ⁻²	↓
1,2,3,7,8,9 HxCDD	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	5x10 ⁻²	↓
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	1x10 ⁻²	1x10 ⁻²	5x10 ⁻²	↑
OCDD	1x10 ⁻³	3x10 ⁻⁴	1x10 ⁻³	↑
Composto TCDF	I-TEF 1988	WHO-TEF 2005	WHO-TEF 2022	Variazione fattori (WHO-2005 vs WHO-2022)
2,3,7,8 TCDF	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	7x10 ⁻²	↓
1,2,3,7,8 PeCDF	5x10 ⁻²	3x10 ⁻²	1x10 ⁻²	↑
2,3,4,7,8 PeCDF	5x10 ⁻¹	3x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	↓
1,2,3,4,7,8 HxCDF	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	3x10 ⁻¹	↑
1,2,3,6,7,8 HxCDF	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	9x10 ⁻²	↓
1,2,3,7,8,9 HxCDF	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	2x10 ⁻¹	↑
2,3,4,6,7,8 HxCDF	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻¹	↔
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	1x10 ⁻²	1x10 ⁻²	2x10 ⁻²	↑
1,2,3,4,7,8,9 HpCDF	1x10 ⁻²	1x10 ⁻²	1x10 ⁻¹	↑
OCDF	1x10 ⁻³	3x10 ⁻⁴	2x10 ⁻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 un decimo (PCB 126 – WHO-TEF = 0,1) a 3x10⁻⁵.

⁵ 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.

⁶ 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 utilizzando i fattori WHO-TEF 2005.

Si precisa che il WHO-TEF 2022, non ancora adottato dalla normativa italiana, è riportato solo per completezza di informazione e in vista di un eventuale futuro utilizzo normativo.

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 2023 (ultima colonna)

<i>PCDD e PCDF</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	MEDIA 2023
	<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>	<i>fg/m³</i>
2,3,7,8 T4CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	0,64
1,2,3,7,8 P5CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	1,3	<0,8	<0,8	<0,8	0,70
1,2,3,4,7,8 H6CDD	3,2	<0,9	<0,8	<0,9	2,2	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	<0,8	<0,8	<0,8	0,98
1,2,3,6,7,8 H6CDD	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	0,9	30,2	<0,8	2,97
1,2,3,7,8,9 H6CDD	2,5	<0,9	<0,8	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	2,0	<0,8	23,6	<0,8	2,70
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	42,7	31,9	11,6	17,7	6,0	5,1	40,5	<1,2	5,8	6,9	7,3	156,6	31,6	28,01
O8CDD	79,9	53,4	19,2	39,0	11,6	14,1	59,9	<1,2	18,5	18,1	16,6	352,7	92,8	59,71
2,3,7,8 T4CDF	2,3	9,1	<0,8	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	<0,8	1,9	<0,8	1,57
1,2,3,7,8 P5CDF	3,3	8,8	1,0	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	<0,8	5,2	<0,8	1,92
2,3,4,7,8 P5CDF	6,8	10,4	2,5	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	1,7	<0,8	8,1	<0,8	2,74
1,2,3,4,7,8 H6CDF	6,5	11,1	3,3	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	1,5	2,7	5,5	10,2	3,54
1,2,3,6,7,8 H6CDF	6,6	7,2	5,0	3,2	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	2,9	2,6	2,8	6,6	7,7	3,77
2,3,4,6,7,8 H6CDF	8,7	9,6	3,1	4,2	5,8	1,7	<5,7	<1,2	3,9	<0,9	1,4	11,7	15,0	5,31
1,2,3,7,8,9 H6CDF	<0,8	3,4	1,9	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	<0,8	3,2	<0,8	1,19
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	22,8	24,6	12,1	12,7	6,8	<1,1	41,0	<1,2	9,1	13,6	12,4	39,8	35,3	17,80
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	<0,8	<0,9	<0,8	<0,9	<0,8	<1,1	<5,7	<1,2	<0,8	<0,9	<0,8	3,9	<0,8	0,90
O8CDF	14,5	12,0	6,6	4,2	4,0	4,2	73,5	<1,2	6,1	8,8	9,2	20,4	19,9	14,16

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 2023 (ultima colonna) espresse in I-TEQ fg/m³

