

Rapporto sulla qualità dell'aria

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

Anno 2021



Edizione Ottobre 2022

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

Gestione monitor e postazioni

Paolo Vittori
Silvia Sandrini
Gloria Maresi
Lidia Bressan

Elaborazione dati

Patrizia Luciali
Deborah Valbonetti
Paolo Vittori
Silvia Sandrini
Gloria Maresi

Redazione relazione

Patrizia Luciali
Francesca Liguori
Deborah Valbonetti
Silvia Sandrini
Gloria Maresi

Dal 2005 la Rete Regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RRQA) è certificata ISO 9001:2015 relativamente al processo di monitoraggio, acquisizione e validazione dati.

**SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ CERTIFICATO**



UNI EN ISO 9001:2015

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'OMS	4
2 – MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	6
2.1 Introduzione	6
2.2 Informazione e gestione dei dati della stazione locale di	7
3 – INDICATORI METEOROLOGICI PER LO STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL TERRITORIO DI FORLÌ	9
3.1 Indicatori meteorologici a supporto dello studio della qualità dell'aria	9
3.2 Andamento meteorologico del 2021	9
3.2.1 Temperatura	9
3.2.2 Precipitazioni	10
3.2.3 Intensità e direzione del vento	11
4 - VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	13
4.1 Biossido di Azoto NO ₂ e Ossidi di Azoto NO _x	14
4.2 Monossido di Carbonio CO	19
4.3 Mercurio Totale Gassoso (Hg)	22
4.4 Particolato PM10	26
4.5 Particolato PM2.5	30
4.6 MONITORAGGIO DISCONTINUO: MISURE INDICATIVE DI METALLI PESANTI E MICROINQUINANTI ORGANICI	35
4.6.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	35
4.6.2 Metalli	41
4.6.3 Microinquinanti organici: Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF) e Policlorobifenili (PCB) nel particolato PM10	46
4.6.3.1 Policlorodibenzodiossine (PCDD) – Policlorodibenzofurani (PCDF)	47
4.6.3.2 Policlorobifenili (PCB)	53

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" (Fig.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.

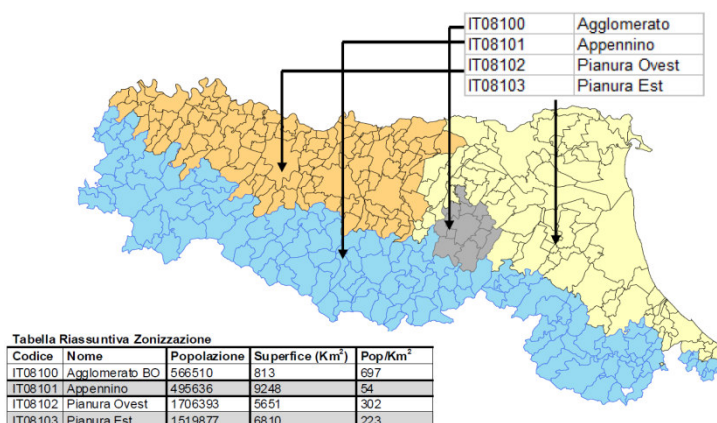


Figura 1.1 – Zonizzazione regionale (D.Lgs. 155/2010 e DGR 2001/2011)

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. 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 –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 1.2, dove sono evidenziati in grigio quelli richiamati dal D.Lgs. 155/2010.

Tabella 1.2 – 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 1.3 – 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)P ²	50%	90%	14% ⁴
As, Cd e Ni ³	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, 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

che riportano le concentrazioni di mercurio tipiche di alcune tipologie di aree (remote, urbane e siti critici).

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 1.4):

Tabella 1.4 - Valori guida della qualità dell'aria indicati dall'OMS

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

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

<i>Sostanza</i>	<i>Valore guida</i> OMS-AQG ⁽¹⁾ – valori guida 2021	<i>Tempo di mediazione</i>
NO ₂	10 µg/m ³	annuale
	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 1.5), 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 1.5 Indice di rischio unitario (OMS)

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

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.

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 discontinuo – campionamenti con strumentazione rilocabile – frequenza trimestrale e campagna aggiuntiva in occasione del fermo impianto annuale:
 - Metalli pesanti (Pb, Cd, Ni) sul particolato PM10
 - Microinquinanti organici (IPA, PCDD/PCDF, PCB e PCB-DL) sul particolato PM10.
- Campionamento manuale di suolo (frequenza biennale, ultimo campionamento 2020):
 - Metalli pesanti e microelementi (As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)
 - Microinquinanti organici (IPA, PCDD/PCDF, PCB e PCB-DL)

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 31/12/2021

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

Si riporta la scheda, con la documentazione fotografica e la localizzazione della stazione di monitoraggio Hera nella configurazione 2021.

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 2021 dalla centralina meteorologica installata presso la cabina Hera di via Barsanti nel Comune di Forlì.

3.2 - Andamento meteorologico del 2021

3.2.1 Temperatura

La temperatura media annuale registrata dalla centralina meteo posizionata presso la cabina Hera di via Barsanti nel corso del 2021 è stata pari a 15,2 °C, valori in linea con quelli climatici degli ultimi 30 anni (1991-2020), con un andamento annuale che ha evidenziato, in generale per i dati della Romagna, una lieve anomalia positiva nelle aree di pianura (+0,1°C) e negativa sui rilievi (-0,2°C) rispetto ai dati climatici dell'ultimo trentennio. Le anomalie più elevate si sono riscontrate nel mese di giugno (temperatura media Hera 25,3 °C) e nel mese di luglio (temperatura media Hera 26,7 °C), che confermano come l'estate 2021, nella pianura della Romagna, sia stata una tra le più calde degli ultimi anni con valori simili alle estati 2019, 2017, 2015 e 2012, anche se ancora lontana dai record dell'estate 2003.

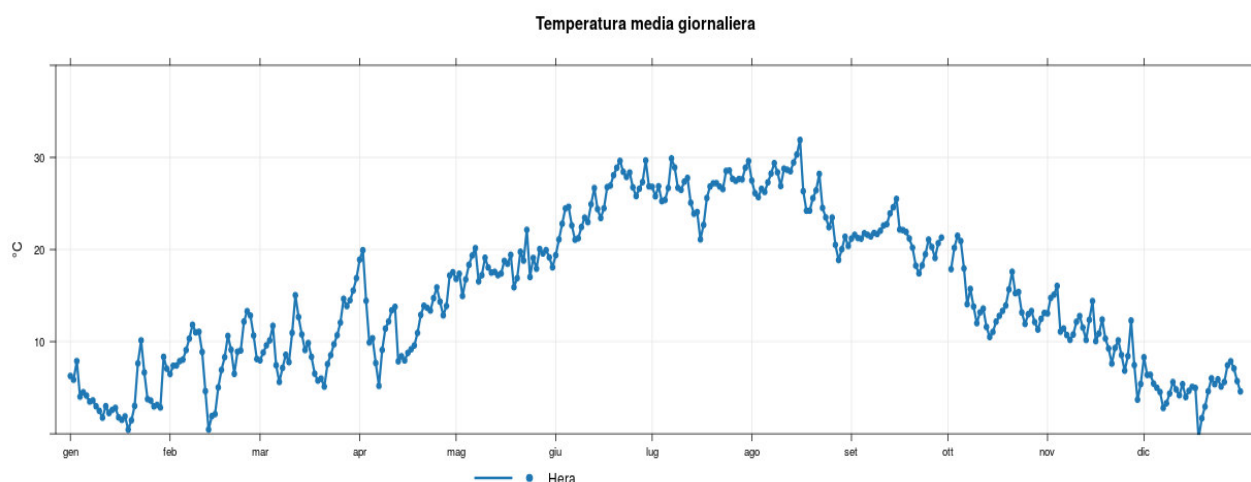


Figura 3.1: Temperatura media giornaliera presso la cabina Hera nel corso del 2021

3.2.2 Precipitazioni

Considerando l'area della Romagna (province di Forlì-Cesena, Rimini e Ravenna), l'anno 2021 è stato estremamente siccitoso: in pianura il meno piovoso dei precedenti 30 anni, sui rilievi più elevati tra i meno piovosi dal 1991, insieme al 2017, 2011 e 2007.

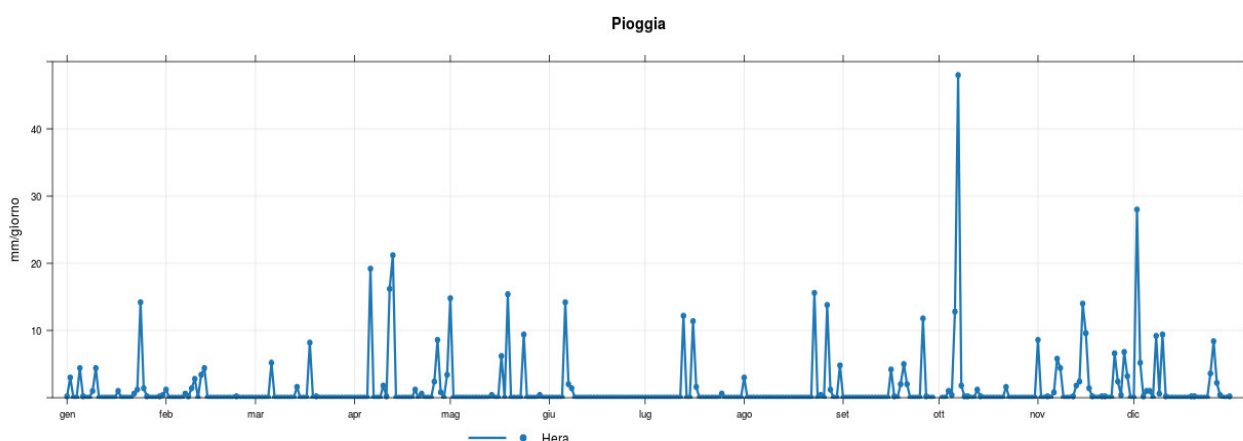
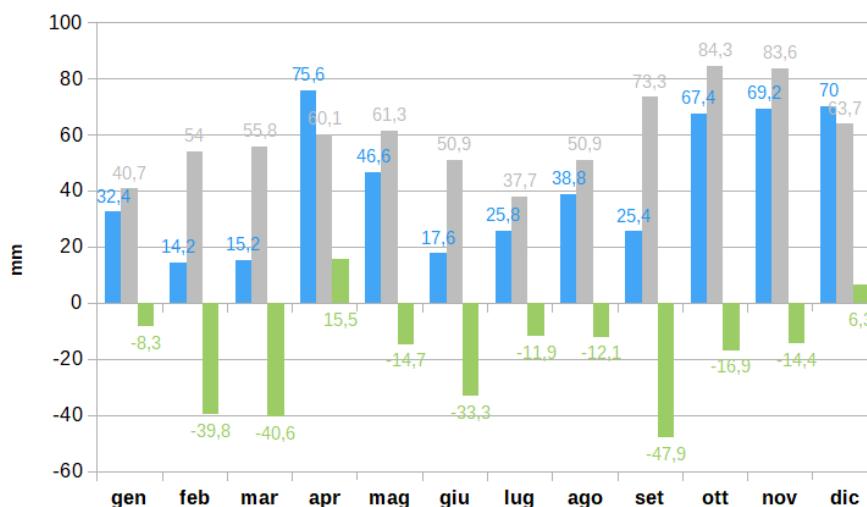


Figura 3.2: Dati giornalieri di pioggia registrati nel 2021 presso la cabina Hera

I dati relativi al 2021 sono stati confrontati con i valori climatici degli ultimi 30 anni (1991-2020) calcolati a partire dai valori giornalieri di precipitazioni e temperatura del dataset climatico "Eraclito" dell'Osservatorio Clima di Arpae.

La figura 3.3 riporta i totali mensili di precipitazioni registrati presso la cabina di Hera insieme ai valori climatici di riferimento e alle corrispondenti anomalie. Tutti i mesi del 2021, tranne i mesi di aprile e dicembre, hanno avuto precipitazioni inferiori alle medie 1991-2020.

I valori di precipitazioni cumulate mensili dei mesi di gennaio, febbraio e marzo 2021 (inverno 2020/21) sono stati sempre inferiori ai 50 mm, con deficit che nei mesi di febbraio e marzo hanno superato il 70%. Il mese di aprile è stato più piovoso della media climatica, mentre invece i mesi estivi hanno nuovamente fatto registrare deficit elevati, fino alla ripresa delle piogge nella stagione autunnale, quando tuttavia le precipitazioni cumulate sono rimaste inferiori alla media climatica. Dicembre 2021 infine è stato l'unico mese che ha avuto valori normali di precipitazioni in linea con le medie climatiche del trentennio 1991-2020.



3.3: Precipitazioni medie mensili, 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 3.4) e annuale (Figura 3.5), in termini di direzione ed intensità del vento di provenienza, relative alla stazione della rete Locale di Forlì Hera.

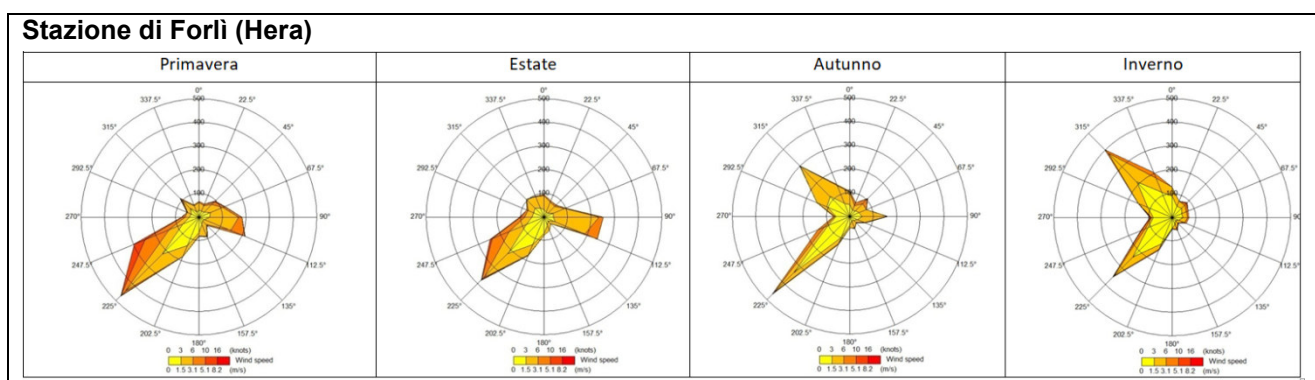


Figura 3.4: Rose dei venti stagionali della stazione di Forlì Hera – Anno 2021.

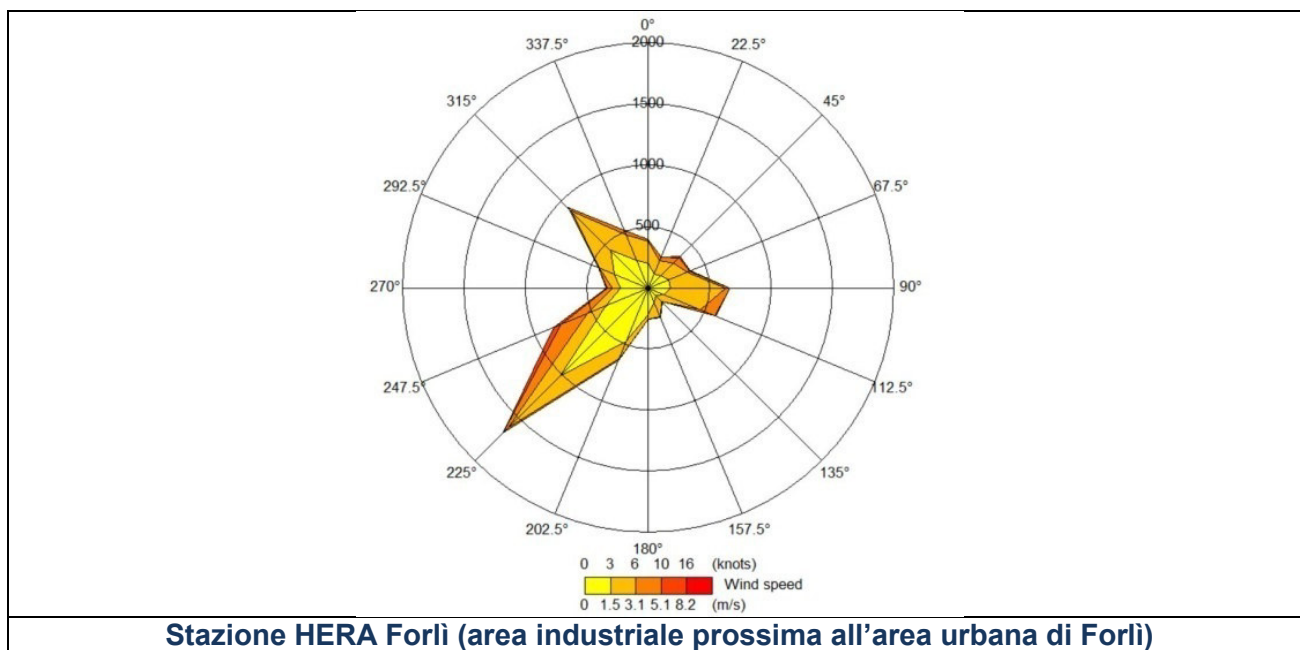


Figura 3.5: Rosa dei venti annuale della stazione di Forlì Hera – Anno 2021.

A Forlì su base annuale si evidenziano tre direzioni principali, SO, NO ed Est, con velocità maggiori da SO. In primavera si evidenzia una componente da Est che si rafforza in estate e scompare quella da NO. 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 e i superamenti dei limiti normativi che si sono verificati nel 2021 nella centralina Hera. Le concentrazioni inferiori ai rispettivi limiti di quantificazione (L.Q.) vengono poste, cautelativamente, pari alla metà del L.Q. e le medie sono calcolate solo se disponibili almeno il 75% dei dati teorici.