<i>PCDD e PCDF</i>	<i>I-TEF</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	<i>MEDIA 2023</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>	<i>I-TEQ fg/m³</i>
2,3,7,8 T4CDD	1,000	0,411	0,455	0,425	0,455	0,411	0,554	2,845	0,607	0,411	0,455	0,411	0,425	0,411	0,637
1,2,3,7,8 P5CDD	0,500	0,206	0,228	0,212	0,228	0,206	0,277	1,422	0,303	0,206	0,650	0,206	0,212	0,206	0,351
1,2,3,4,7,8 H6CDD	0,100	0,317	0,046	0,042	0,046	0,217	0,055	0,284	0,061	0,041	0,046	0,041	0,042	0,041	0,098
1,2,3,6,7,8 H6CDD	0,100	0,041	0,046	0,042	0,046	0,041	0,055	0,284	0,061	0,041	0,046	0,094	3,023	0,041	0,297
1,2,3,7,8,9 H6CDD	0,100	0,252	0,046	0,042	0,046	0,041	0,055	0,284	0,061	0,041	0,195	0,041	2,361	0,041	0,270
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	0,010	0,427	0,319	0,116	0,177	0,060	0,051	0,405	0,006	0,058	0,069	0,073	1,566	0,316	0,280
O8CDD	0,001	0,080	0,053	0,019	0,039	0,012	0,014	0,060	0,001	0,018	0,018	0,017	0,353	0,093	0,060
2,3,7,8 T4CDF	0,100	0,235	0,910	0,042	0,046	0,041	0,055	0,284	0,061	0,041	0,046	0,041	0,194	0,041	0,157
1,2,3,7,8 P5CDF	0,050	0,167	0,442	0,049	0,023	0,021	0,028	0,142	0,030	0,021	0,023	0,021	0,261	0,021	0,096
2,3,4,7,8 P5CDF	0,500	3,376	5,201	1,274	0,228	0,206	0,277	1,422	0,303	0,206	0,845	0,206	4,067	0,206	1,370
1,2,3,4,7,8 H6CDF	0,100	0,646	1,112	0,328	0,046	0,041	0,055	0,284	0,061	0,041	0,150	0,270	0,546	1,016	0,354
1,2,3,6,7,8 H6CDF	0,100	0,664	0,715	0,497	0,319	0,041	0,055	0,284	0,061	0,288	0,260	0,282	0,662	0,770	0,377
2,3,4,6,7,8 H6CDF	0,100	0,875	0,956	0,309	0,423	0,581	0,174	0,284	0,061	0,388	0,046	0,141	1,165	1,498	0,531
1,2,3,7,8,9 H6CDF	0,100	0,041	0,345	0,194	0,046	0,041	0,055	0,284	0,061	0,041	0,046	0,041	0,316	0,041	0,119
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	0,010	0,228	0,246	0,121	0,127	0,068	0,006	0,410	0,006	0,091	0,136	0,124	0,398	0,353	0,178
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	0,010	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,006	0,028	0,006	0,004	0,005	0,004	0,039	0,004	0,009
O8CDF	0,001	0,015	0,012	0,007	0,004	0,004	0,004	0,074	0,001	0,006	0,009	0,009	0,020	0,020	0,014
SOMMA		7,984	11,135	3,725	2,298	2,035	1,778	9,085	1,749	1,942	3,041	2,022	15,651	5,119	5,197

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 (media annuale Σ) 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.

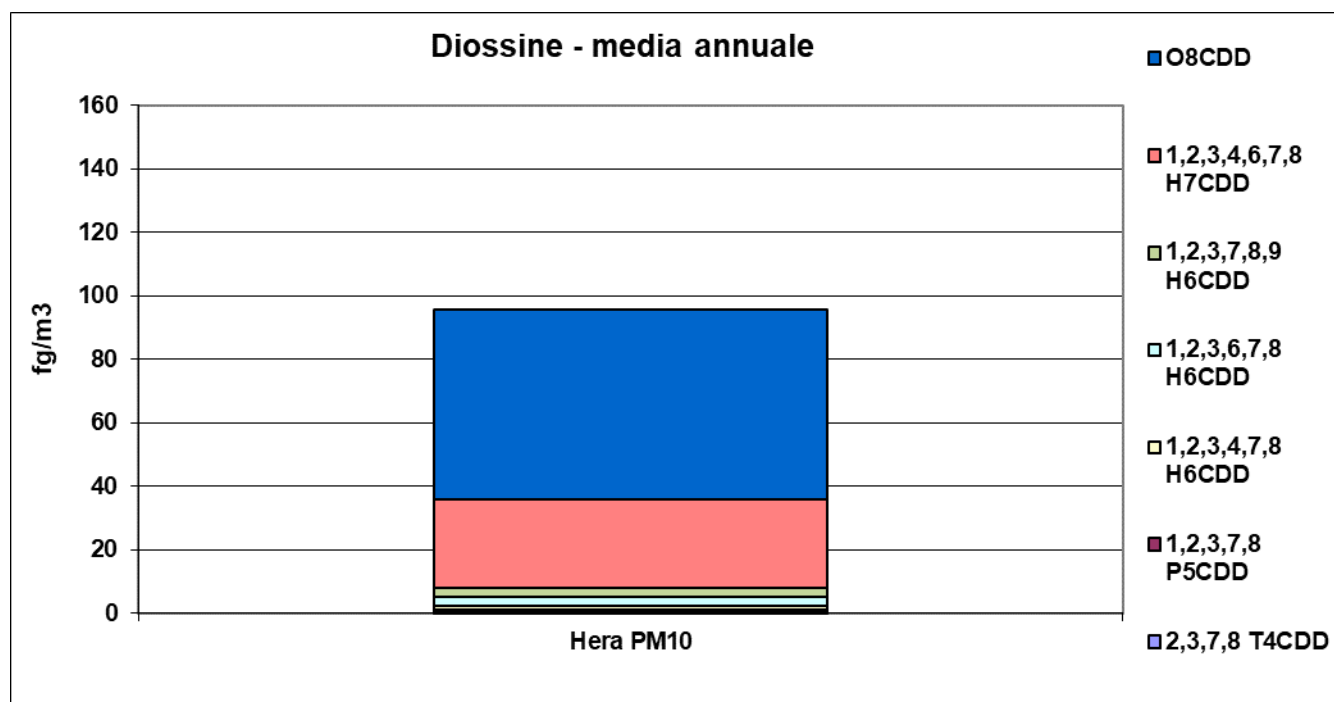


Figura 4.31 – Concentrazioni medie annuali di diossine nel particolato – Anno 2023 – stazione Hera

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

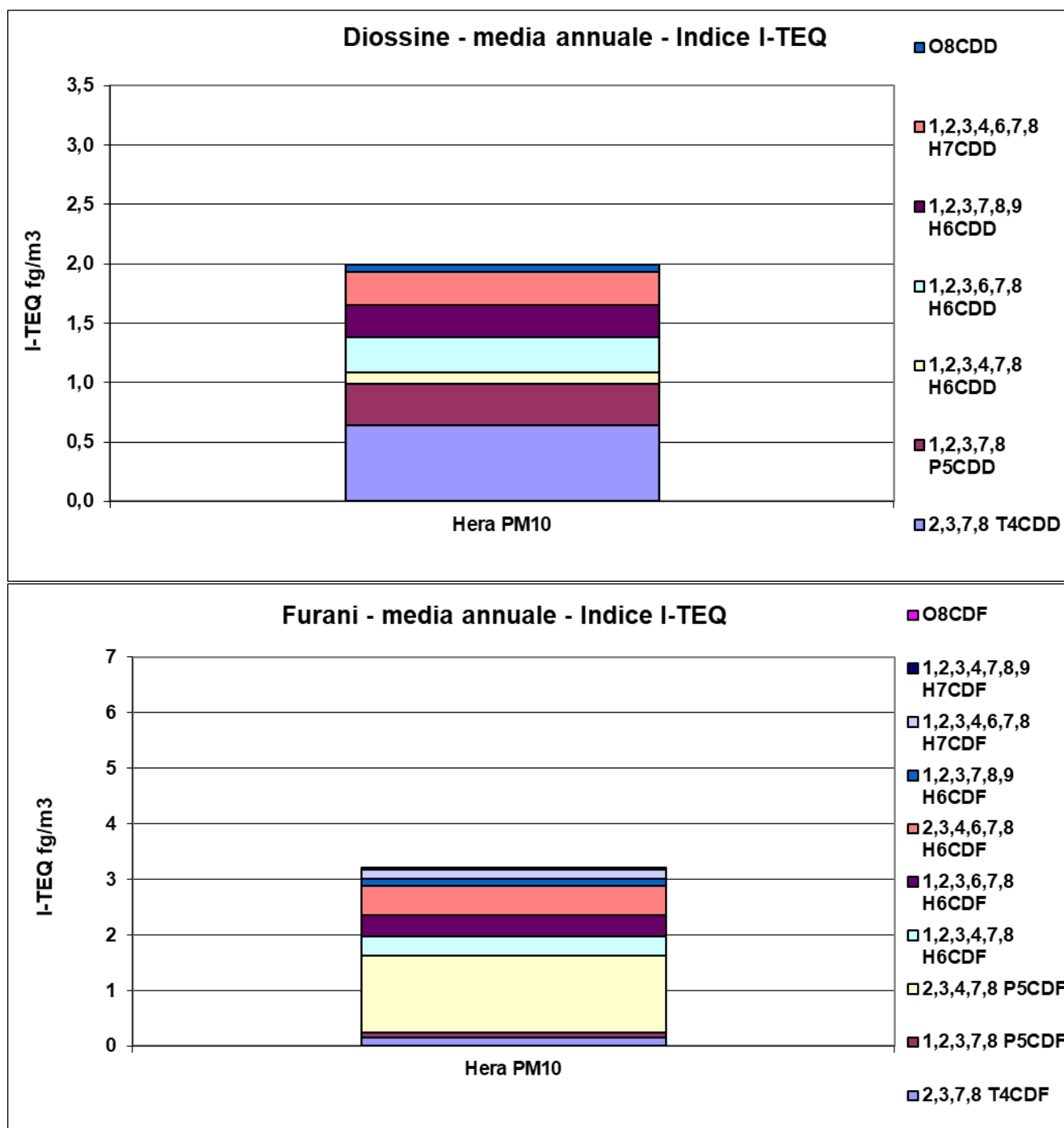


Figura 4.32 – PCDD e PCDF medie annuali 2023 considerando gli I – TEF dei congeneri ricercati – Anno 2023 – stazione Hera

In Figura 4.33a e 4.33b sono riportate le concentrazioni medie di campagna di PCDD e PCDF dal 2019 al 2023, espresse in termini di tossicità equivalente I-TEQ.