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

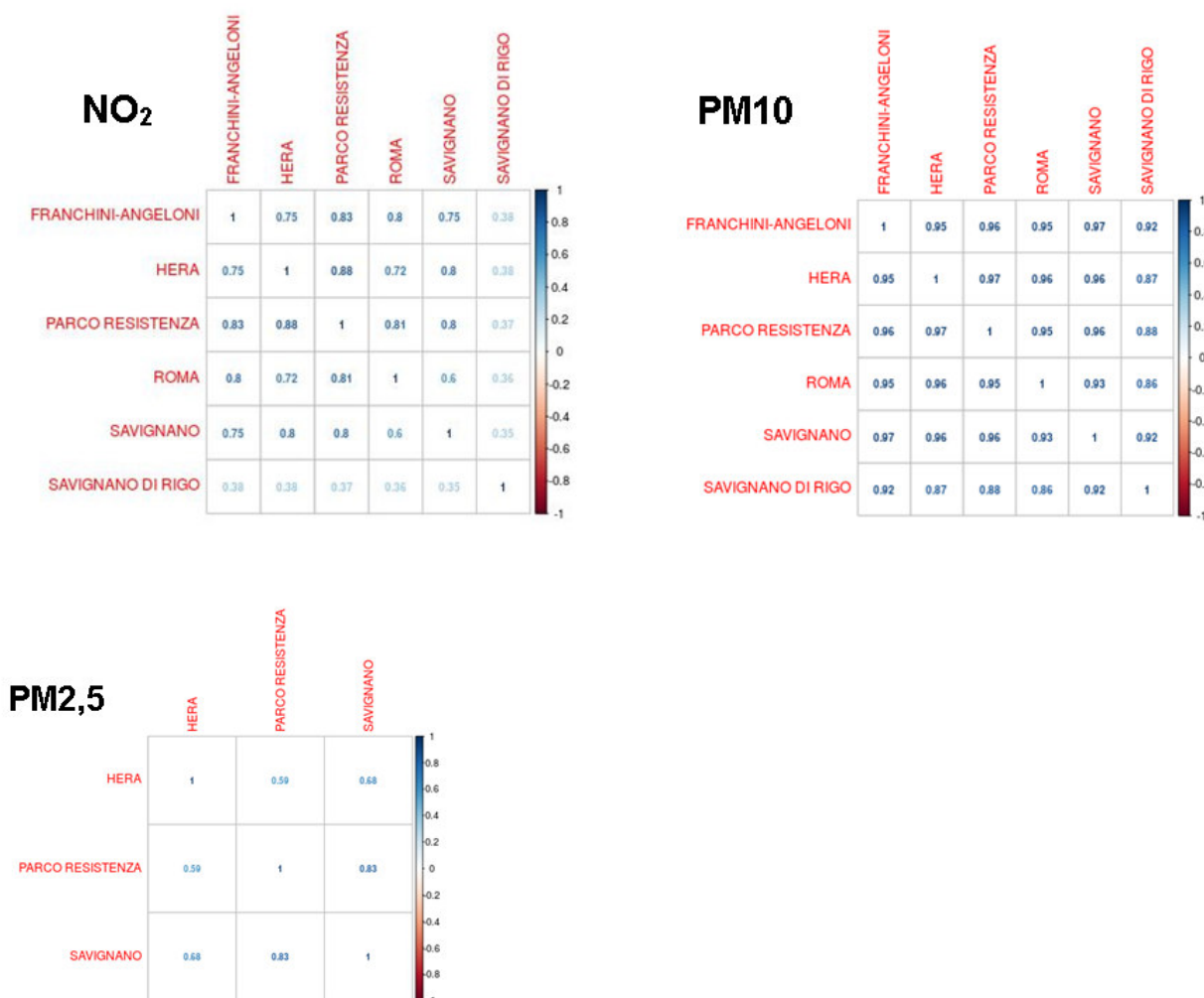
I periodi di mediazione delle concentrazioni rilevate sono quelli dei limiti normativi: nel caso del particolato PM10 e PM2.5 le concentrazioni sono espresse come medie giornaliere e media annuale, per il biossido di azoto come media oraria e media annuale e per il monossido di carbonio come media sulle 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 2021;
- il confronto delle elaborazioni dei dati del 2021 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 2021, 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 Pearson di correlazione dei dati misurati in corrispondenza della stazione Hera con le stazioni della RRQA (Tab. 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 e PM10 è con la stazione della RRQA "Parco Resistenza", mentre per il PM2.5 è con la stazione "Savignano".

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 rispettato dal 2012.

Tabella 4.3 – NO₂: Parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

NO₂ [L.Q. = 8 µg/m³]				Concentrazioni in µg/m³		Limiti Normativi		Valori guida OMS	Valori guida OMS
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	40 µg/m³	Max 18	200 µg/m³	10 µg/m³
						Media anno	N° Sup. 200 µg/m³ h	Max orario	Media annua
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	< 8	74	17	0	74	17

Nella Figura 4.1 sono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere del 2021 per la stazione Locale Hera.

In Figura 4.2 vengono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere misurate durante il periodo del fermo impianto nella stazione Locale Hera e nella stazione meglio correlata tra quelle della RRQA della provincia di Forlì-Cesena (Parco Resistenza - Pearson=+0,88).

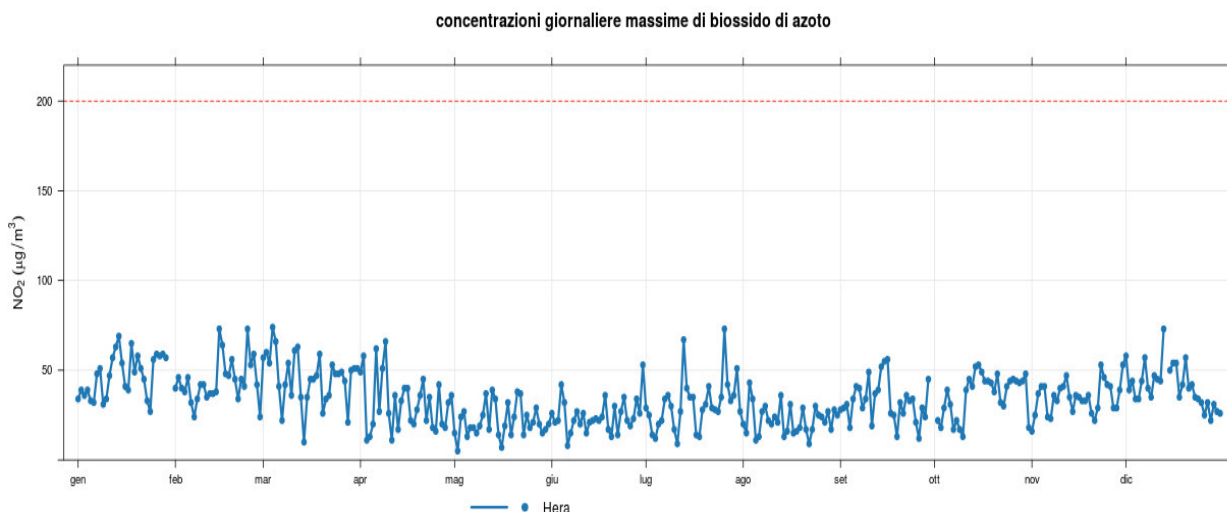


Figura 4.1 – NO₂ - Concentrazioni orarie (µg/m³) massime giornaliere – Anno 2021

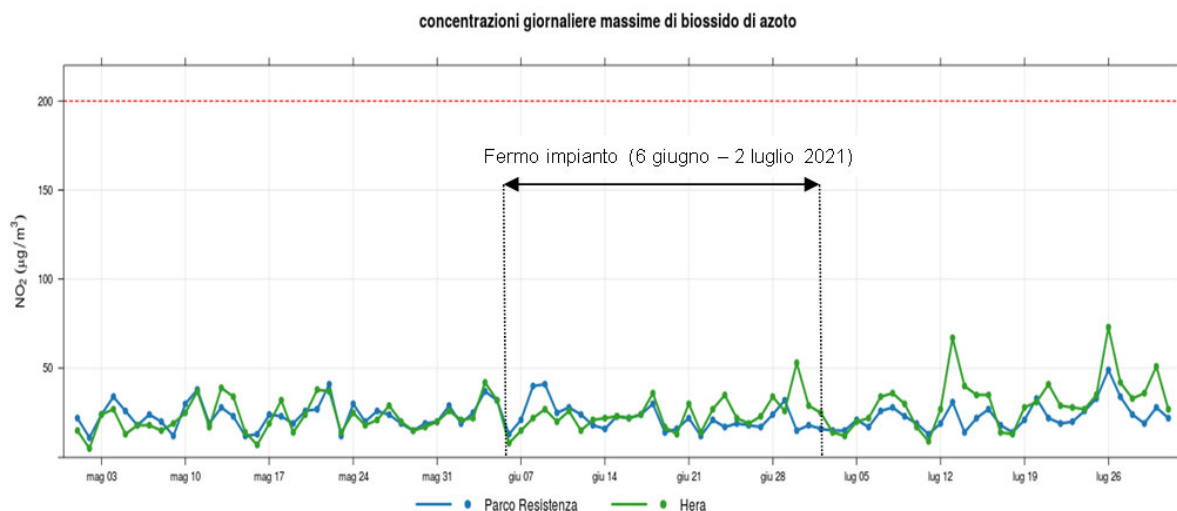


Figura 4.2 – NO₂ - Concentrazioni orarie (µg/m³) massime giornaliere durante il fermo impianto ad HERA e a Parco Resistenza

I limiti di lungo (media annuale) e di breve periodo (massimo della media oraria) del biossido di azoto nell'anno 2021 sono stati rispettati.

Nel grafico di Figura 4.3 sono rappresentate le concentrazioni medie annue di NO₂ confrontate con il valore limite (linea viola).

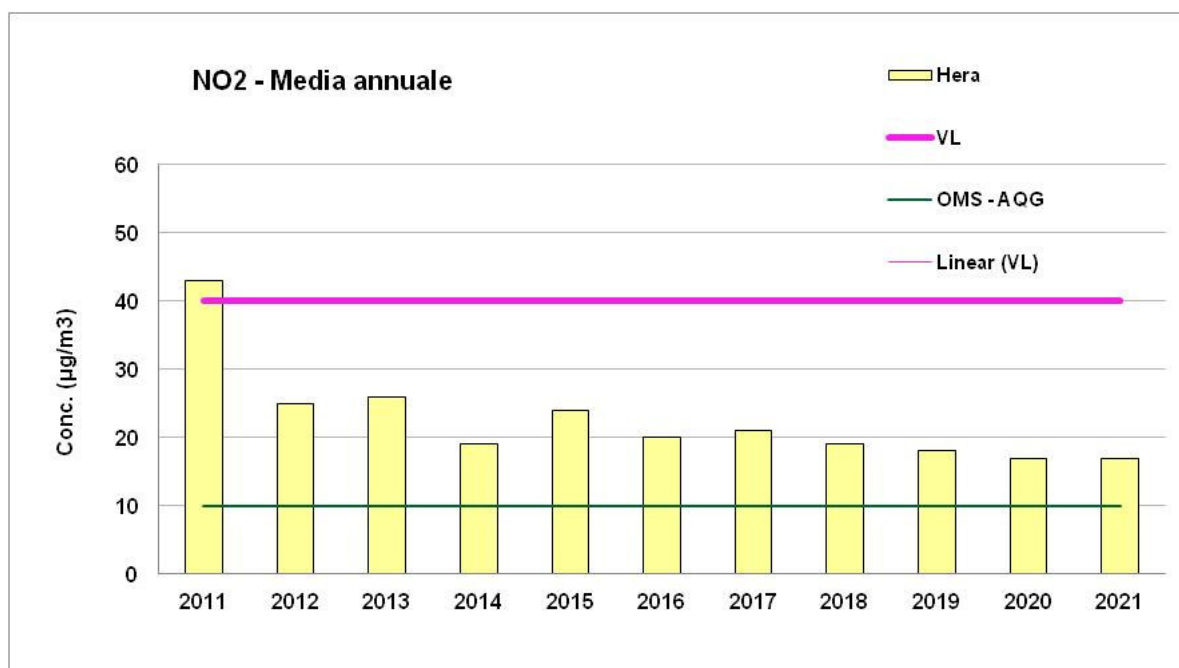


Figura 4.3 – NO₂ - Medie annuali

Nella Figura 4.4 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2021 per la stazione Locale di Hera.

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

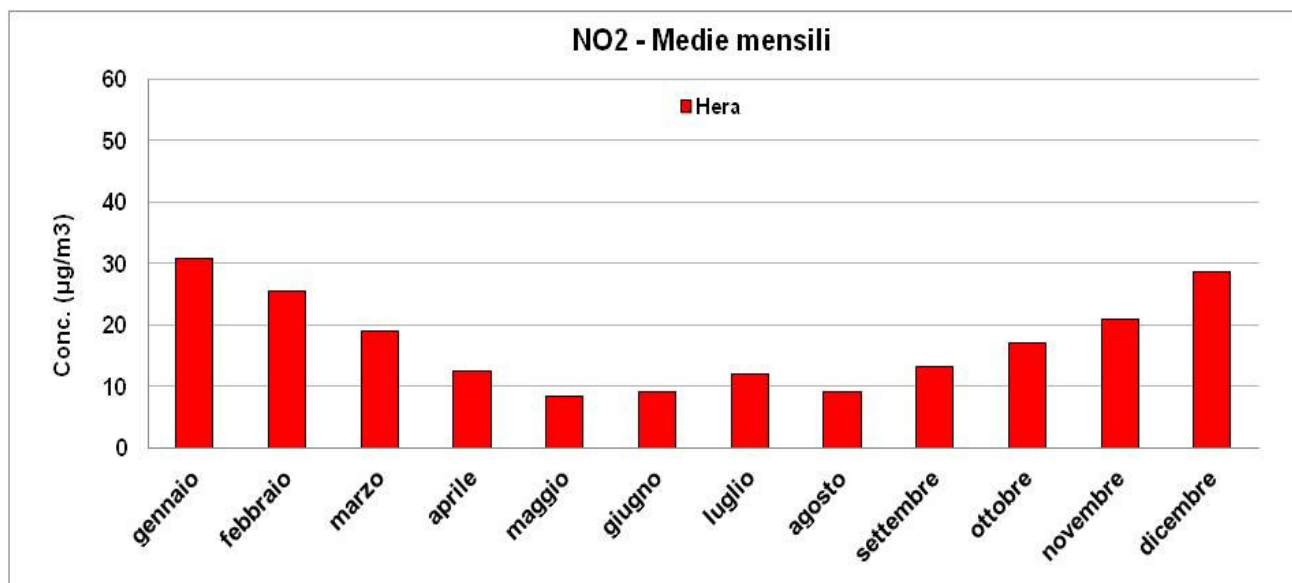
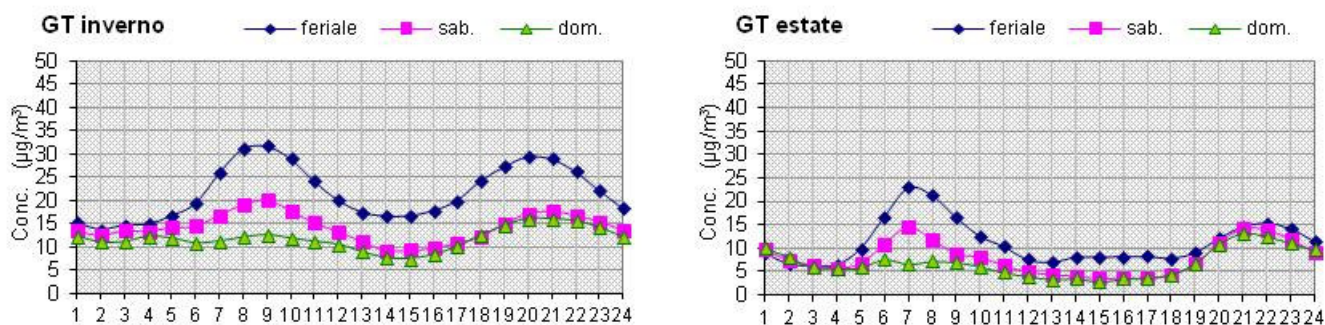


Figura 4.4 - NO₂ - Medie Mensili

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 tutte le 24 ore della giornata: rappresenta quindi un ipotetico giorno "medio" che permette di evidenziare situazioni di concentrazione dell'inquinante ricorrenti 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 2011 al 2021.

Tabella 4.4 - Andamento temporale di NO₂ dal 2011 al 2021 (concentrazioni espresse in µg/m³)

Stazione: Hera

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Media	43	25	26	19	24	20	21	19	18	17	17
50°Percentile	43	21	24	15	21	17	18	16	15	13	13
90°Percentile	70	51	46	37	45	39	41	38	38	36	35
95°Percentile	79	59	53	43	52	44	47	45	44	43	42
98°Percentile	90	70	62	49	60	51	54	53	54	51	49
Max	190	126	109	90	90	83	76	82	84	94	74
> 200 µg/m³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	97	95	97	95	93	92	92	86	95	100	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 - CO: parametri statistici e confronto con i valori previsti dalle norme

CO [L.Q. = 0,4 mg/m ³]				Concentrazioni in mg/m³			Limiti Normativi	Valori guida OMS	
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	Media	Media Max 8 ore	Media Max 1 ora	Max media 8 ore
							10 mg/m ³	35 mg/m ³	10 mg/m ³
Hera	Forlì	Locale Industriale	99	< 0,4	1,4	<0,4	0,9	1,4	0,9

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 pari a - non è mai stato superato neppure nel 2021.

Il valore più alto della media oraria è pari a 1,4 mg/m³; inoltre, il 73% dei dati 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 2021 per la stazione Locale Hera.