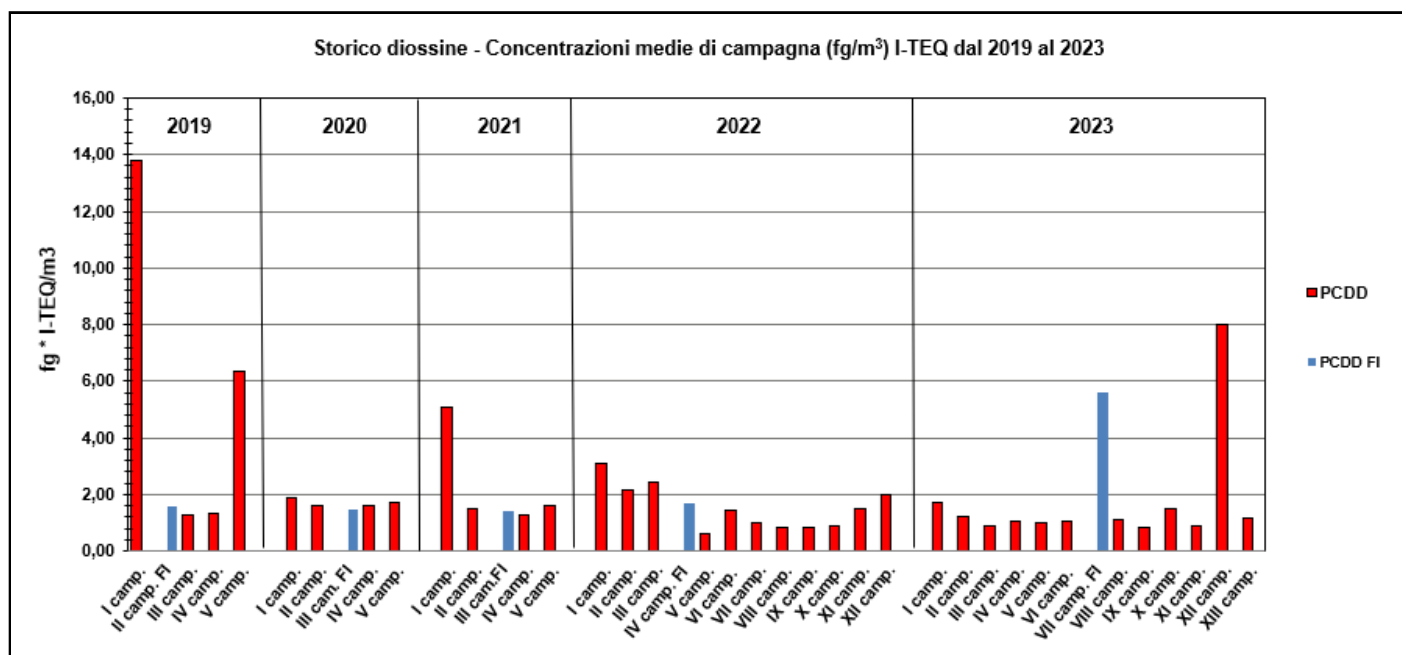


Figura 4.33a – Trend medie annuali per PCDD – stazione Hera

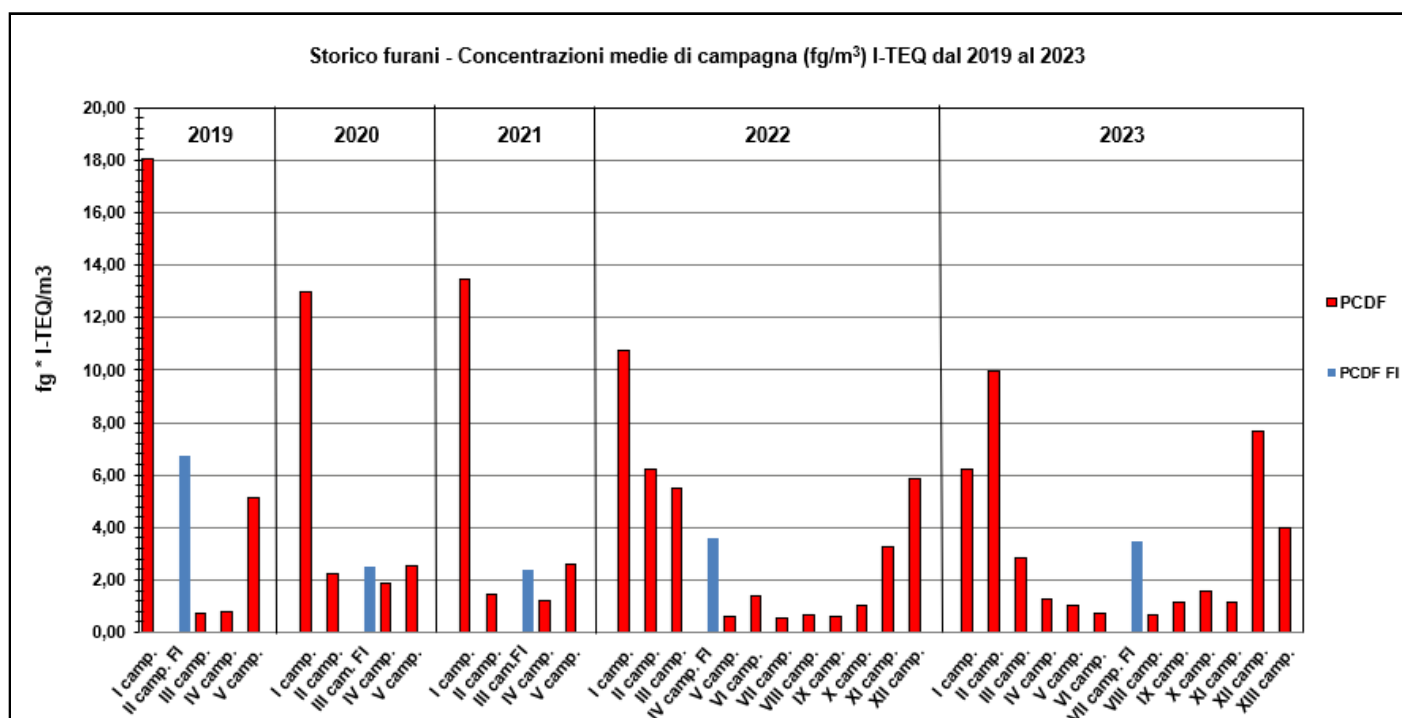


Figura 4.33b - Trend medie annuali per PCDF – stazione Hera

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 2023 (ultima colonna)

<i>PCB e PCB Dioxin Like</i>	WHO-TEF	I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	MEDIA 2023
		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	pg/m ³
#31 + #28	/	0,05	0,74	0,11	0,12	0,07	0,07	0,32	0,03	0,06	0,12	0,02	0,04	0,04	0,14
#52	/	<0,02	0,19	0,05	0,06	0,05	0,05	0,20	0,03	0,02	0,17	<0,02	0,03	0,03	0,07
#95	/	0,04	0,29	0,12	0,12	0,06	0,06	0,30	0,05	0,07	0,18	0,02	0,05	0,08	0,11
#101	/	0,07	0,40	0,2	0,21	0,09	0,09	0,41	0,06	0,06	0,23	0,05	0,08	0,09	0,16
#99	/	0,02	0,12	0,04	0,07	0,04	0,03	0,09	<0,03	0,02	0,08	0,02	0,04	0,06	0,05
#110	/	0,10	0,38	0,18	0,23	0,11	0,09	0,36	0,07	0,08	0,21	0,08	0,13	0,15	0,17
#151	/	0,02	0,09	0,07	0,08	0,03	0,03	0,16	<0,03	0,02	0,06	<0,02	0,03	0,04	0,05
#149	/	0,09	0,38	0,31	0,28	0,12	0,09	0,52	0,10	0,08	0,22	0,06	0,12	0,12	0,19
#146	/	0,02	0,06	0,05	0,06	<0,02	0,03	<0,07	<0,03	0,02	0,03	<0,02	0,02	0,02	0,03
#153 + #168	/	0,14	0,49	0,42	0,42	0,15	0,17	0,57	0,11	0,14	0,27	0,11	0,16	0,21	0,26
#138	/	0,22	0,64	0,36	0,39	0,12	0,17	0,61	0,10	0,19	0,29	0,10	0,16	0,24	0,28
#187	/	0,06	0,12	0,1	0,08	0,04	0,04	0,11	<0,03	0,03	0,08	0,03	0,04	0,05	0,06
#183	/	0,02	0,08	0,06	0,07	0,02	0,03	<0,07	<0,03	<0,02	0,08	0,02	<0,02	0,03	0,04
#177	/	0,04	0,08	0,06	0,06	<0,02	0,03	0,16	<0,03	0,02	0,04	<0,02	0,02	0,03	0,04
#180 + #193	/	0,21	0,36	0,28	0,31	0,07	0,17	0,32	0,04	0,06	0,21	0,06	0,10	0,15	0,18
#170	/	0,08	0,25	0,17	0,25	0,05	0,08	0,20	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,09
#81	0,0003	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#77	0,0001	<0,02	0,03	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#123	0,00003	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#118	0,00003	0,18	0,60	0,27	0,32	0,16	0,13	0,27	0,16	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,16
#114	0,00005	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#105	0,00003	0,08	0,24	0,08	0,13	0,06	0,06	<0,07	0,05	0,15	0,1	0,07	0,14	0,18	0,11
#126	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#167 + #128	0,00003	<0,02	0,06	0,04	0,04	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
#156	0,00003	0,04	0,16	0,06	0,1	0,02	0,03	<0,07	<0,03	0,03	<0,02	<0,02	0,04	0,05	0,05
#157	0,00003	<0,02	0,04	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
#169	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
#189	0,00003	<0,02	<0,02	0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,07	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01

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 2023 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 2023 (ultima colonna) espresse in WHO-TEQ fg/m³

<i>PCB e PCB Dioxin Like</i>		I	II	III	IV	V	VI	VII (fermo impianto)	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	MEDIA 2023
	WHO-TEF	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³	WHO-TEQ fg/m ³
#81	0,0003	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0090	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0035
#77	0,0001	0,0010	0,0030	0,0010	0,0030	0,0010	0,0010	0,0030	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0015
#123	0,00003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004
#118	0,00003	0,0054	0,0180	0,0081	0,0096	0,0048	0,0039	0,0081	0,0048	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0049
#114	0,00005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0015	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006
#105	0,00003	0,0024	0,0072	0,0024	0,0039	0,0018	0,0018	0,0009	0,0015	0,0045	0,0030	0,0021	0,0042	0,0054	0,0032
#126	0,1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	3,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,1538
#167 + #128	0,00003	0,0003	0,0018	0,0012	0,0012	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006
#156	0,00003	0,0012	0,0048	0,0018	0,0030	0,0006	0,0009	0,0009	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0012	0,0015	0,0014
#157	0,00003	0,0003	0,0012	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005
#169	0,03	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,9000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3462
#189	0,00003	0,0003	0,0003	0,0006	0,0009	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004
SOMMA		1,3147	1,3401	1,3192	1,3269	1,3129	1,3123	3,9270	1,3123	1,3114	1,3093	1,3084	1,3114	1,3129	1,5168

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.

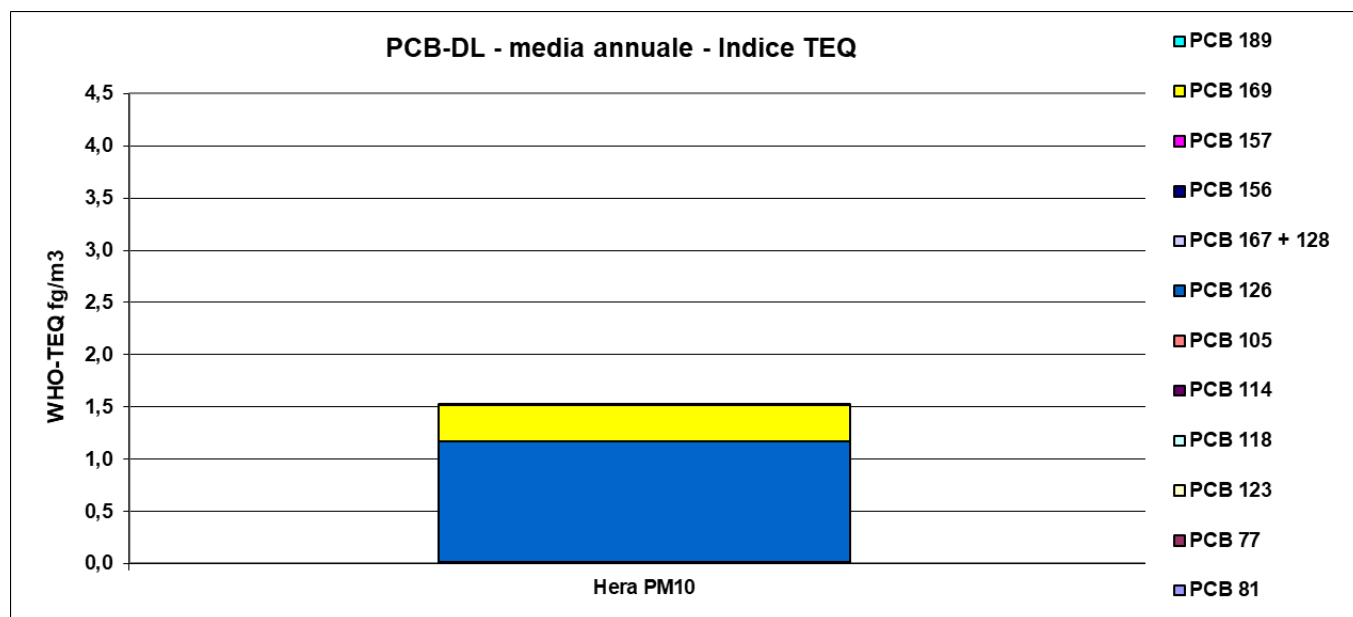


Figura 4.34 – PCB-DL medie annuali 2023 considerando i WHO-TEF dei congeneri ricercati – stazione Hera