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

massimi giornalieri della media di 8 ore di CO

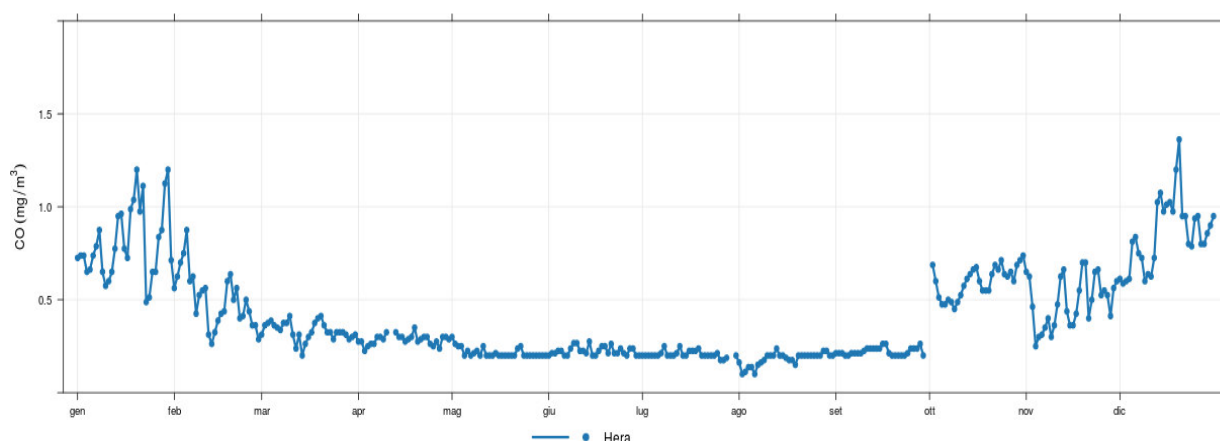


Figura 4.6 – CO - Concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore (mg/m³) – Anno 2021

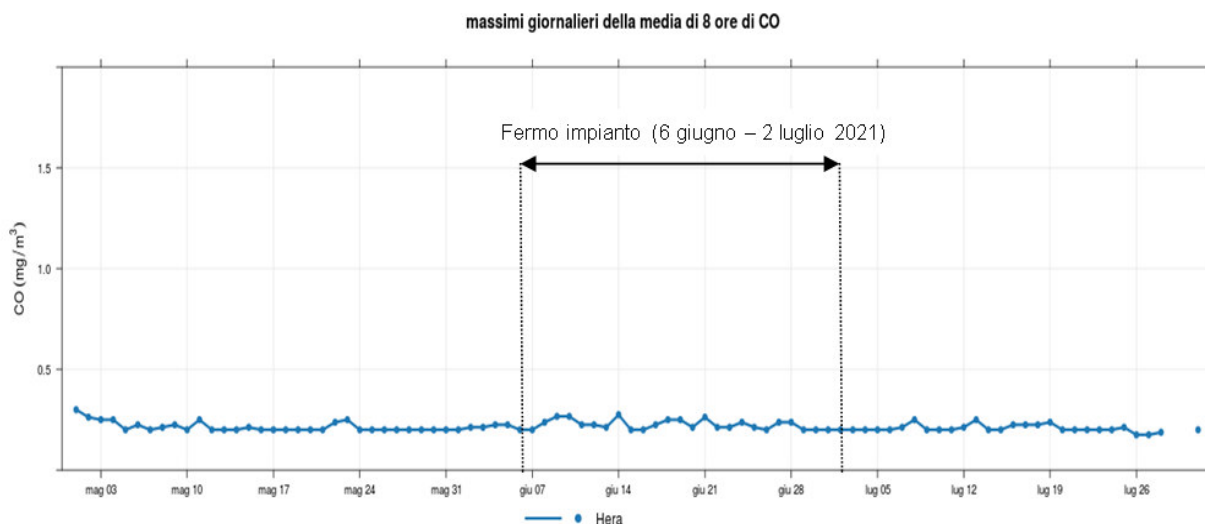


Figura 4.7 – CO - Concentrazioni massime giornaliere della media calcolata su 8 ore (mg/m^3) durante il fermo impianto

Nella Figura 4.8 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2021 per la stazione Locale di Hera.

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

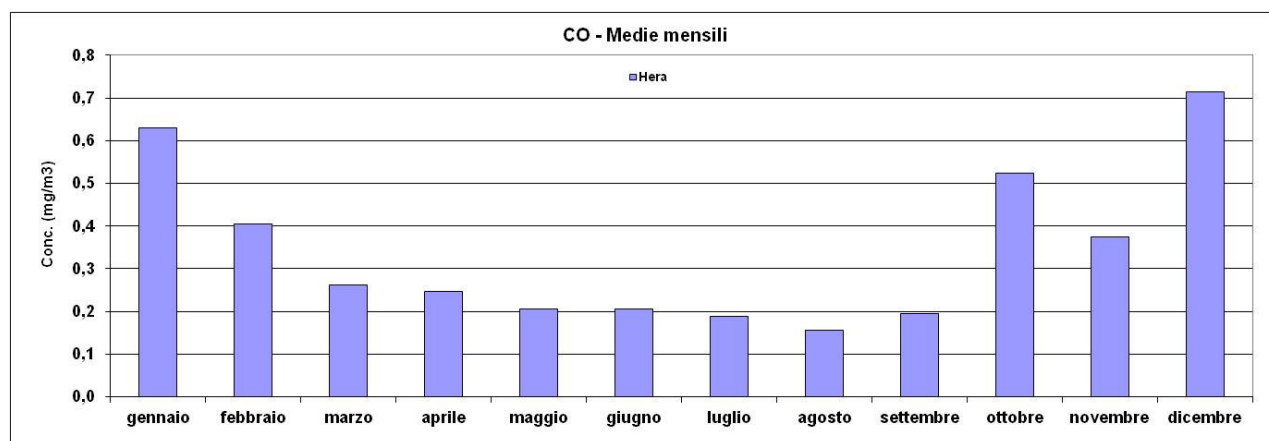
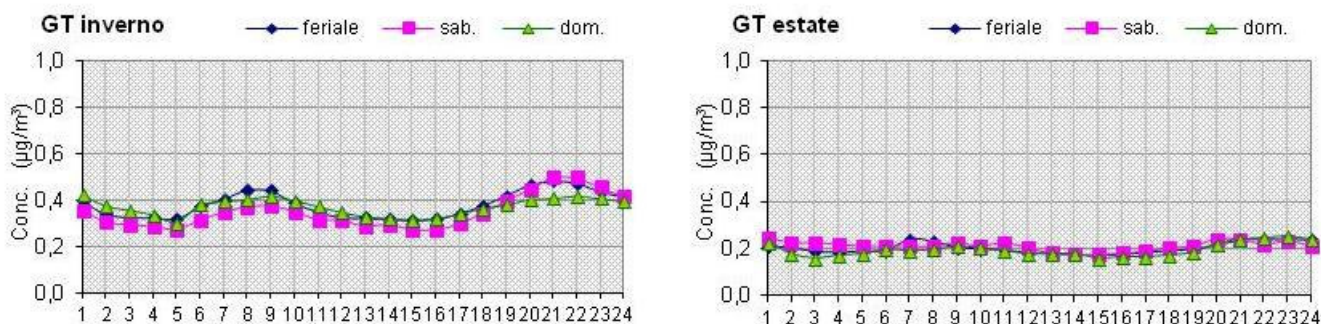


Figura 4.8 – CO - Medie Mensili

I grafici successivi (figura 4.9) mostrano i giorni tipici 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 – Andamento temporale di CO dal 2011 al 2021 (concentrazioni espresse in mg/m³)

Stazione: Hera

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Media	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,4	<0,4	<0,4
50°Percentile	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,4	<0,4	<0,4
90°Percentile	0,7	0,6	<0,6	<0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7
95°Percentile	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8
98°Percentile	1,0	0,9	0,9	0,7	1,0	1,1	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9
Max	2,5	2,1	2,1	1,6	2,2	1,9	2,3	1,7	1,5	1,8	1,4
Max media 8 h	1,7	1,5	1,6	1,1	1,9	1,6	2,0	1,5	1,4	1,4	1,4
% dati validi	98	100	98	98	98	98	100	100	100	100	99

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.

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

- 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 $1,2-3,7 \text{ ng/m}^3$, con punte nei siti più impattati dell'ordine di $20-30 \text{ ng/m}^3$; 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 $2-4 \text{ ng/m}^3$, per le aree urbane mediamente 10 ng/m^3 .

Tabella 4.7 – Hg – Intervalli di concentrazione [ng/m³] tipici di aree remote, urbane e siti impattati (dati bibliografia)

<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	-

Tabella 4.8 – Hg: parametri statistici

<i>Hg</i> [L.Q. = 0,2 ng/m ³]				<i>Concentrazioni in ng/m³</i>						
<i>Stazione</i>	<i>Comune</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Efficienza %</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>Media</i>	<i>50° perc</i>	<i>90° perc</i>	<i>95° perc</i>	<i>98° perc</i>
Hera	Forlì	Locale Industriale	95	1,0	5,9	2,0	1,9	2,6	3,0	3,4

Nella Figura 4.10 sono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere del 2021 per la stazione Locale Hera.

In Figura 4.11 vengono riportate le concentrazioni orarie massime giornaliere misurate durante il periodo del fermo impianto.

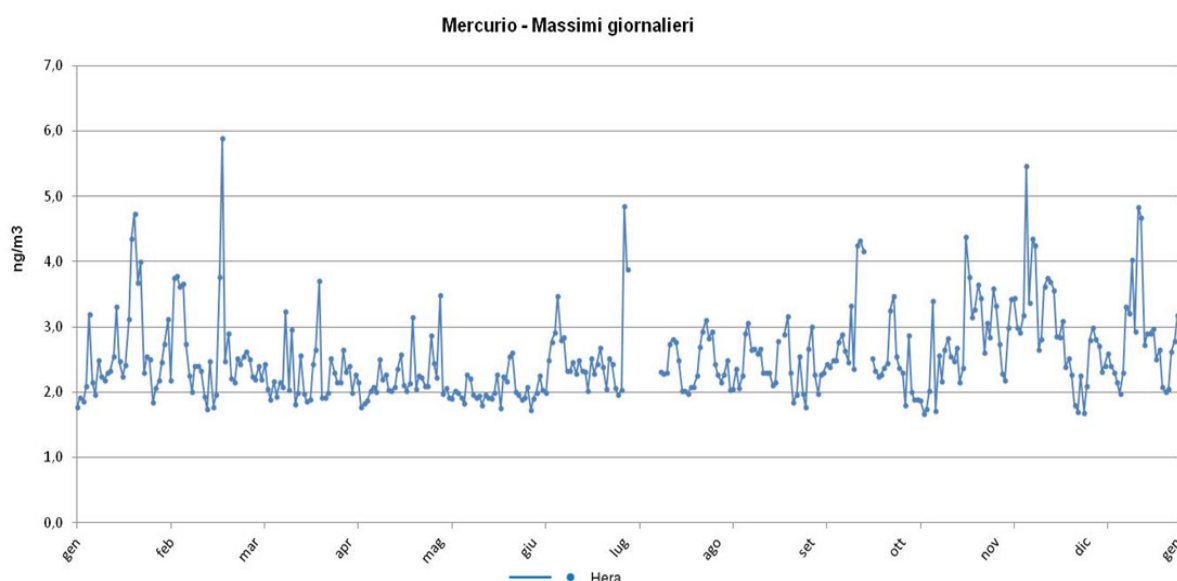


Figura 4.10 – Hg - Concentrazioni orarie (ng/m³) massime giornaliere – Anno 2021

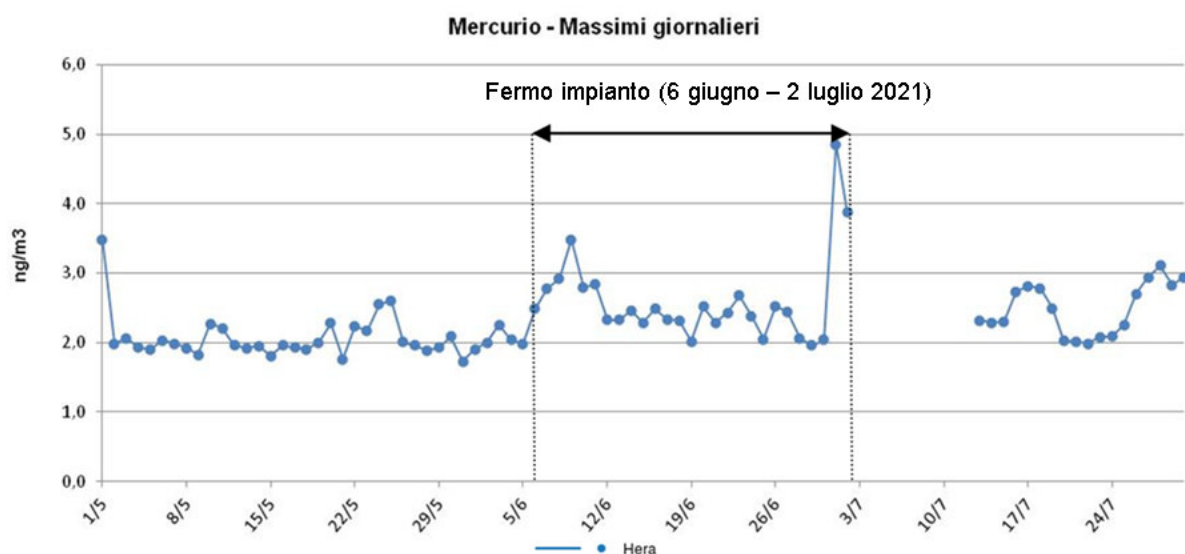


Figura 4.11 - Hg - Concentrazioni orarie (ng/m³) massime giornaliere durante il fermo impianto

Nella Figura 4.12 sono riportate le concentrazioni medie mensili del 2021 per la stazione Locale Hera.

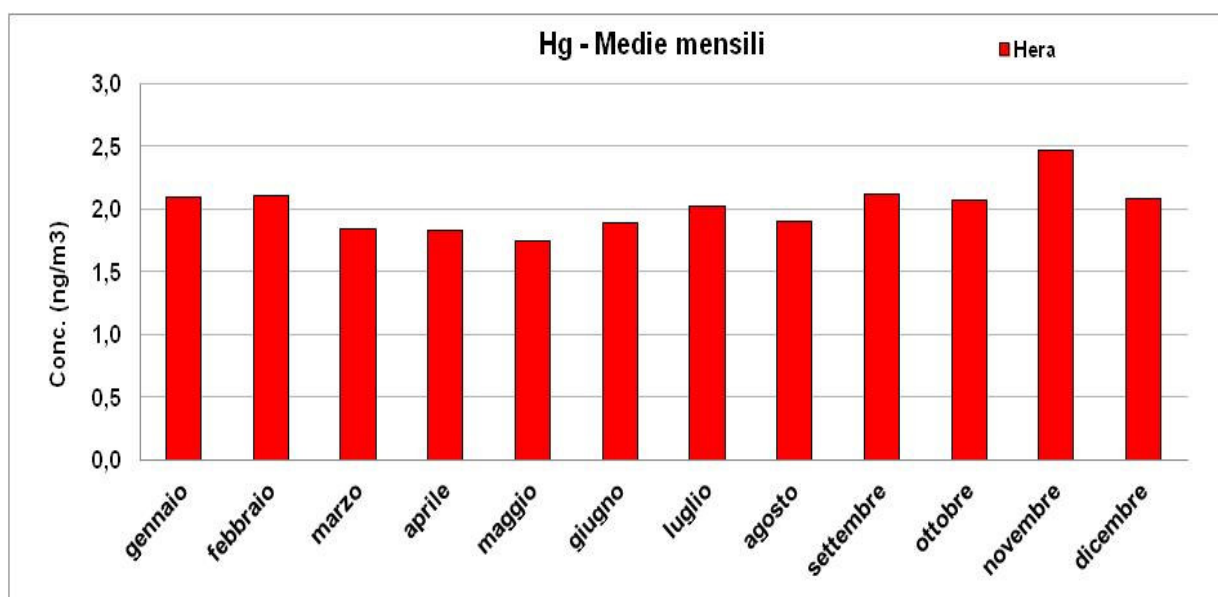


Figura 4.12 – Hg - Medie Mensili

La Figura 4.13 riporta l'andamento della concentrazione media annuale di mercurio dal 2011 al 2021.

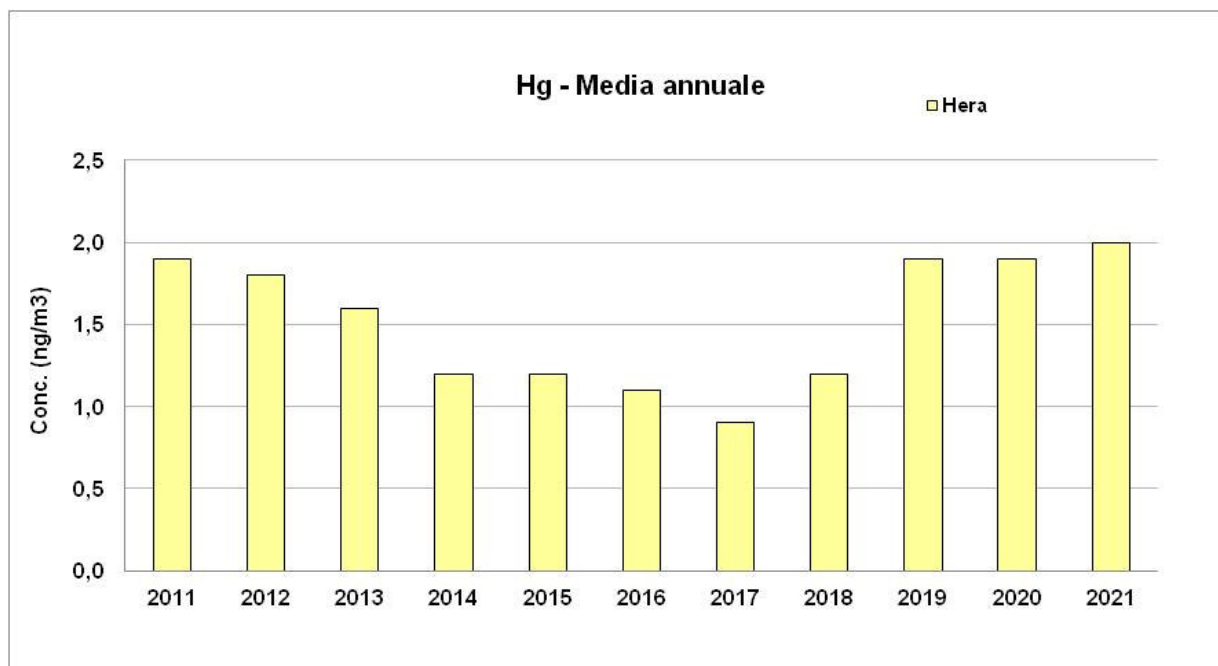


Figura 4.13 – Hg - medie annuali

Infine, in Tabella 4.9, sono riportati alcuni parametri statistici relativi alle concentrazioni orarie per la serie storica dal 2011 al 2021.

Tabella 4.9 – Andamento temporale di Hg dal 2011 al 2021 (concentrazioni espresse in ng/m³)

Stazione: Hera

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Minimo	<0,2	0,5	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,1	1,0
Media	1,9	1,8	1,6	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	1,2	1,9	2,0
50°Percentile	1,8	1,8	1,5	1,2	1,1	1,0	0,8	1,1	1,8	1,8	1,9
90°Percentile	2,9	2,6	2,2	1,6	2,0	1,8	1,4	1,9	2,4	2,4	2,6
95°Percentile	3,2	2,9	2,5	1,8	2,3	2,1	1,7	2,2	2,6	2,7	3,0
98°Percentile	3,7	3,5	2,7	2,1	2,7	2,4	2,1	2,8	2,9	3,1	3,4
Max	9,4	15,5	4,0	3,8	10,5	4,2	5,0	6,1	9,4	6,6	5,9
% dati validi	79	76	78	75	50	82	65	79	85	94	95

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 2021 il limite della media annuale del *PM10* (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e il limite giornaliero (media giornaliera di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno) sono stati rispettati (Tabella 4.10). Al contrario i valori guida dell'OMS di 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e di 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione sulle 24 ore sono stati superati.

La media annuale, già da diversi anni, si attesta attorno al valore di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tuttavia 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 dalle norme

<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	95	<3	112	27	33 (OMS 42)

Nella Figura 4.14 sono riportate le concentrazioni giornaliere del 2021 per la stazione Locale Hera. In Figura 4.15 vengono riportate le concentrazioni giornaliere misurate durante il periodo del fermo impianto nella stazione Locale Hera e nella stazione meglio correlata tra quelle della RRQA della provincia di Forlì-Cesena (Parco Resistenza - Pearson=0,97).

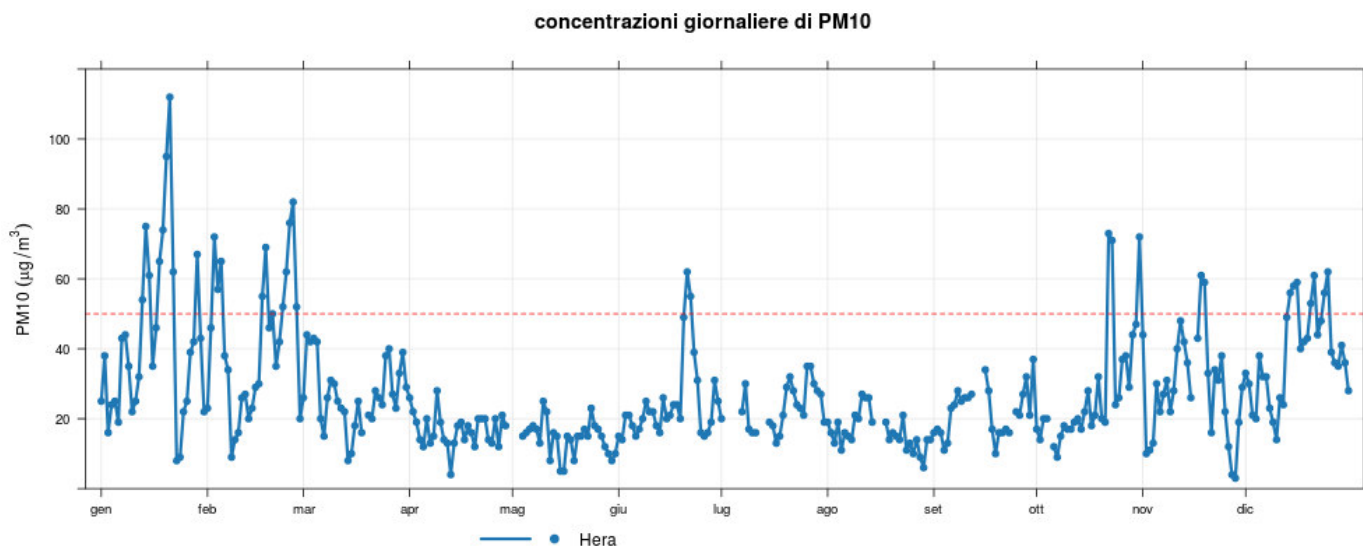


Figura 4.14 – PM10 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2021

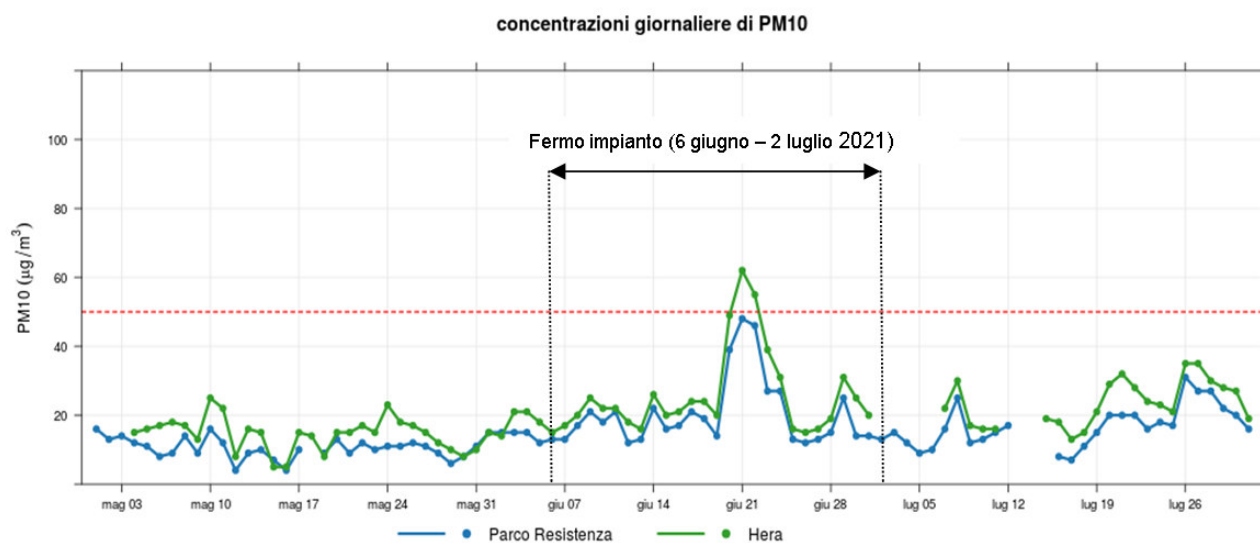


Figura 4.15 – PM10 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante il fermo impianto ad HERA e a Parco Resistenza

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 2021 la media annuale e il numero di superamenti sono in linea con gli anni precedenti.

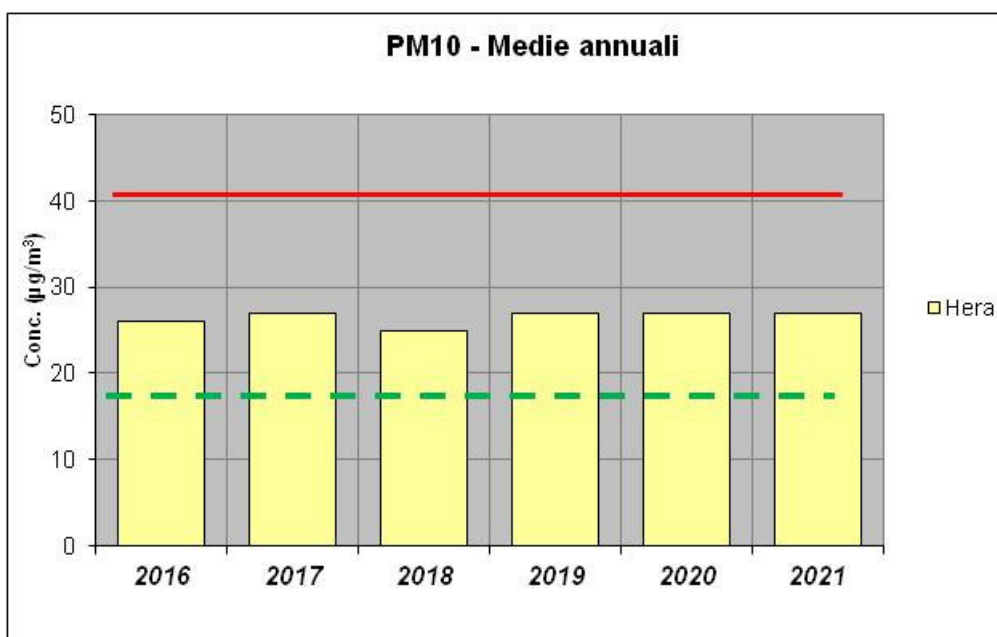


Figura 4.16 – PM10 - medie annuali

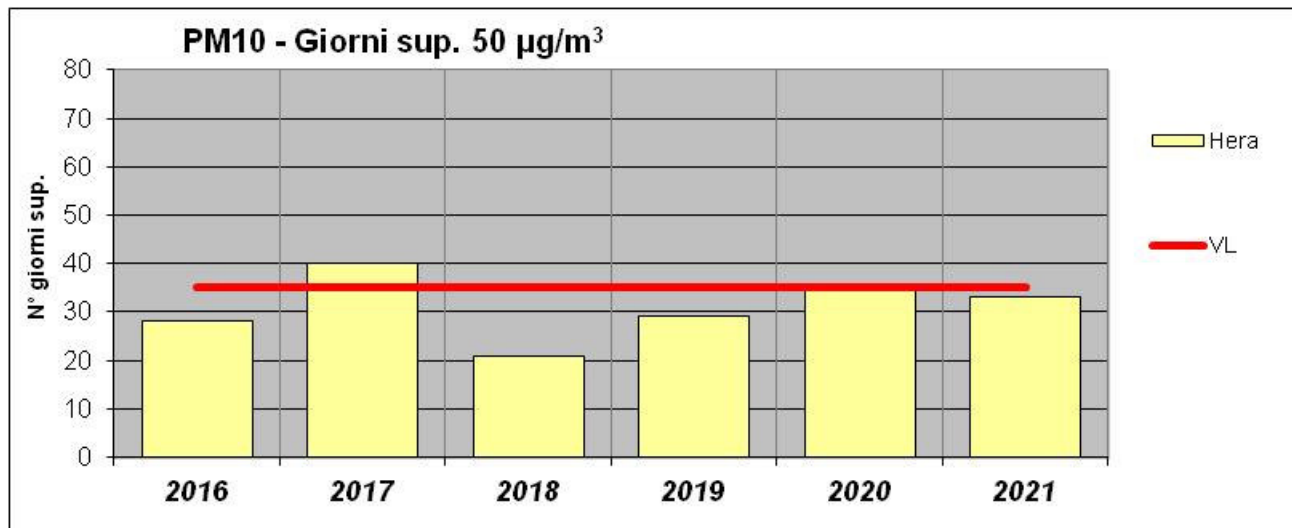


Figura 4.17 – PM10 - giorni con superamento dei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Le Figure 4.18 e 4.19 riportano l'andamento nel 2021 rispettivamente delle medie mensili e del numero di giorni con concentrazioni superiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

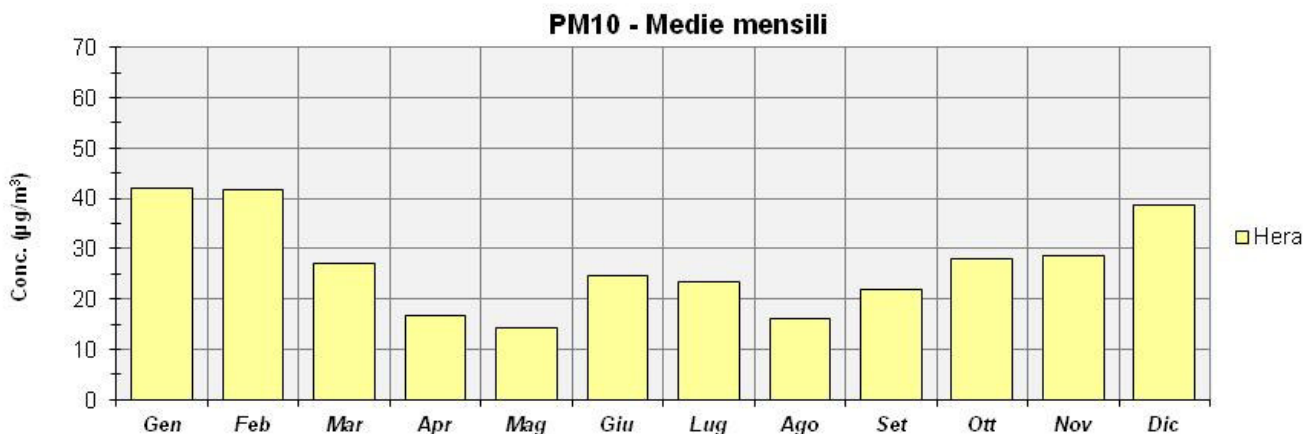


Figura 4.18 - PM10 - medie mensili

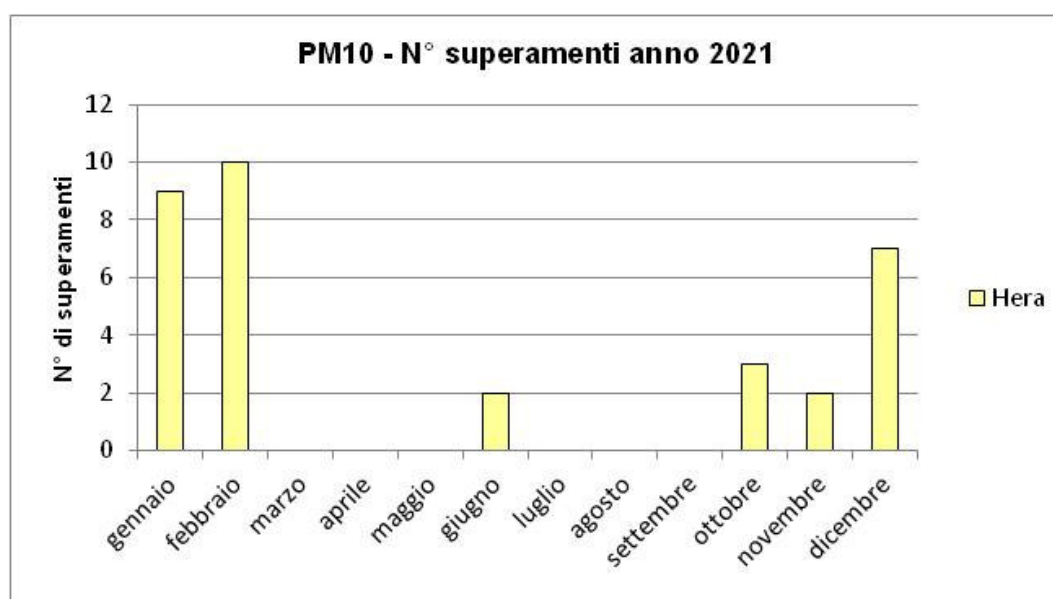


Figura 4.19 - PM10 – N° superamenti nel corso dell'anno 2021

Infine, la Tabella 4.11 riporta alcuni parametri relativi al PM10, calcolati a partire dal 2016.

Tabella 4.11 - Andamento temporale PM10 dal 2016 al 2021 (dati giornalieri in µg/m³)

Stazione: Hera

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Media	26	27	25	27	27	27
50°Percentile	22	20	22	22	21	22
90°Percentile	46	52	42	48	51	49
95°Percentile	57	64	51	58	70	62
98°Percentile	77	81	62	67	87	72
Max	123	154	80	89	125	112
> 50 µg/m³	28	40	21	29	35	33
% dati validi	97	98	98	95	95	95

4.5 Particolato PM2.5

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

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

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

Questo inquinante – come il PM10 - è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sulla salute umana: queste ricerche hanno portato l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) a affermare che «La maggior parte delle particelle che danneggiano la salute sono quelle con un diametro di 10 micron o meno, (≤PM10), che possono penetrare e depositarsi in profondità nei polmoni, L'esposizione cronica alle particelle contribuisce al rischio di sviluppare malattie cardiovascolari e respiratorie, nonché di cancro ai polmoni, [...] Vi è una stretta relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (PM10 e PM2.5) e un aumento della mortalità e 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 µg/m³ come media annuale e 25 µg/m³ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile».

La stagione più critica è sempre quella invernale, quando le concentrazioni di PM2.5 rappresentano oltre il 70% 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 dalle norme

PM2.5 [L.Q. = 3 µg/m ³]				Concentrazioni in µg/m³		Limite Normativo	Limite indicativo
Stazione	Comune	Tipologia	Efficienza %	Minimo	Massimo	25 µg/m³ <i>Valore guida OMS: 5 µg/m³</i>	20 µg/m³
						Media anno	Media anno
Hera	Forlì	Locale Industriale	97	<3	80	16	16

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 µg/m³;
- 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 µg/m³ e delle

verifiche effettuate dalla Commissione europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri". Tale decreto ad oggi, non è stato emanato e pertanto il valore di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ viene di seguito riportato come "limite indicativo".

Nel 2021 il valore limite della media annuale del PM2.5 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), così come il "limite indicativo" ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sono stati rispettati: situazione da consolidare, e possibilmente migliorare, anche nei prossimi anni, considerato l'impatto che l'inquinante ha sulla salute.

Non è invece rispettato il valore guida dell'OMS, più restrittivo ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabella 4.12)

Nella Figura 4.20 sono riportate le concentrazioni giornaliere del 2021 per la stazione Locale Hera. In Figura 4.21 vengono riportate le concentrazioni giornaliere misurate durante il periodo del fermo impianto nella stazione Locale Hera e nella stazione meglio correlata tra quelle della RRQA della provincia di Forlì-Cesena (Savignano - Pearson=0,68).