In Figura 4.35 sono riportate le concentrazioni medie di campagna di PCB-DL dal 2019 al 2023, espresse in termini di tossicità equivalente WHO-TEQ.

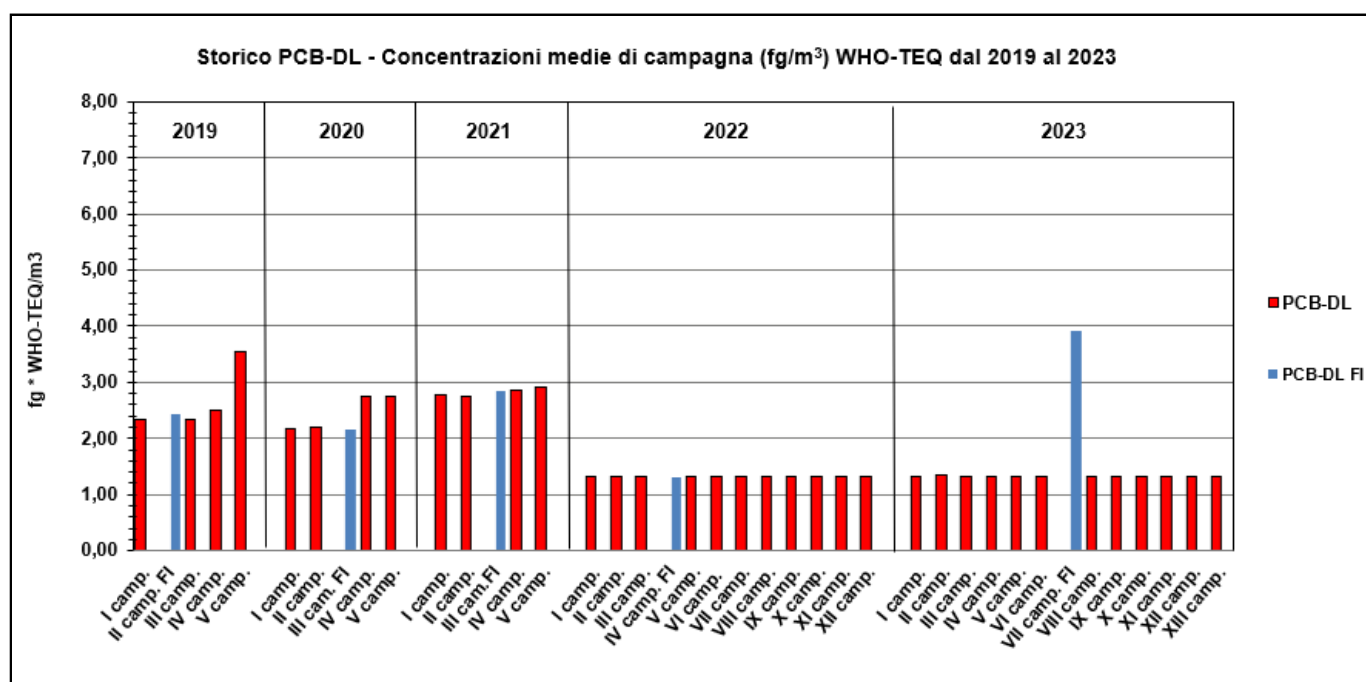


Figura 4.35 – Trend medie annuali per PCDB-DL – stazione Hera

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, foglie, 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 PCB⁷.

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).

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.

⁷ 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).

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 (<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 2023

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	1,7 - 4,3	1,4 - 37,2	2,5	10,9
Cd	0,1 - 0,6	0,2 - 0,5	0,4	0,3
Ni	3,4 - 12,4	4,9 - 13,9	7,2	8,7
As	0,1 - 0,5	0,2 - 0,5	0,2	0,2

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 alcuni metalli, 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⁾

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

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

Per tutti i metalli considerati i dati delle due postazioni risultano abbastanza simili tranne che per il Pb, il cui valore massimo, e di conseguenza anche il valore medio, in corrispondenza della cabina, sono risultati fortemente influenzati dai dati del terzo trimestre, quando il corrispondente campione conteneva un quantitativo di Pb circa 20 volte superiore all'analogo del depuratore. I flussi risultano comunque confrontabili con i range reperibili in bibliografia e ampiamente inferiori al limite previsto dalla normativa tedesca ($100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$).

Rispetto ai limiti proposti dalla normativa tedesca, i valori medi di Cadmio e Arsenico sono quasi un ordine di grandezza inferiori. Mentre per il Nichel il valore medio è attorno alla metà del valore limite tedesco.

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

Nelle tabelle seguenti (Tabella 4.26 ÷ 4.31) 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 2023.

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 2023.