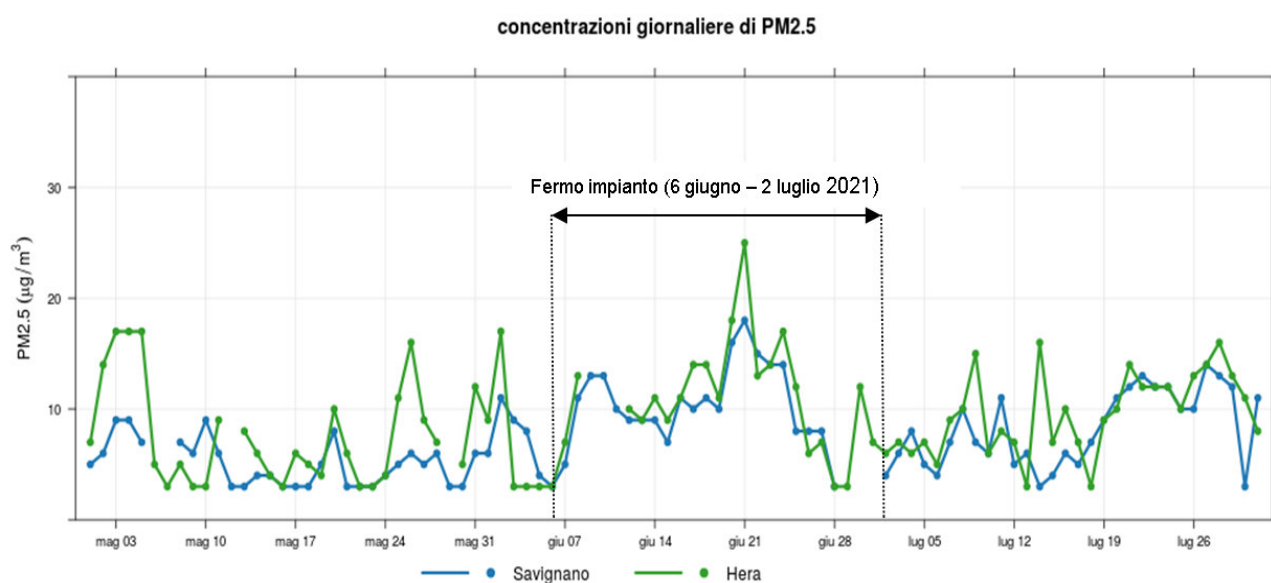
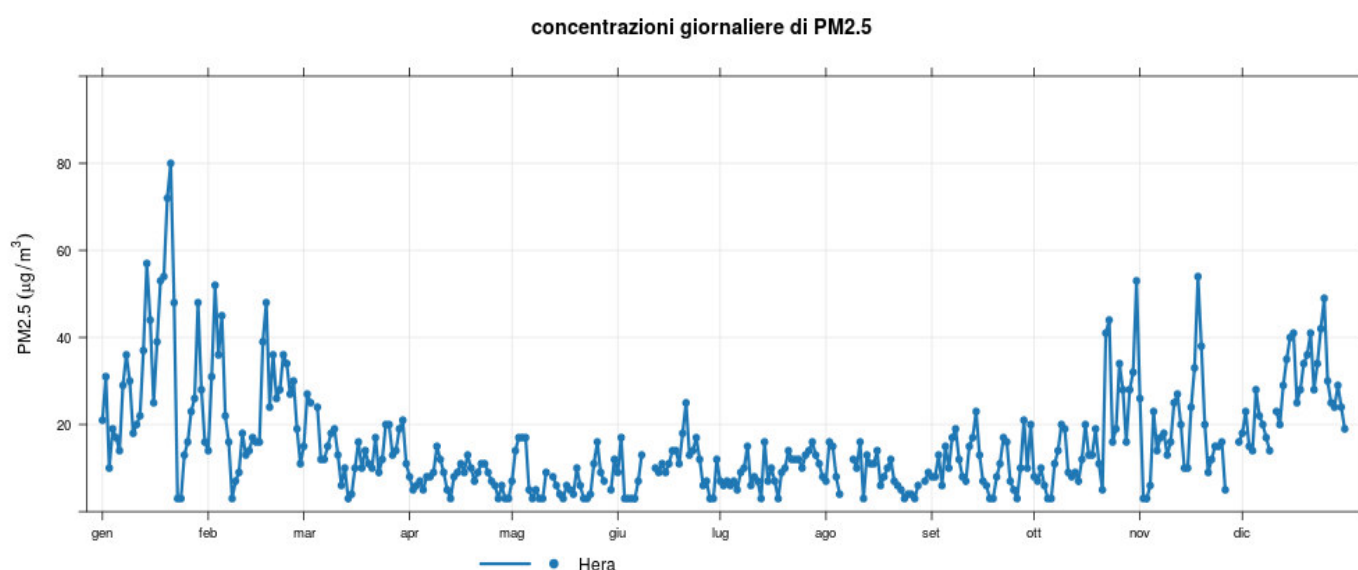


Figura 4.20 – PM2.5 - Concentrazioni giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2021

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

Di seguito si riporta il grafico con le medie mensili (Figura 4.22): solo nei mesi estivi (aprile-agosto) le concentrazioni sono inferiori a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

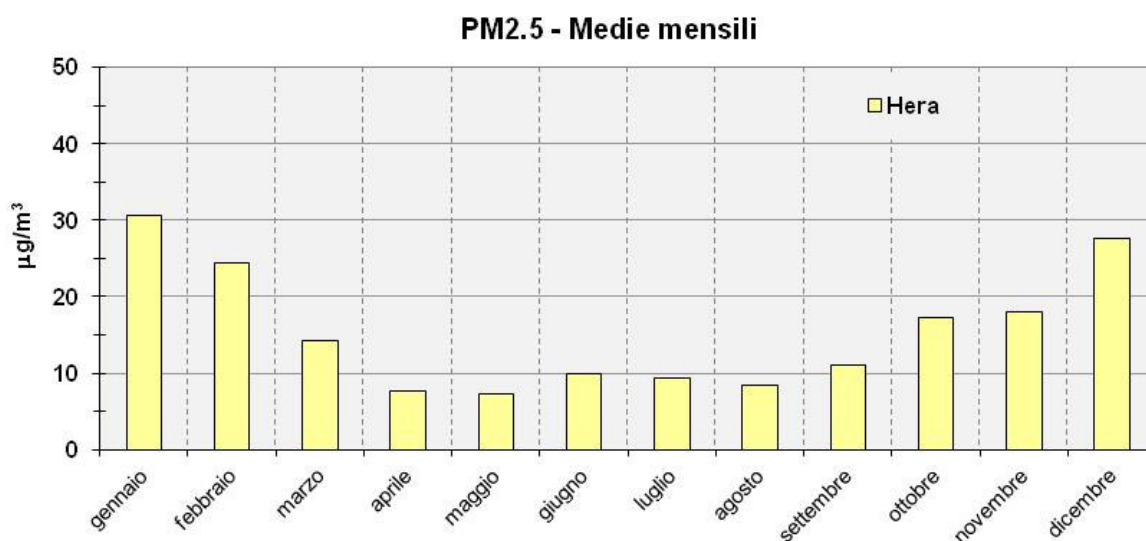


Figura 4.22 - PM2.5 - medie mensili

In Figura 4.23a sono riportate le medie annuali rilevate dal 2016, messe a confronto con il limite previsto dalla normativa ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – linea rossa), il valore indicativo della fase 2 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – linea nera) e il valore guida dell'OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - 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.

Viene inoltre presentato il confronto con il numero di superamenti della media giornaliera stabilito come valore guida dal OMS e pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fino al 2020 e a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dal 2021 (Figura 4.23b).

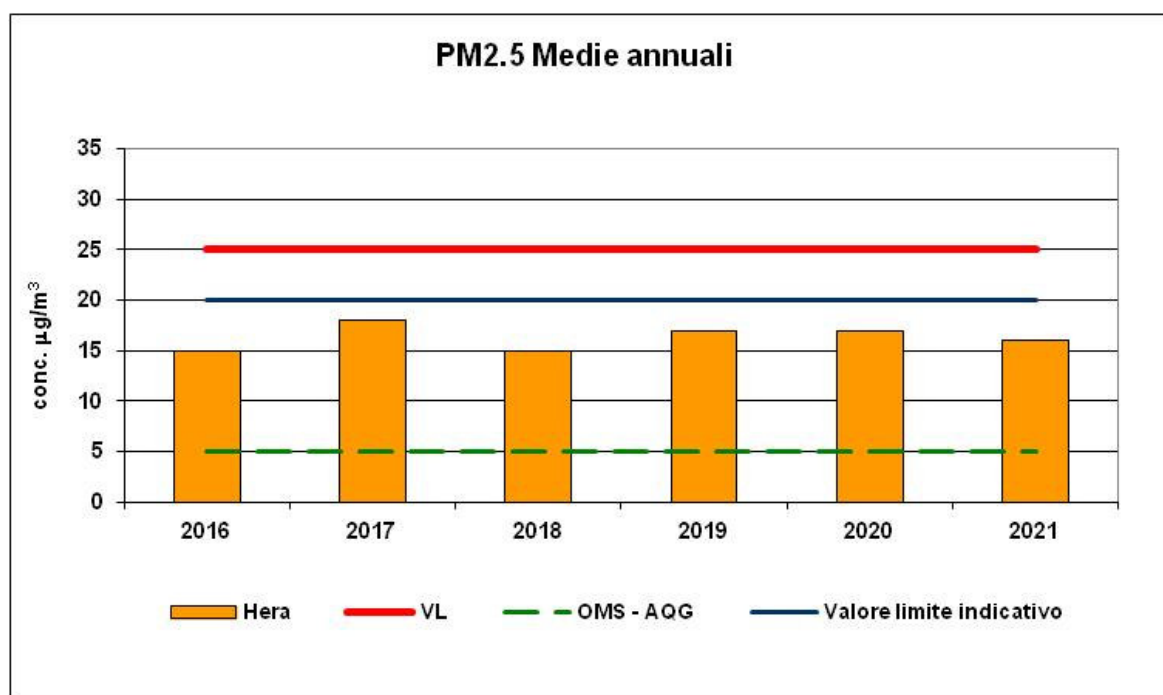


Figura 4.23a – PM2.5 - medie annuali nell'intervallo 2016 – 2021

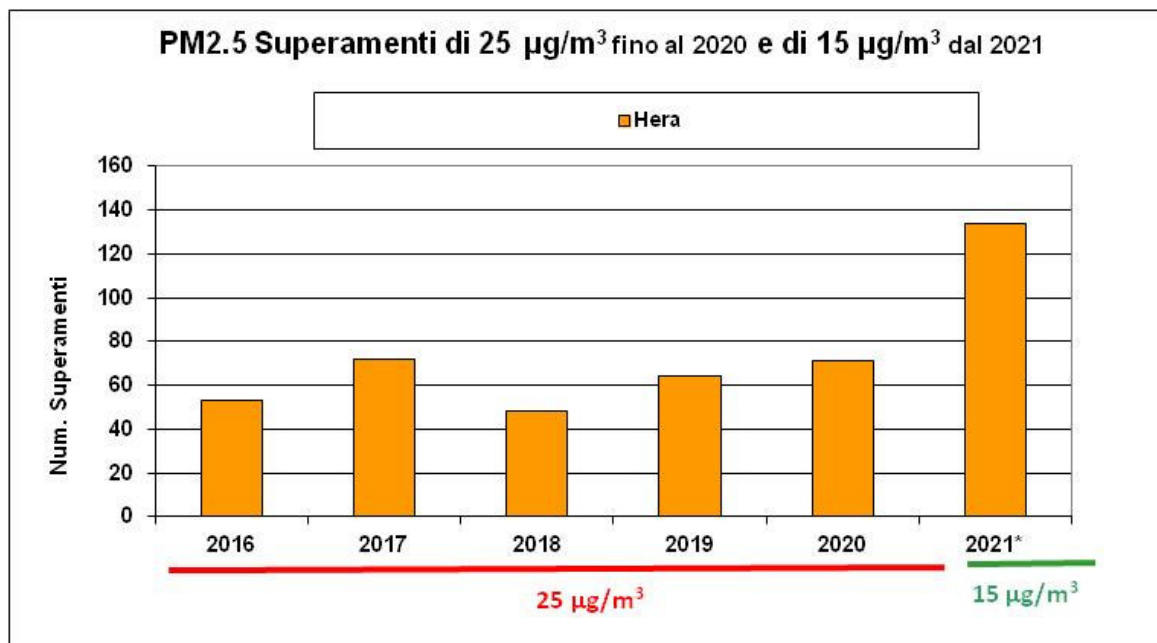


Figura 4.23b – PM2.5 - N° superamenti valore guida OMS della media giornaliera: 25 µg/m³ nell'intervallo 2016 – 2020 e 15 µg/m³ dal 2021

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 delle due frazioni granulometriche, PM2.5/PM10.

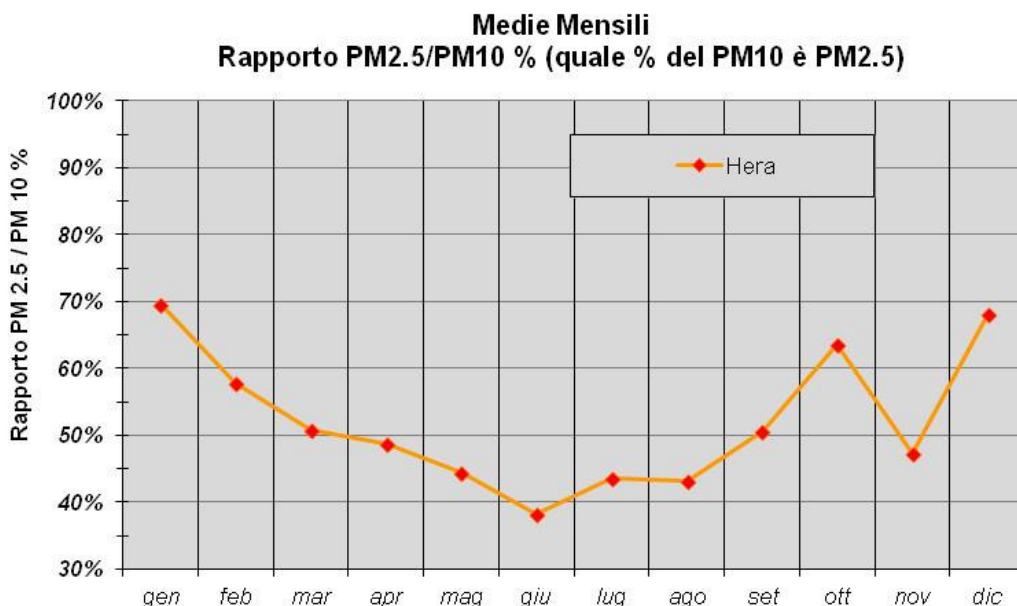


Figura 4.24 – Rapporto PM2.5/PM10: medie mensili 2021 (quale % del PM10 è PM2.5)

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 PM 2.5, calcolati a partire dal 2016.

Tabella 4.13 – Andamento temporale PM2.5 dal 2016 al 2021 (dati giornalieri in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Stazione: Hera

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Media	15	18	15	17	17	16
50°Percentile	11	12	12	13	11	12
90°Percentile	32	39	31	36	38	32
95°Percentile	38	48	39	45	47	41
98°Percentile	57	64	44	52	58	52
Max	91	129	64	72	93	80
> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2016-2020)	53	72	48	64	71	-
> 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2021)	-	-	-	-	-	134
% dati validi	97	99	94	94	93	97

4.6 MONITORAGGIO DISCONTINUO: MISURE INDICATIVE DI METALLI PESANTI E MICROINQUINANTI ORGANICI

Il monitoraggio discontinuo della qualità dell'aria riguarda la determinazione delle concentrazioni di metalli pesanti e microinquinanti (IPA, PCB, Diossine e Furani) presenti nella frazione PM10 del materiale particolato ed effettuato con frequenza trimestrale mediante campionamento discontinuo automatico e determinazione, per ciascun parametro, del valore medio di concentrazione per campagna; viene, inoltre, effettuata una campagna aggiuntiva in occasione del fermo impianto (FI).

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.

Le campagne di misura effettuate (della durata di circa 16 giorni ciascuna) hanno frequenza trimestrale; in più è stata effettuata una campagna in occasione del fermo impianto (FI). In totale, nel corso del 2021, sono stati effettuati 83 campionamenti giornalieri, distribuiti in modo tal da rappresentare la variabilità stagionale (oltre a monitorare il FI).

Tabella 4.14 - Campagne e giorni di campionamento del particolato PM10 per misure indicative di IPA

<i>Campagna di misura</i>	<i>Periodo</i>	<i>N° giorni</i>
I Campagna	19 gennaio – 04 febbraio	17
II Campagna	08 aprile – 23 aprile	16
III Campagna (durante fermo impianto)	08 giugno – 23 giugno	16
IV Campagna	16 luglio – 01 agosto	17
V Campagna	12 ottobre – 28 ottobre	17
TOTALE		83

Il numero di giorni monitorati, inoltre, consente di avere un periodo minimo di copertura superiore al 14% (cioè superiore a 52 giorni/anno), requisito di qualità richiesto dal D.Lgs. 155/2010 per le "misure indicative" e per poter considerare le medie dei cinque periodi come rappresentative della media annuale.

Per le misurazioni in siti fissi e per misure indicative delle concentrazioni degli IPA il campionamento deve avere una durata di 24 ore ed i singoli campioni, prelevati durante un periodo non eccedente un mese, possono essere combinati e analizzati come un campione unico, ricavando la concentrazione media mensile (Allegato I D.Lgs. 155/2010).

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

Tabella 4.15 – B(a)P nel PM10 – Confronto fra l'elaborazione dei dati 2021 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>Media annuale Benzo(a)pirene</i>
I Campagna	19 gennaio – 04 febbraio	17	0,975
II Campagna	08 aprile – 23 aprile	16	0,056
III Campagna (durante fermo impianto)	08 giugno – 23 giugno	16	0,015
IV Campagna	16 luglio – 01 agosto	17	0,008
V Campagna	12 ottobre – 28 ottobre	17	0,242
Media annuale misure indicative			0,259

Nel 2021 il valore obiettivo di 1.0 ng/m³ come media annuale della concentrazione del benzo(a)pirene, valido a partire dal 2012, è stato rispettato.

Le concentrazioni dell'ultimo quinquennio (2017-2021) sono stabili e 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 idrocarburi policiclici aromatici 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 idrocarburi policiclici aromatici.

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 ciascuna delle cinque campagne del 2021 e, in ultima colonna, la media delle cinque campagne. Nel calcolo della media i composti inferiori al Limite di Rilevabilità (LR) sono stati considerati (cautelativamente) presenti per un valore pari alla metà del LR 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 2021 (ultima colonna)

IPA	I campagna	II campagna	III campagna (FI)	IV campagna	V campagna	MEDIA 2021
	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
Naftalene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0042	0,0031	0,0015
Acenaftilene	0,0033	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0007
Acenaftene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Fluorene	0,0130	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,0059	0,0040
Fenantrene	0,2602	0,1065	0,0721	0,0191	0,1553	0,1226
Antracene	0,0193	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0062	0,0051
Fluorantene	1,8035	0,2476	0,0621	0,0370	0,4058	0,5112
Pirene	1,6235	0,2338	0,0736	0,0338	0,3587	0,4647
Benzo(a)antracene	0,9296	0,0604	0,0096	0,0090	0,1692	0,2355
Ciclopenta(c,d)pirene	0,5987	0,0077	<0,0001	<0,0001	0,0783	0,1369
Crisene	1,0517	0,1272	0,0339	0,0240	0,2206	0,2915
Benzo(b)+(j)fluorantene	1,7874	0,2372	0,0313	0,0282	0,4572	0,5083
Benzo(k)fluorantene	0,5376	0,0733	0,0140	0,0083	0,1478	0,1562
Benzo(e)pirene	0,8621	0,1215	0,0167	0,0135	0,2377	0,2503
Benzo(a)pirene	0,9746	0,0558	0,0148	0,0076	0,2420	0,2589
Indeno(1,2,3,c,d,)pirene	1,4072	0,1215	<0,0001	0,0123	0,3715	0,3825
Dibenzo(ac)+(ah)antracene	0,1307	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0500	0,0362
Benzo(g,h,i)perilene	1,1063	0,1226	0,0160	0,0164	0,3726	0,3268
Dibenzo (a,l) pirene	0,3834	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0767
Dibenzo(a,e)fluorantene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Dibenzo (a,e) pirene	0,1146	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0695	0,0369
Dibenzo (a,i) pirene	0,0412	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0083
Dibenzo (a,h) pirene	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

In Figura 4.25 sono riportate le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene (in ng/m³), rilevate negli ultimi 5 anni. Le medie annuali del 2021 sono più alte rispetto a quelle rilevate nel 2020. In generale, comunque, i valori sono in linea con quelli degli anni precedenti e sempre abbondantemente inferiori al limite normativo di 1.0 ng/m³.

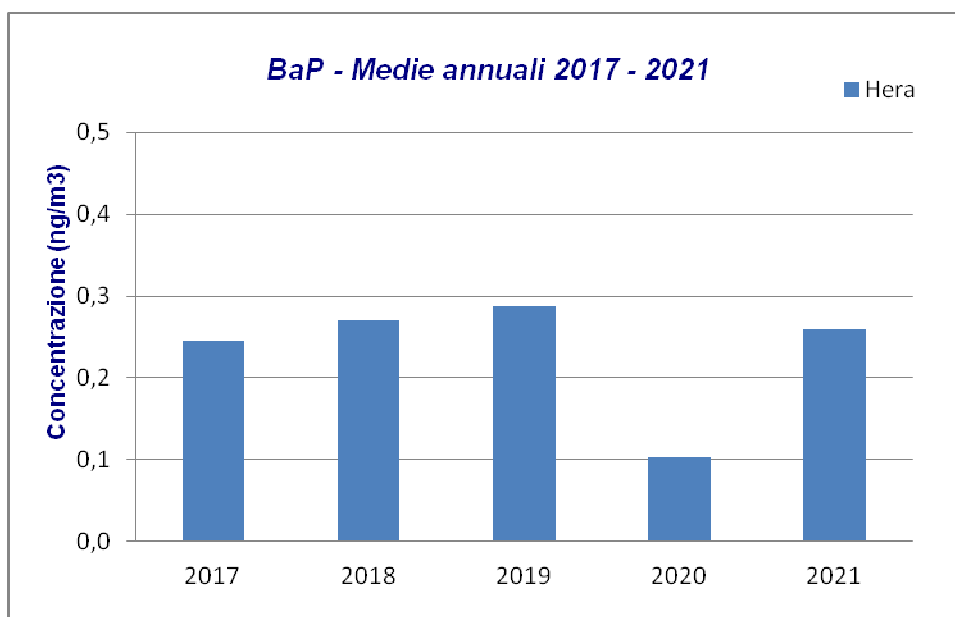


Figura 4.25 – Concentrazioni medie annuali BaP – anni 2017 – 2021

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

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, acquazzoni che dilavano l'atmosfera, assenza di inversione termica) ed una maggiore insolazione, in grado di favorire reazioni di degradazione degli IPA.

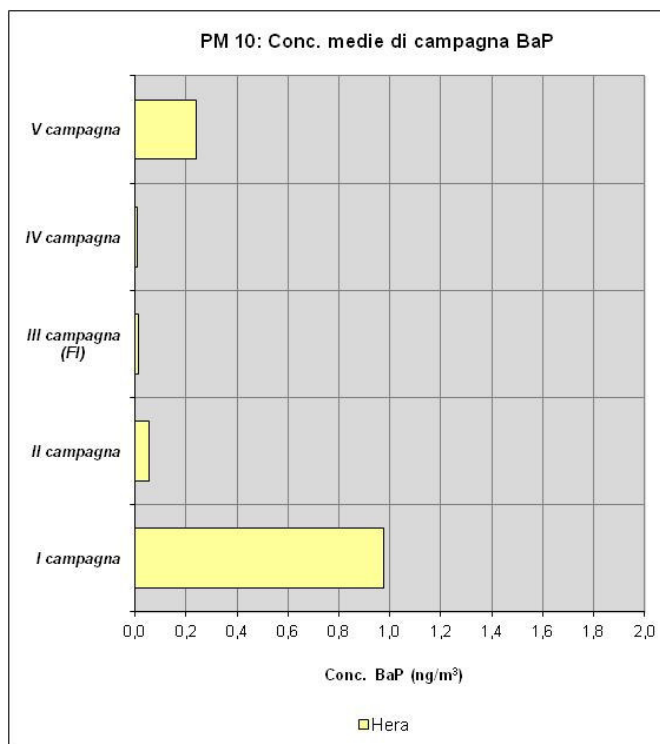


Figura 4.26 – Andamento temporale delle concentrazioni medie di campagna di BaP nel PM10 nel 2021

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.

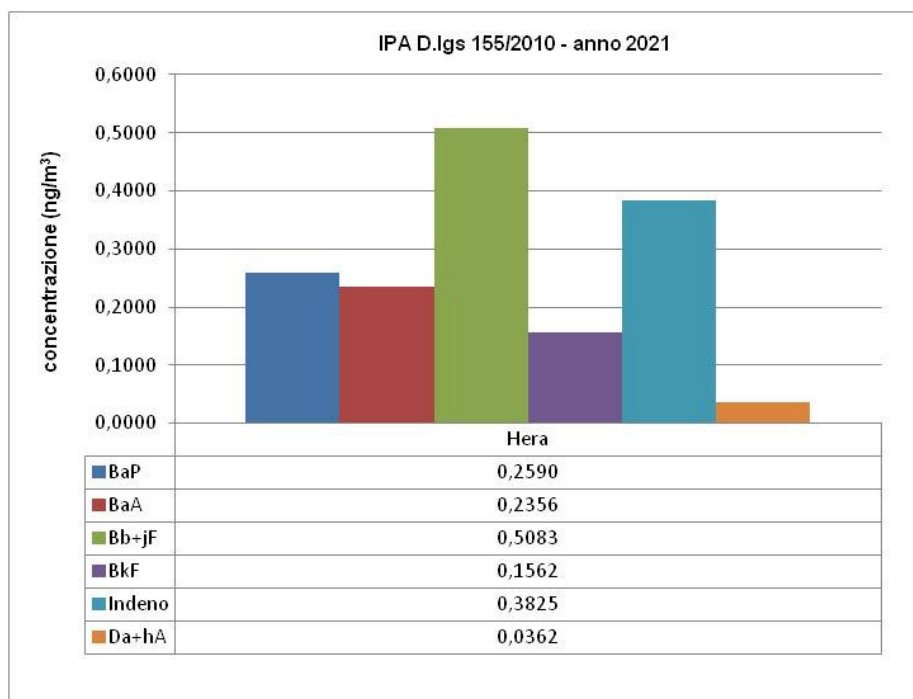


Figura 4.27 – Media annuale sul particolato PM10 (2021) degli IPA indicati dal D.Lgs. 155/2010 – stazione Locale Hera

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).

Le campagne di misura effettuate (della durata di circa 14 giorni ciascuna) hanno frequenza trimestrale; in più è stata effettuata una campagna in occasione del fermo impianto (FI). In totale, nel corso del 2021, sono stati effettuati 72 campionamenti giornalieri, distribuiti in modo tale da rappresentare la variabilità stagionale (oltre a monitorare il FI).

Tabella 4.17 - Campagne e giorni di campionamento del particolato PM10 per misure indicative di metalli

<i>Campagna di misura</i>	<i>Periodo</i>	<i>N° giorni</i>
I Campagna	30 gennaio – 06 febbraio	8
II Campagna	08 aprile – 23 aprile	16
III Campagna (durante fermo impianto)	08 giugno – 23 giugno	16
IV Campagna	16 luglio – 31 luglio	16
V Campagna	12 ottobre – 27 ottobre	16
TOTALE		72

Il numero di giorni monitorati, inoltre, consente di avere un periodo minimo di copertura superiore al 14% (cioè superiore a 52 giorni/anno), requisito di qualità richiesto dal D.Lgs. 155/2010 per le "misure indicative" e per poter considerare le medie dei cinque periodi come rappresentative delle medie annuali. Come da Autorizzazione Integrata Ambientale rilasciata con Delibera di G.P. n° 154/68306 del 16/04/2013 per l'esercizio dell'impianto, sul particolato sono stati determinati i metalli pesanti Pb, Cd e Ni. 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 2021 (Tabella 4.18). I dati al di sotto del Limite di Rilevabilità (LR) sono stati considerati pari alla metà del limite stesso.

Tabella 4.18 – Cd, Ni e Pb nel PM10 – Confronto fra l'elaborazione dei dati 2021 e i valori limite e obiettivo previsti dal D.Lgs. 155/10

Metalli <i>Concentrazione di inquinante nella frazione PM10</i>			<i>Valore obiettivo Media annuale nella frazione PM 10</i>		<i>Valore limite</i>
			<i>Cadmio (Cd) 5,0 ng/m³</i>	<i>Nichel (Ni) 20,0 ng/m³</i>	<i>Piombo (Pb) 0,5 µg/m³</i>
I Campagna	30 gennaio – 06 febbraio	8 gg	0,14	1,66	0,006
II Campagna	08 aprile – 23 aprile	16 gg	0,04	0,75	0,002
III Campagna (durante fermo impianto)	08 giugno – 23 giugno	16 gg	0,18	6,21	0,005
IV Campagna	16 luglio – 31 luglio	16 gg	0,04	1,65	0,001
V Campagna	12 ottobre – 27 ottobre	16 gg	0,11	1,86	0,003
Media annuale misure indicative			0,10	2,42	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 Rilevabilità (LR) sono stati considerati (cautelativamente) pari alla metà del limite stesso.

Nella Figura 4.28 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie di campagna registrate nel 2021. Nel 2021 i valori obiettivo (per Cadmio e Nichel) e il valore limite (per il Piombo) previsti dalla normativa sono ampiamente rispettati.

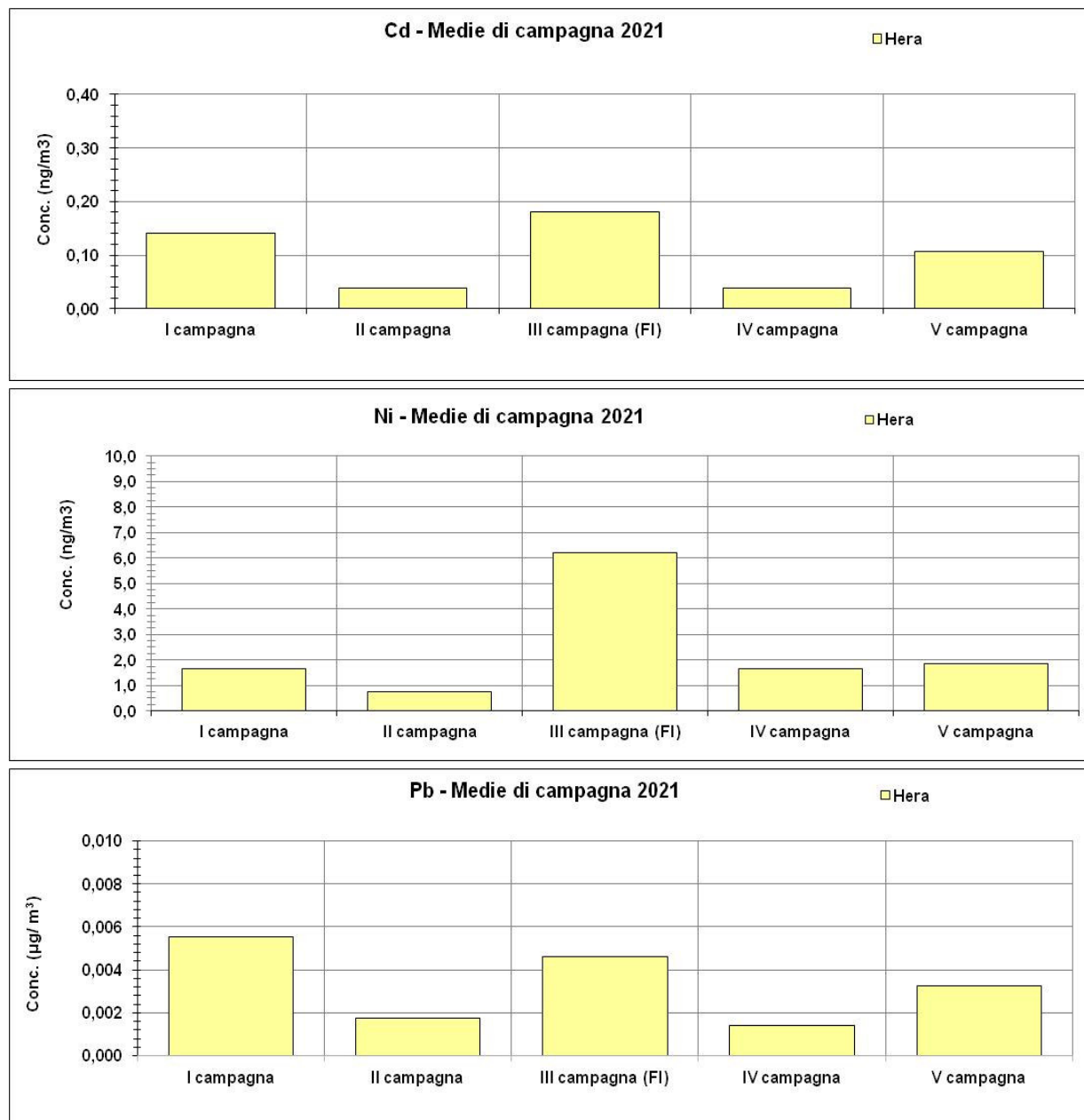
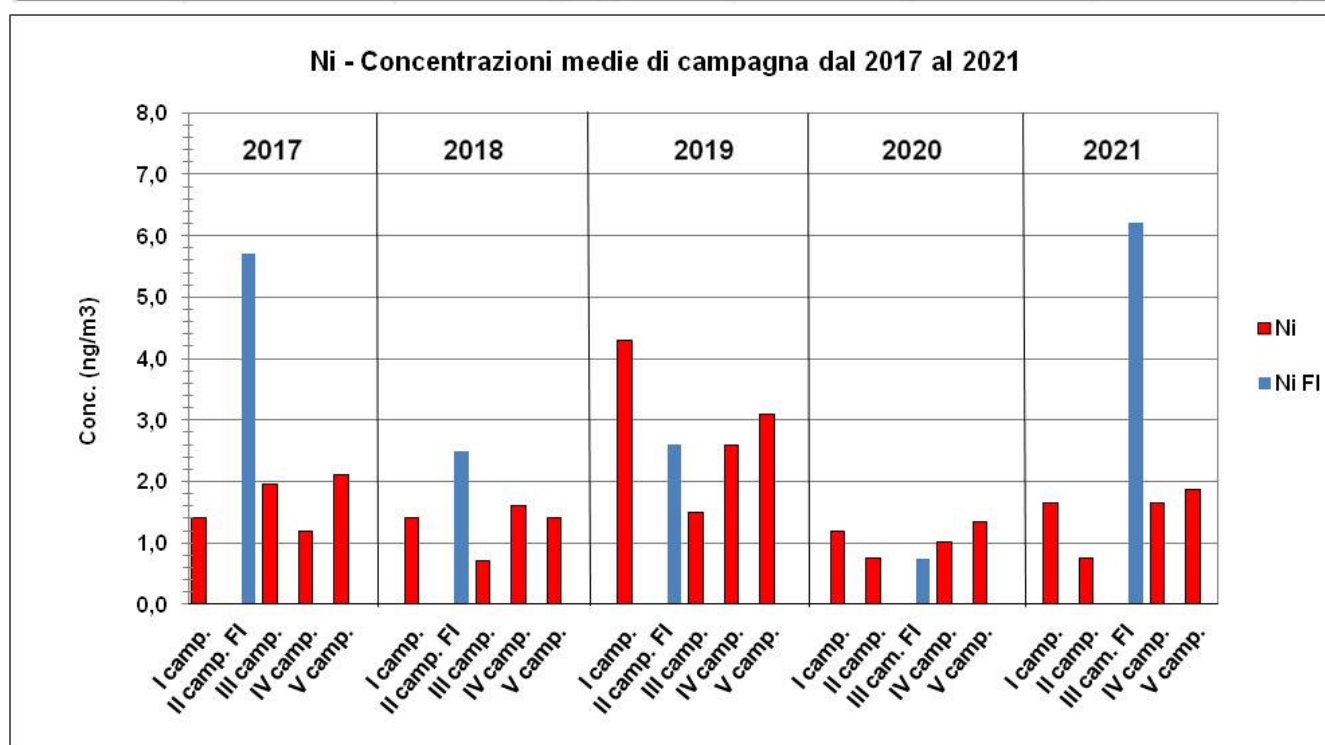
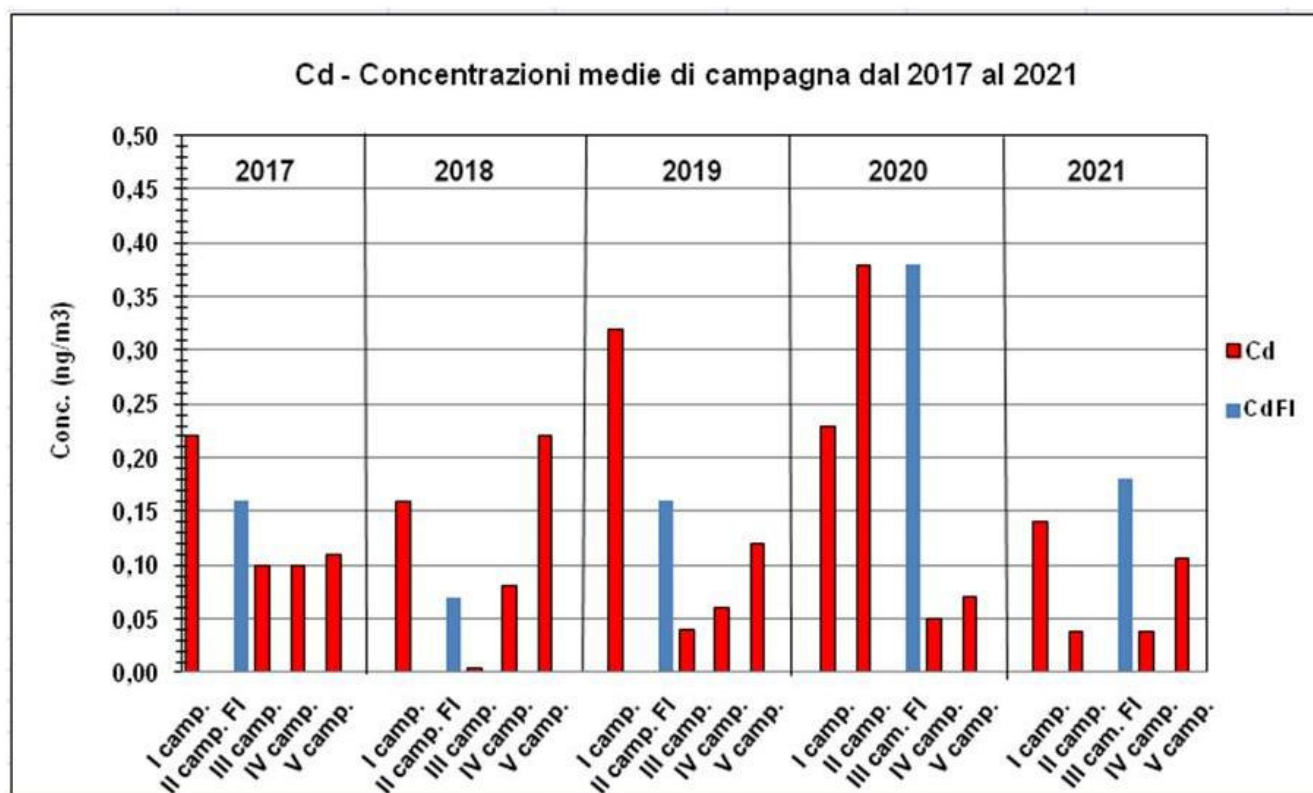


Figura 4.28 – Concentrazioni medie di campagna di cadmio, nichel e piombo nel particolato PM10 – Anno 2021

Per tutti i metalli analizzati per l'anno 2021, le concentrazioni medie risultano in linea o inferiori ai dati rilevati negli anni precedenti (2017-2021) e comunque inferiori ai limiti di legge. 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 e il trend stazionario (non in diminuzione per tutti i metalli) la valutazione dell'indicatore non può essere, in generale, positiva e suggerisce la continuazione di tale monitoraggio.