IPA	Post. Depuratore (ng/m ² day)	Post. Cabina (ng/m ² day)	Stima Flusso max/anno (µg/m ² anno)
Benzo(a)pirene	3,13 – 15,05	2,07 – 15,83	5,78
Benzo(a)antracene	2,20 – 14,84	1,99 – 11,97	5,42
Benzo (b)+(j)fluorantene	5,54 – 47,61	3,55 – 43,46	17,38
Benzo(k)fuorantene	1,38 – 18,95	0,96 – 19,19	7,01
Indeno(1,2,3,cd)pirene	3,39 – 29,90	1,86 – 25,38	10,91
Dibenzo(ac+ah)antracene	<0,03 – 18,44	<0,03 – 19,52	7,13
IPA tot	120,62 – 457,32	65,90 – 416,82	166,92

Tabella 4.27 – Flussi giornalieri di IPA nelle due postazioni – anno 2023

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	0,53	<0,03	0,24	<0,03	0,47	<0,03	<0,03	0,66
Acenaftilene	<0,03	<0,03	0,45	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Acenaftene	<0,03	<0,03	10,76	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluorene	4,54	3,15	3,90	<0,03	4,35	2,19	0,34	3,92
Fenantrene	73,91	25,10	27,04	40,07	68,09	21,08	19,49	52,95
Antracene	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Fluorantene	102,97	17,48	16,44	45,80	96,05	15,89	8,70	35,49
Pirene	64,49	17,63	20,97	38,64	60,34	14,27	10,00	25,30
Benzo(a)antracene	14,20	14,84	2,20	9,53	11,96	11,96	1,99	5,35
Ciclopenta(c,d)pirene	1,63	1,68	<0,03	<0,03	1,63	1,23	<0,03	<0,03
Crisene	39,58	26,09	5,46	11,59	32,66	24,08	3,82	8,24
Benzo (b)+(j)fluorantene	47,61	20,81	5,54	14,40	43,46	21,29	3,55	9,27
Benzo(k)fuorantene	14,14	18,95	1,38	5,81	12,54	19,19	0,95	1,89
Benzo(e)pirene	20,26	4,20	6,66	9,85	20,21	6,00	5,49	6,70
Benzo(a)pirene	12,37	15,05	3,13	7,10	13,29	15,83	2,07	2,86
Indeno(1,2,3,cd)pirene	29,89	22,10	3,39	9,67	25,38	21,77	1,86	4,95
Dibenzo(ac+ah)antracene	3,54	18,44	0,58	<0,03	3,35	19,52	0,45	<0,03
Benzo(g,h,i)perilene	25,88	27,53	11,72	16,63	21,09	26,99	6,55	9,39
Dibenzo(a,l)pirene	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Dibenzo(a,e)fluorantene	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Dibenzo(a,e)pirene	1,66	<0,03	0,66	<0,03	1,85	<0,03	0,53	<0,03
Dibenzo(a,i)pirene	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Dibenzo(a,h)pirene	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
IPA totali	457,32	233,19	120,62	209,27	416,82	221,44	65,90	167,13

Tabella 4.28 – Flussi minimi e massimi giornalieri di PCB e flusso massimo annuale stimato – anno 2023.

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 totali	2,52 – 9,53	2,57 – 7,34	3,48	2,68

Tabella 4.29 – Flussi giornalieri di PCB nelle due postazioni– anno 2023

POLICLOROBIFENILI	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
#28	0,48	0,30	0,27	0,24	0,75	0,26	0,25	0,33
#52	0,17	0,19	0,21	0,18	0,23	0,18	0,23	0,24
#95	0,23	0,19	0,19	0,35	0,29	0,20	0,21	0,52
#101	0,28	0,23	0,32	0,45	0,34	0,26	0,32	0,63
#99	0,08	0,07	0,08	0,12	0,09	0,09	0,13	0,15
#110	0,23	0,23	0,29	0,41	0,28	0,26	0,32	0,54
#151	0,10	0,06	0,14	0,17	0,12	0,05	0,11	0,26
#149	0,32	0,19	0,61	0,52	0,33	0,20	0,42	0,72
#118	0,17	0,18	0,32	0,41	0,20	0,19	0,30	0,49
#146	0,06	0,04	0,15	0,09	0,05	0,03	0,07	0,12
#153	0,41	0,23	1,23	0,79	0,42	0,22	0,59	1,08
#105	0,06	0,07	0,11	0,15	0,06	0,08	0,12	0,16
#138	0,45	0,20	1,22	0,76	0,45	0,22	0,63	1,00
#187	0,12	0,06	0,74	0,15	0,14	0,06	0,26	0,19
#183	0,07	0,03	0,55	0,09	0,07	0,03	0,14	0,12
#177	0,08	0,02	0,44	0,09	0,08	0,02	0,11	0,12
#180	0,42	0,13	2,65	0,43	0,38	0,13	0,60	0,59
#170	0,19	0,07	0,02	0,06	0,14	0,07	0,02	0,06
PCB totali	3,93	2,52	9,53	5,45	4,41	2,57	4,84	7,34

Tabella 4.30 - Flussi minimi e massimi giornalieri di PCDD/F – anno 2023

PCDD/F	Post. Depuratore (pg I-TEQ/m ² day)	Post. Cabina (pg I-TEQ/m ² day)	Linee guida Germania (pg WHO-TEQ/m ² day)
PCDD/F	0,59 – 0,68	0,53 – 0,66	4