Seguono i grafici (Figura 4.29) delle concentrazioni medie di campagna dal 2017 al 2021:



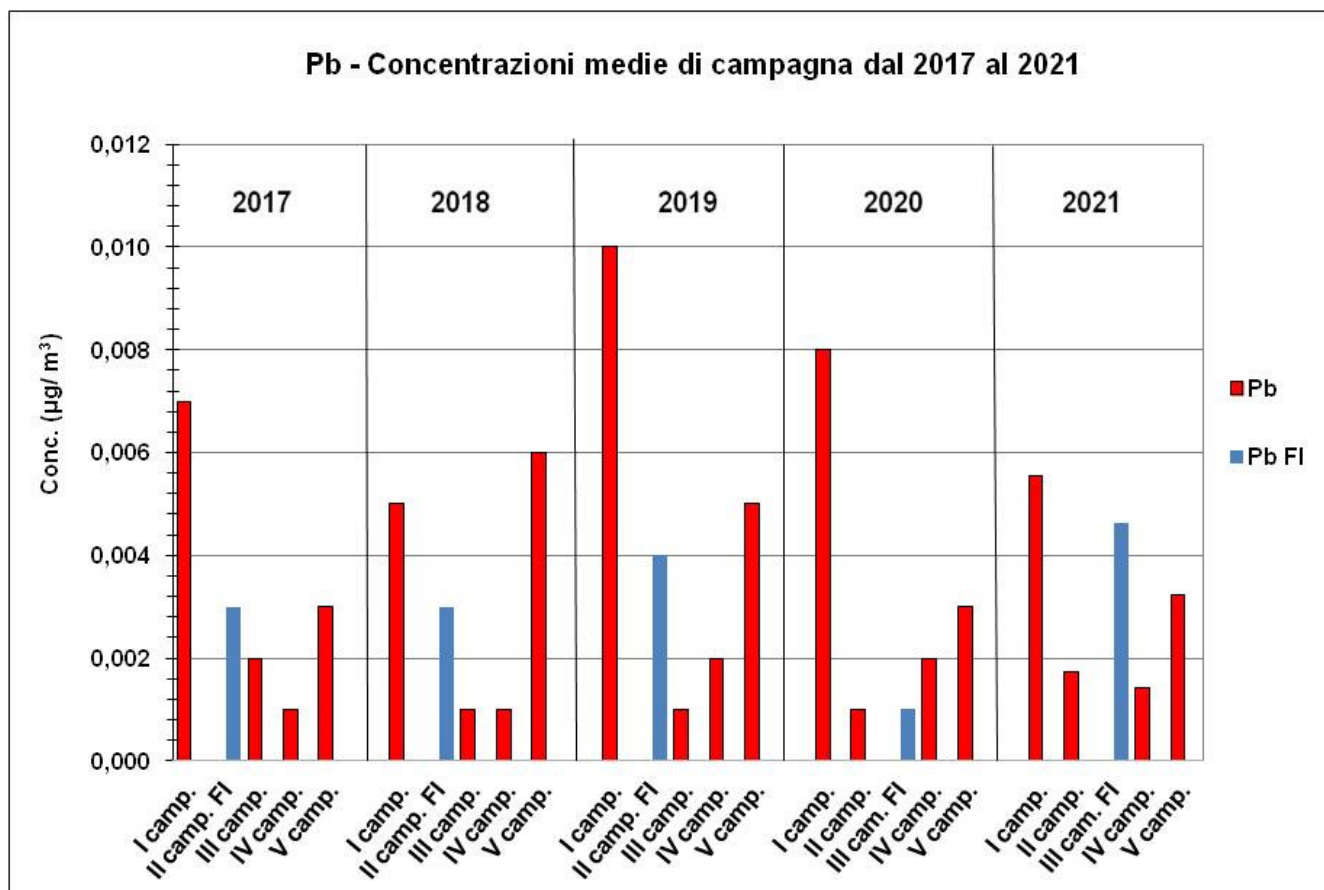


Figura 4.29 - Andamento delle concentrazioni medie di campagna di cadmio, nichel e piombo dal 2017 al 2021

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 del WHO (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 espressi in funzione dei I-TEF 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 l'OMS, 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".

Le campagne di misura effettuate (della durata di circa 16 giorni ciascuna) hanno frequenza trimestrale; in più è stata effettuata una campagna in occasione del fermo impianto (FI). In totale, nel corso del 2021, sono stati effettuati 83 campionamenti giornalieri, distribuiti in modo tal da rappresentare la variabilità stagionale (oltre a monitorare il FI).

Tabella 4.19 - Campagne e giorni di campionamento del particolato PM10 per misure indicative di IPA

<i>Campagna di misura</i>	<i>Periodo</i>	<i>N° giorni</i>
I Campagna	19 gennaio – 04 febbraio	17
II Campagna	08 aprile – 23 aprile	16
III Campagna (durante fermo impianto)	08 giugno – 23 giugno	16
IV Campagna	16 luglio – 01 agosto	17
V Campagna	12 ottobre – 28 ottobre	17
TOTALE		83

4.6.3.1 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 Rilevabilità (LR) sono stati considerati (cautelativamente) presenti per un valore pari alla metà del LR stesso.

Tabella 4.20 - Diossine (PCDD) e Furani (PCDF) – Concentrazioni medie di campagna e medie anno 2021 (ultima colonna)

PCDD e PCDF	<i>I campagna</i>	<i>II campagna</i>	<i>III campagna (FI)</i>	<i>IV campagna</i>	<i>V campagna</i>	MEDIA 2021
	<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	<1,4	<1,5	<1,5	<1,4	<1,4	0,72
1,2,3,7,8 P5CDD	7,1	<1,5	<1,5	<1,4	<1,4	1,99
1,2,3,4,7,8 H6CDD	<1,4	<1,5	<1,5	<1,4	<1,4	0,72
1,2,3,6,7,8 H6CDD	<1,4	<1,5	<1,5	<1,4	<1,4	0,72
1,2,3,7,8,9 H6CDD	<1,4	<1,5	<1,5	<1,4	<1,4	0,72
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	52,7	13,8	4,4	<1,4	26,7	19,63
O8CDD	100,3	14,0	22,0	12,9	61,8	42,22
2,3,7,8 T4CDF	9,9	<1,5	<1,5	<1,4	<1,4	2,55
1,2,3,7,8 P5CDF	6,6	2,3	<1,5	<1,4	1,8	2,44
2,3,4,7,8 P5CDF	18,1	<1,5	2,3	<1,4	2,6	4,89
1,2,3,4,7,8 H6CDF	7,8	3,2	3,6	<1,4	1,8	3,42
1,2,3,6,7,8 H6CDF	6,6	<1,5	2,5	3,7	3,3	3,38
2,3,4,6,7,8 H6CDF	12,1	4,4	3,6	<1,4	5,1	5,16
1,2,3,7,8,9 H6CDF	<1,4	<1,5	<1,5	1,7	<1,4	0,92
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	34,7	<1,5	6,8	4,4	6,3	10,58
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	<1,4	<1,5	<1,5	1,5	<1,4	0,88
O8CDF	11,7	<1,5	6,9	4,0	9,4	6,53

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 (International TEF – seconda colonna tabella 4.21), ottenendo il valore di concentrazione del congenere espresso in "diossina equivalente" (*dioxin like*).

In blu è indicata la concentrazione del composto presente a livello inferiore al limite di rilevabilità (LR), considerato (cautelativamente) presente per un valore pari alla metà del LR.

Tabella 4.21 – Diossine (PCDD) e Furani (PCDF) – Concentrazioni medie di campagna per congenere e come somma (ultima riga), e medie anno 2021 (ultima colonna) espresse in I-TEF fg/m³

<i>PCDD e PCDF</i>	<i>I-TEF</i>	<i>I campagna</i>	<i>II campagna</i>	<i>III campagna (FI)</i>	<i>IV campagna</i>	<i>V campagna</i>	<i>MEDIA 2021</i>
		<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>
2,3,7,8 T4CDD	1,000	0,696	0,745	0,745	0,701	0,696	0,717
1,2,3,7,8 P5CDD	0,500	3,534	0,372	0,372	0,351	0,348	0,996
1,2,3,4,7,8 H6CDD	0,100	0,070	0,074	0,074	0,070	0,070	0,072
1,2,3,6,7,8 H6CDD	0,100	0,070	0,074	0,074	0,070	0,070	0,072
1,2,3,7,8,9 H6CDD	0,100	0,070	0,074	0,074	0,070	0,070	0,072
1,2,3,4,6,7,8 H7CDD	0,010	0,527	0,138	0,044	0,007	0,264	0,196
O8CDD	0,001	0,100	0,014	0,022	0,013	0,061	0,042
2,3,7,8 T4CDF	0,100	0,985	0,074	0,074	0,070	0,070	0,255
1,2,3,7,8 P5CDF	0,050	0,332	0,115	0,037	0,035	0,091	0,122
2,3,4,7,8 P5CDF	0,500	9,049	0,372	1,146	0,351	1,285	2,441
1,2,3,4,7,8 H6CDF	0,100	0,782	0,321	0,355	0,070	0,182	0,342
1,2,3,6,7,8 H6CDF	0,100	0,664	0,074	0,252	0,367	0,332	0,338
2,3,4,6,7,8 H6CDF	0,100	1,210	0,436	0,355	0,070	0,503	0,515
1,2,3,7,8,9 H6CDF	0,100	0,070	0,074	0,074	0,173	0,070	0,092
1,2,3,4,6,7,8 H7CDF	0,010	0,347	0,007	0,068	0,044	0,062	0,106
1,2,3,4,7,8,9 H7CDF	0,010	0,007	0,007	0,007	0,015	0,007	0,009
O8CDF	0,001	0,012	0,001	0,007	0,004	0,009	0,007
SOMMA		18,524	2,975	3,783	2,482	4,189	6,391

In Figura 4.30 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali di diossine (espresse in femtogrammo su metro cubo [fg/m³]) adsorbite sul particolato PM10 raccolto in corrispondenza 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.

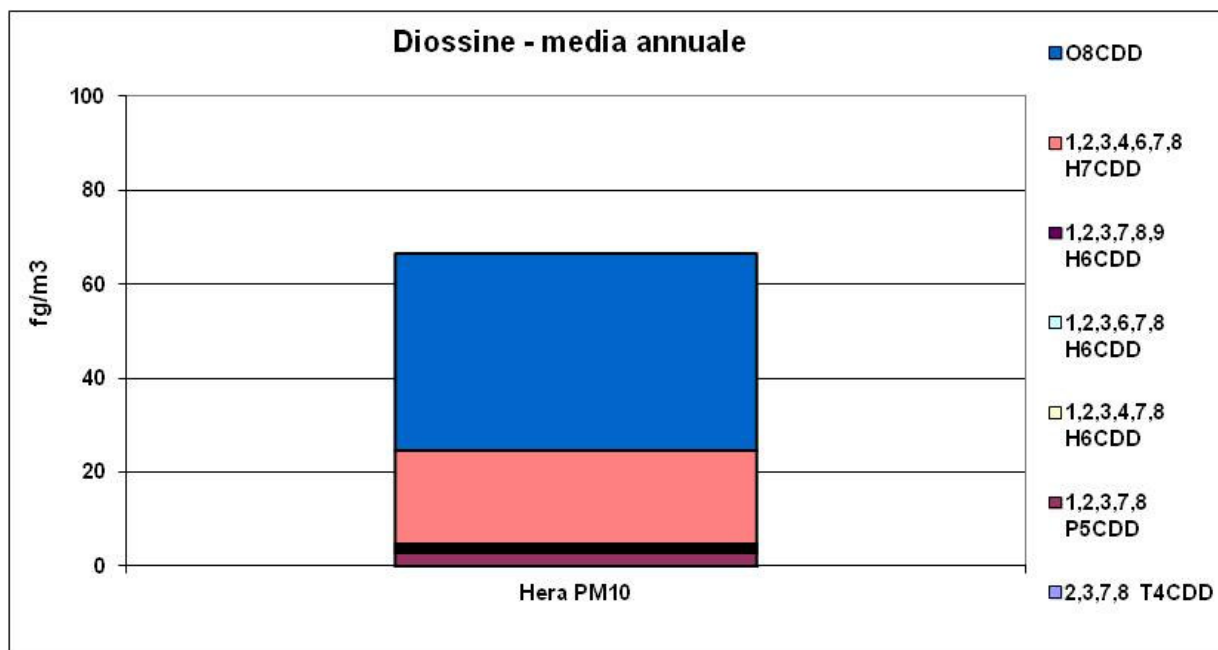


Figura 4.30 – concentrazioni medie annuali di diossine nel particolato – Anno 2021

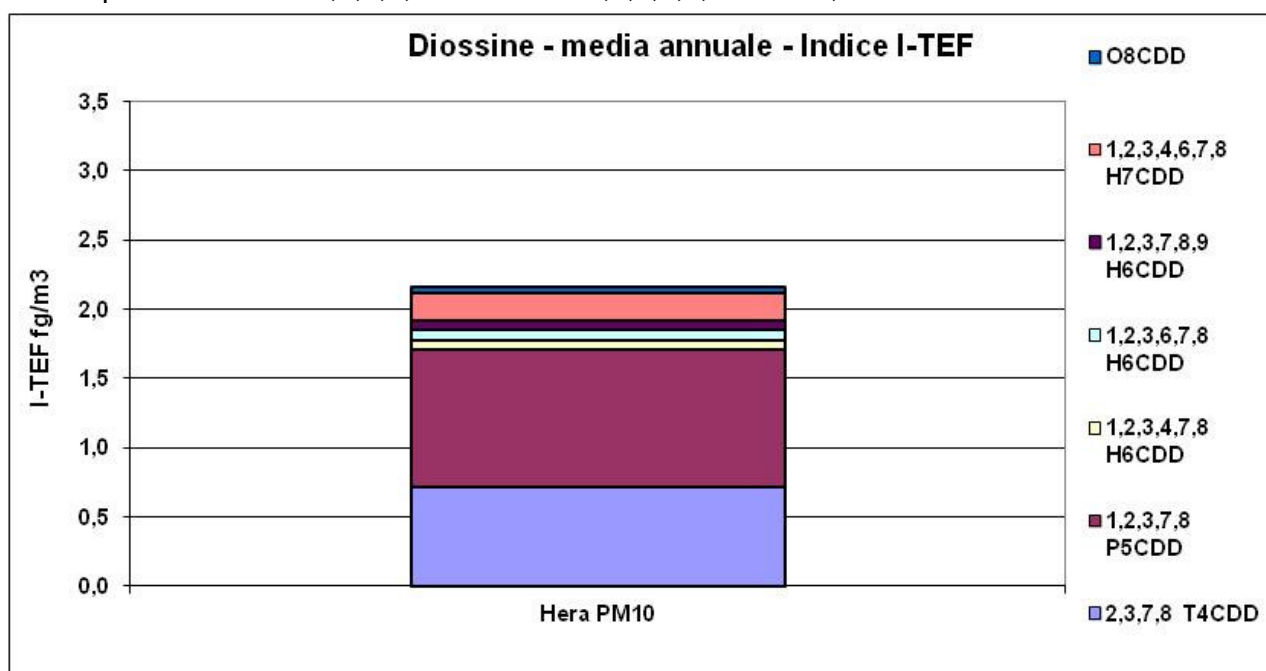
In generale, i congeneri che concorrono maggiormente sono O8CDD e 1,2,3,4,6,7,8 H7CDD, congeneri caratterizzati da un TEF (fattore di tossicità equivalente) pari, rispettivamente, a 0,001 e 0,010.

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 4.31).

In questo modo le concentrazioni totali I-TEF 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-TEF 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;



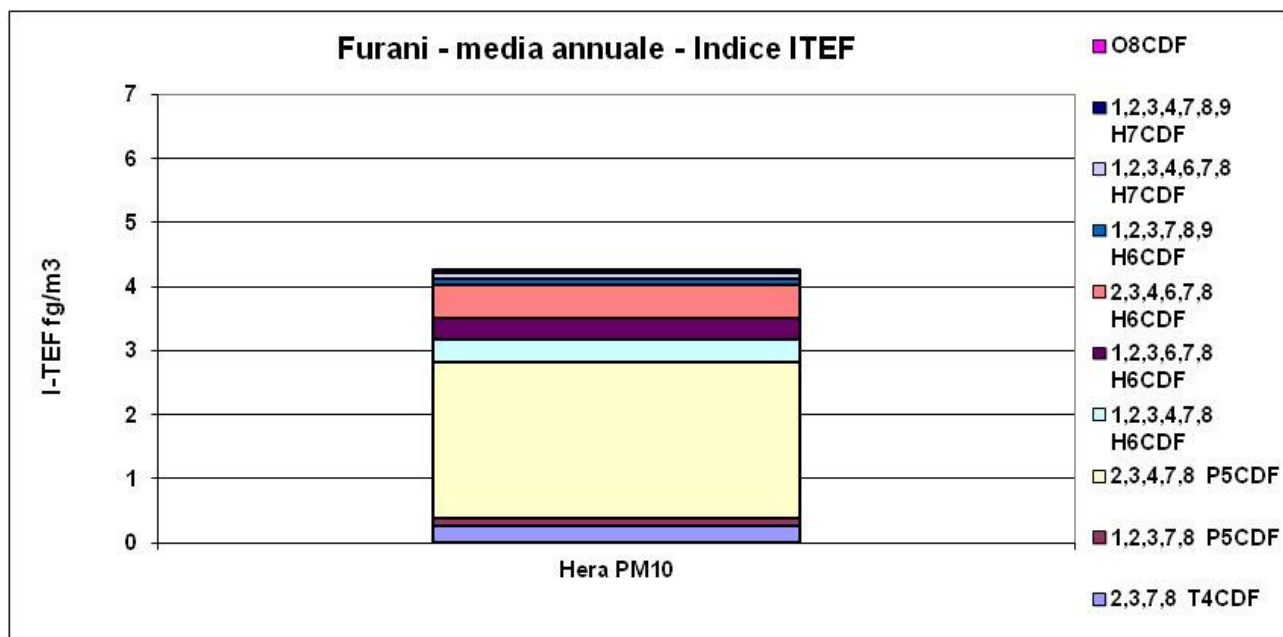


Figura 4.31 – PCDD e PCDF medie annuali 2021 considerando i I – TEF dei congeneri ricercati

In Figura 4.32a e 4.32b sono riportate le concentrazioni medie di campagna di PCDD e PCDF dal 2017 al 2021, espresse in termini di tossicità equivalente I-TEF.

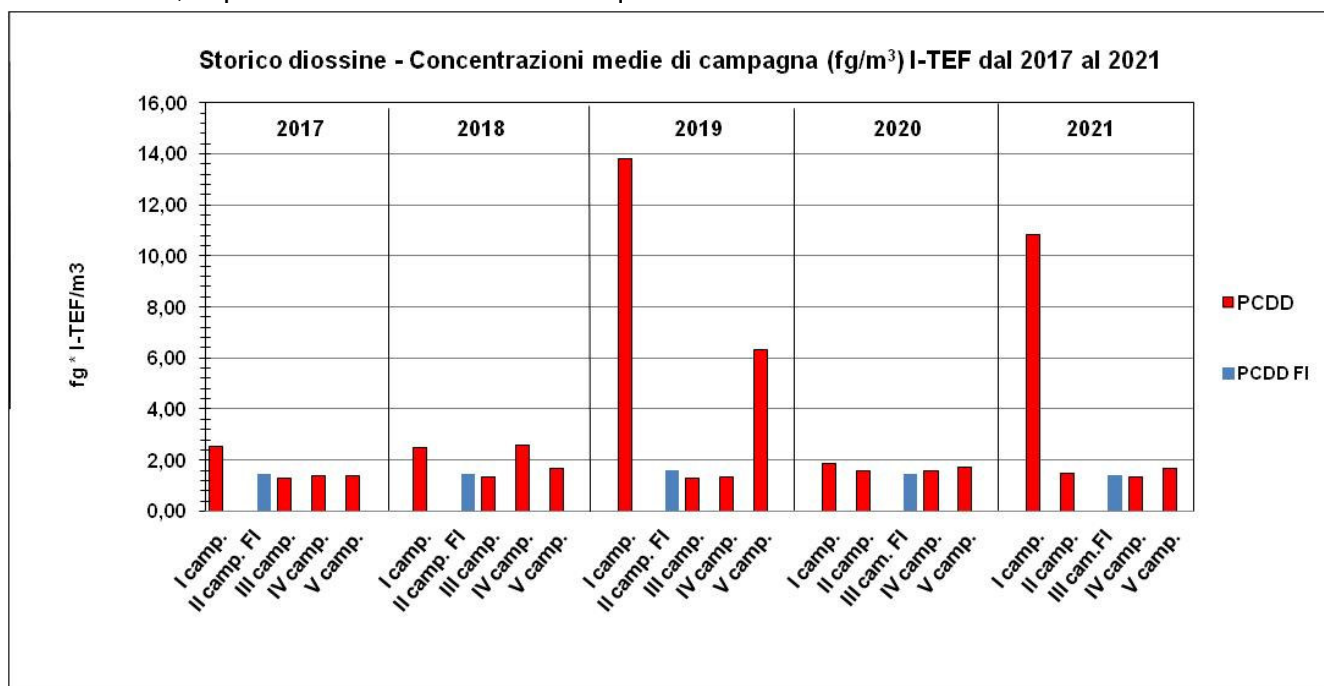


Figura 4.32a – Trend medie annuali per PCDD

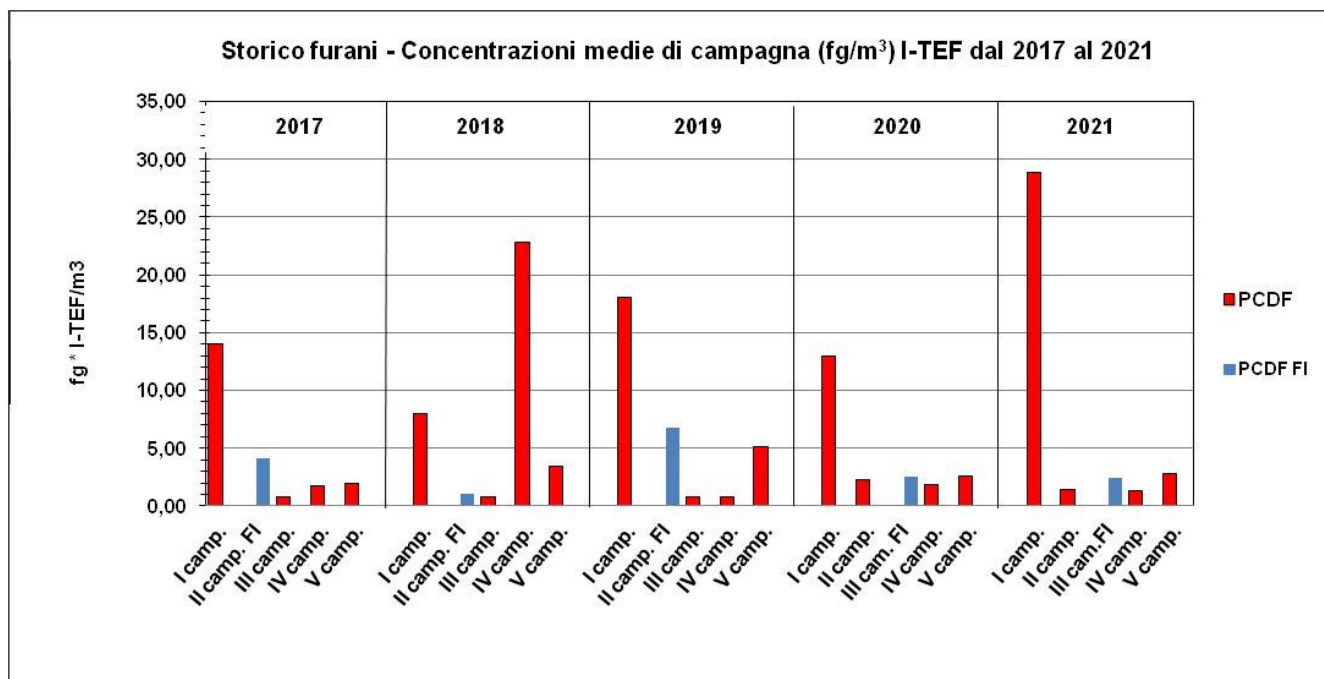


Figura 4.32b – Trend medie annuali per PCDF

4.6.3.2 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 perché hanno caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche paragonabili alle Diossine ed ai Furani, sono disponibili i I-TEF (riportati in seconda colonna nella tabella).

Tabella 4.22 – PCB e PCB Dioxin Like – Concentrazioni medie di campagna e medie anno 2021 (ultima colonna)

<i>PCB e PCB Dioxin Like</i>		<i>I campagna</i>	<i>II campagna</i>	<i>III campagna (FI)</i>	<i>IV campagna</i>	<i>V campagna</i>	<i>MEDIA 2021</i>
	<i>I-TEF</i>	<i>pg/m³</i>	<i>pg/m³</i>	<i>pg/m³</i>	<i>pg/m³</i>	<i>pg/m³</i>	<i>pg/m³</i>
#31 + #28	/	0,34	0,28	0,81	0,65	2,09	0,83
#52	/	1,38	0,28	0,66	0,77	0,48	0,71
#95	/	1,57	1,5	2,2	0,28	0,42	1,19
#101	/	2,67	2,57	3,98	3,27	5,69	3,64
#99	/	1,01	1,01	1,59	1,5	2,28	1,48
#110	/	2,52	2,74	4,35	3,72	5,75	3,82
#151	/	0,45	0,46	0,63	0,55	0,66	0,55
#149	/	2,51	1,71	2,51	2,2	0,29	1,84
#146	/	0,31	0,31	0,38	0,4	0,74	0,43
#153 + #168	/	2,11	2,2	3,25	2,98	1,35	2,38
#138	/	2,58	2,66	3,74	3,73	6,02	3,75
#187	/	0,39	0,47	0,66	0,64	1,09	0,65
#183	/	0,17	0,23	0,38	0,4	0,5	0,34
#177	/	0,16	0,21	0,38	0,35	0,44	0,31
#180 + #193	/	0,64	0,64	1,25	1,38	1,6	1,10
#170	/	0,19	0,24	0,45	0,6	0,73	0,44
#81	0,0003	<0,03	<0,03	0,06	0,04	<0,03	0,03
#77	0,0001	0,15	0,05	0,19	0,17	0,2	0,15
#123	0,00003	0,09	<0,03	0,07	0,04	0,12	0,07
#118	0,00003	2,98	2,77	4,31	4,48	5,89	4,09
#114	0,00005	0,09	0,09	0,13	0,11	0,14	0,11
#105	0,00003	1,3	1,33	1,96	2,05	2,46	1,82
#126	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,02
#167 + #128	0,00003	0,1	<0,03	0,15	0,15	0,13	0,11
#156	0,00003	0,19	0,11	0,37	0,41	0,27	0,27
#157	0,00003	0,04	<0,03	0,07	0,04	0,05	0,04
#169	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,02
#189	0,00003	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,02

Nella tabella 4.23 si riportano, per i PCB Dioxin Like, le concentrazioni espresse in I-TEF fg/m^3 relative alle singole campagne, alle medie del 2021 e alla somma (ultima riga).

Tabella 4.23 – PCB Dioxin Like – Concentrazioni medie di campagna per congenere e come somma (ultima riga), medie anno 2021 (ultima colonna) espresse in I-TEF fg/m³

<i>PCB e PCB Dioxin Like</i>		<i>I campagna</i>	<i>II campagna</i>	<i>III campagna (FI)</i>	<i>IV campagna</i>	<i>V campagna</i>	<i>MEDIA 2021</i>
	<i>I-TEF</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>	<i>I-TEF fg/m³</i>
#81	0,0003	0,0060	0,0060	0,0180	0,0120	0,0060	0,0096
#77	0,0001	0,0150	0,0050	0,0190	0,0170	0,0200	0,0152
#123	0,00003	0,0027	0,0006	0,0021	0,0012	0,0036	0,0020
#118	0,00003	0,0894	0,0831	0,1293	0,1344	0,1767	0,1226
#114	0,00005	0,0045	0,0045	0,0065	0,0055	0,0070	0,0056
#105	0,00003	0,0390	0,0399	0,0588	0,0615	0,0738	0,0546
#126	0,1	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
#167 + #128	0,00003	0,0030	0,0006	0,0045	0,0045	0,0039	0,0033
#156	0,00003	0,0057	0,0033	0,0111	0,0123	0,0081	0,0081
#157	0,00003	0,0012	0,0006	0,0021	0,0012	0,0015	0,0013
#169	0,03	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000
#189	0,00003	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
SOMMA		2,7671	2,7442	2,8520	2,8502	2,9012	2,8229

Alla luce di quanto esposto relativamente alla diversa tossicità dei composti analizzati, è utile considerare le concentrazioni medie annuali di diossine, furani e policlorobifenili adsorbite sul particolato, tenendo conto del rispettivo fattore di tossicità equivalente (I-TEF) (Figura 4.33).

In questo modo le concentrazioni totali I-TEF 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-TEF sono: il PCB 126 in misura maggiore e il PCB 169.

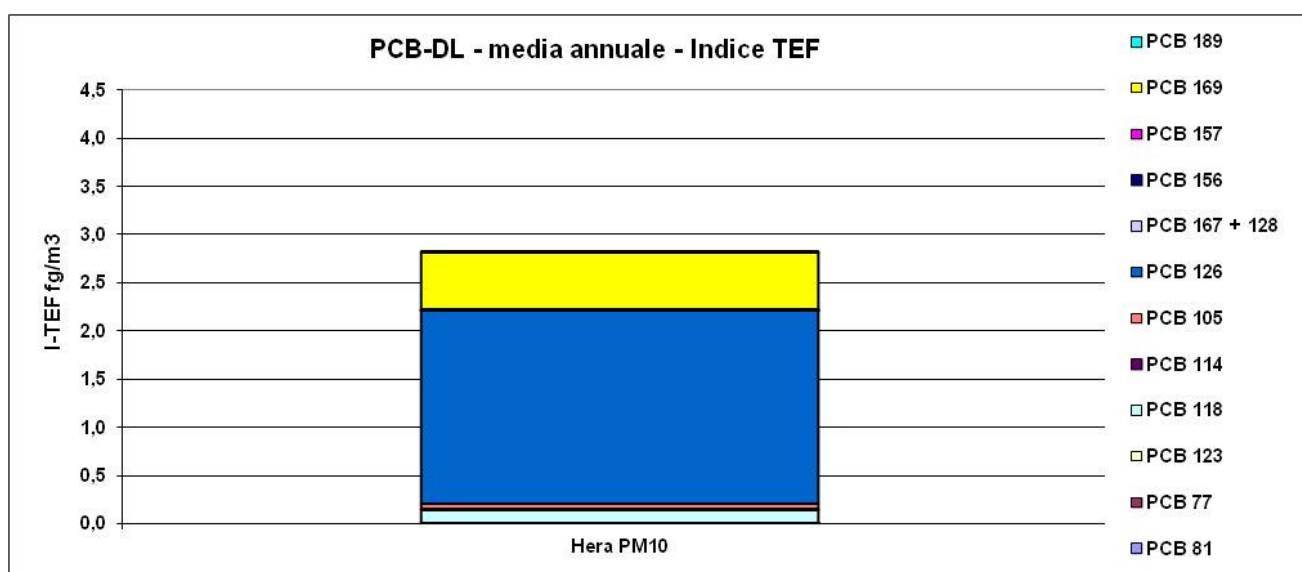


Figura 4.33 – PCB-DL medie annuali 2021 considerando i I – TEF dei congeneri ricercati

In Figura 4.34 sono riportate le concentrazioni medie di campagna di PCDB-DL dal 2017 al 2021, espresse in termini di tossicità equivalente I-TEF.

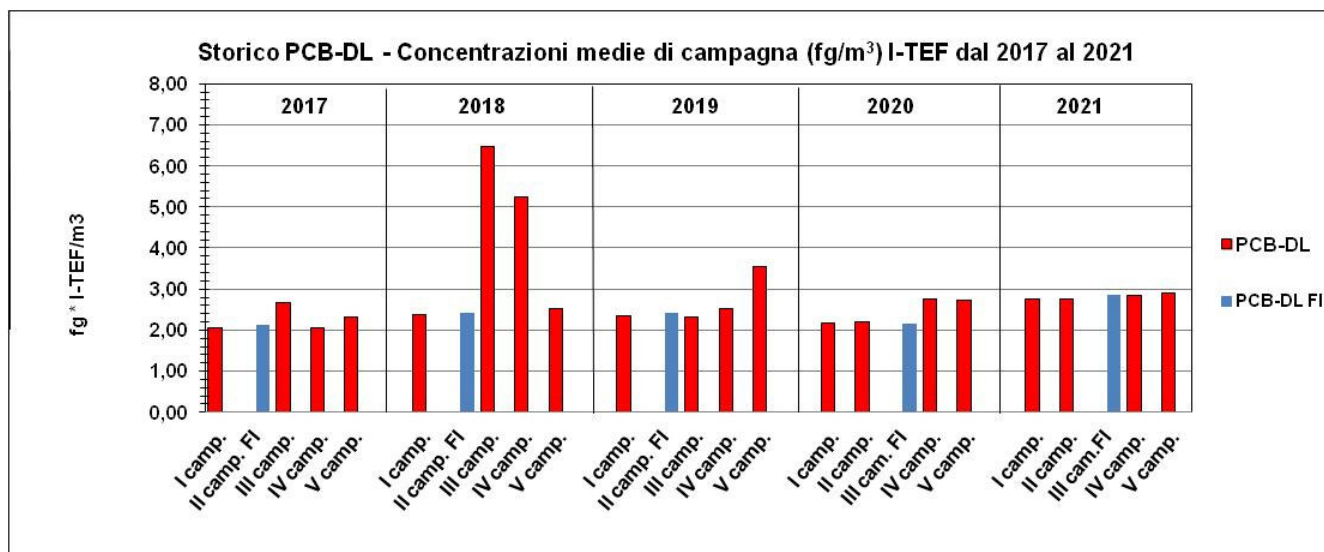


Figura 4.34 – Trend medie annuali per PCDB-DL