Tabella 4.31 – Flussi giornalieri di PCDD/F nelle due postazioni – anno 2023

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	<0,360	<0,390	<0,345	<0,372	<0,360	<0,390	<0,345	<0,372
1.2.3.7.8 P5CDD	<0,180	<0,195	<0,172	<0,186	<0,180	<0,195	<0,172	<0,186
1.2.3.4.7.8 H6CDD	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.6.7.8 H6CDD	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.7.8.9 H6CDD	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.4.6.7.8 H7CDD	0,042	0,021	0,024	<0,004	0,034	0,022	0,016	<0,004
OCDD	0,011	0,008	0,008	0,007	0,011	0,009	0,008	0,009
2.3.7.8 T4CDF	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.7.8 P5CDF	<0,018	<0,019	<0,017	<0,019	0,026	<0,019	<0,017	<0,019
2.3.4.7.8 P5CDF	<0,180	<0,195	0,186	<0,186	<0,180	<0,195	<0,172	<0,186
1.2.3.4.7.8 H6CDF	0,113	<0,039	<0,034	<0,037	0,039	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.6.7.8 H6CDF	<0,036	<0,039	<0,034	0,046	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037
2.3.4.6.7.8 H6CDF	<0,036	0,060	<0,034	<0,037	0,058	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.7.8.9 H6CDF	<0,036	0,048	<0,034	<0,037	<0,036	<0,039	<0,034	<0,037
1.2.3.4.6.7.8 H7CDF	<0,004	0,025	0,032	0,017	0,022	<0,004	0,012	<0,004
1.2.3.4.7.8.9 H7CDF	<0,004	<0,004	<0,003	0,004	<0,004	<0,004	<0,003	<0,004
OCDF	0,002	0,002	0,002	<0,0004	0,002	<0,0004	0,002	<0,0004
PCDD/F tot	0,667	0,683	0,659	0,588	0,662	0,591	0,531	0,545

Il calcolo dei flussi di deposizione consente, in mancanza di una normativa specifica, il confronto con i dati di bibliografia (Tabelle 4.32 per Benzo(a)pirene e 4.33 per Diossine e Furani). In particolare:

- Per gli IPA sono stati confrontati i valori minimi e massimi di flusso di deposizione di BaP in $\text{ng/m}^2 \cdot \text{day}$ con i valori reperiti in letteratura e riassunti nella relazione tecnica di Arpa Veneto 2020⁸ (Tabella 4.32).

Tabella 4.32 – Dati di letteratura su deposizioni di Benzo(a)pirene

Dati di letteratura del B(a)P in (ng/m^2 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 15 e 16 ng/m^2 giorno sono inferiori ai valori riportati per l'area urbana di Venezia (30 ng/m^2 giorno).

- Per Diossine e Furani vengono confrontati con il valore della linea guida tedesca (LAI 2004)⁹

I massimi flussi giornalieri di diossine e furani stimati, sia per la postazione della cabina che per il depuratore, sono risultati inferiori a 1 pg I-TEQ/m^2 giorno, dunque inferiori al valore indicato dalla linea guida tedesca, che prevede il valore di 4 pg WHO-TEQ/m^2 giorno a cui si deve sommare anche il contributo dei PCB DL.

Tabella 4.33– Valori deposizioni di diossine riscontrate in siti urbani e rurali in altre nazioni.

Paese	Deposizione atmosferica totale ($\text{pg I-TEQ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	
	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

⁸ Monitoraggio delle ricadute di microinquinanti organici e metalli in comune di Trebaseleghe – Anno 2020. Relazione tecnica.

⁹ Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz (Comitato di Stato per il controllo delle immissioni) LAI, Vom 21. September 2004.

5. CONCLUSIONI

Si riporta di seguito una descrizione sintetica dell'andamento dei principali inquinanti per l'anno 2023 in relazione al rispetto o meno dei limiti normativi

Biossido di Azoto NO₂

Nel 2023 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 2013 si delinea un trend in diminuzione della media annuale che sembra essersi stabilizzato negli ultimi anni. La concentrazione media misurata nel 2023 è solo di poco superiore a quella del 2022, ma inferiore a quelle degli anni precedenti.

Il valore della media annuale per il 2023 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 80 µg/m³ rispetto al limite normativo di 200 µg/m³

Il valore guida dell'OMS sulla media annua (10 µg/m³) non è tuttavia rispettato come nelle altre stazioni della RRQA, neanche in quelle di fondo sub-urbano e rurale che presentano valori più bassi rispetto alle stazioni urbane.

È importante mantenere alta l'attenzione su questo inquinante, sia perché l'NO_x è uno dei precursori del particolato secondario e dell'O₃, sia per le criticità ancora riscontrate a livello regionale, in particolar modo, nelle concentrazioni medie annuali.

Monossido di Carbonio CO

I valori di monossido di carbonio misurati presso la stazione di Hera mostrano una continua diminuzione nell'ultimo decennio 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 presenterà particolari criticità.

Il valore più alto della media oraria è pari a 1,7 mg/m³, inoltre il 73% dei dati disponibili è risultato minore o uguale al limite di quantificazione strumentale (0,4 mg/m³).

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 ng/m³) rientri nel range dei valori reperibili in bibliografia per le aree urbane, con un valore massimo della media oraria pari a 5,1 ng/m³. Le medie annuali degli ultimi 5 anni si sono mantenute pressoché costanti.

Particolato PM10

Nel 2023 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 µg/m³ da non superare più di 35 volte in un anno) è stato rispettato (32 superamenti).

I Valori guida dell'OMS (15 µg/m³ come media annuale e 45 µg/m³ come concentrazione massima sulle 24 ore) sono stati superati.

Analizzando il trend storico di questo inquinante possiamo affermare che la media annuale, già da diversi anni, si attesta su un valore compreso tra 25 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi al di sotto del limite di legge (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (ma che è quasi il doppio del valore guida dell'OMS). 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.

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 2023 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 dicembre a febbraio le concentrazioni sono maggiori di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mesi durante i quali il contributo di PM2,5 sul PM10 raggiunge anche il 60%.

Il valore guida dell'OMS, molto più restrittivo (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), come nelle altre cabine della RRQA di Forlì-Cesena, non è rispettato neanche presso la stazione di Hera, pertanto, considerata anche la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS, il PM2.5 resta un inquinante critico per il nostro territorio.