
Rete Regionale di Monitoraggio e Valutazione della Qualità dell'Aria

Città Metropolitana di Bologna

Report dei dati 2023

Unità Specialistica di Sistemi Ambientali Aria-CEM:

Marco Abeti, Andrea Aldrovandi, Luca Malaguti, Marco Trepiccione, Pamela Ugolini

Responsabile ad interim: Cristina Volta

Giugno 2024



Indice generale

INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
LA ZONIZZAZIONE DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA	4
LA RETE DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	5
CONDIZIONE METEOROLOGICA DEL TERRITORIO METROPOLITANO	5
Temperatura	6
Precipitazioni	7
Direzione e velocità del vento	8
Altezza di rimescolamento	10
Stabilità atmosferica	11
LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2023	13
BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO	15
OZONO	20
PARTICOLATO PM10	26
PARTICOLATO PM2.5	31
MONOSSIDO DI CARBONIO	35
BENZENE	38
ANALISI SUL PARTICOLATO	41
Idrocarburi Policiclici Aromatici	41
Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo	44
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	47

INQUADRAMENTO NORMATIVO

La norma quadro in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria è rappresentata dal D.Lgs n. 155/2010, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" e ss.mm.ii., che ha abrogato il Decreto Legislativo n. 351/99 e i rispettivi decreti attuativi (il DM 60/02, il Decreto Legislativo n.183/2004 e il DM 261/2002).

Il Decreto Legislativo n. 155/2010 indica gli obiettivi di qualità dell'aria ambiente e definisce i metodi e i criteri comuni per la caratterizzazione delle zone.

Il Decreto contiene inoltre le definizioni di:

- **valore limite**, livello fissato dalla normativa in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso; tale livello deve essere raggiunto entro un dato termine e successivamente non superato (articolo 2, comma 1, lettera h);
- **valore obiettivo**, livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita (articolo 2, comma 1, lettera m);
- **soglia di informazione**, livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive (articolo 2, comma 1, lettera o);
- **soglia di allarme**, livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati (articolo 2, comma 1, lettera n);
- **livello critico**, livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti su recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi naturali, esclusi gli esseri umani (articolo 2, comma 1, lettera i);
- **obiettivi a lungo termine**, livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente (articolo 2, comma 1, lettera p),

ed individua l'elenco degli inquinanti per i quali è obbligatorio il monitoraggio:

- ossidi e biossido di azoto, NO₂ e NO_x
- biossido di zolfo, SO₂
- monossido di carbonio, CO
- ozono, O₃
- particolato con diametro aerodinamico ≤ 10 µm, PM₁₀
- particolato con diametro aerodinamico ≤ 2,5 µm, PM_{2,5}
- benzene
- benzo(a)pirene, benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene e dibenzo(a,h)antracene
- piombo, arsenico, cadmio, nichel, mercurio
- precursori dell'ozono.

stabilendo le modalità di trasmissione e i contenuti delle informazioni sullo stato della qualità dell'aria da inviare al Ministero dell'Ambiente.

LA ZONIZZAZIONE DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA

L'articolo 3 del D.Lgs n°155 del 13 agosto 2010 e ss.mm.ii, impone la suddivisione dell'intero territorio nazionale in zone e agglomerati da classificare ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente.

La zonizzazione ed il suo riesame in caso di variazioni sono affidati alle regioni.

La Regione Emilia Romagna con la DGR del 27/12/2011 n. 2001 e successiva DGR del 23/12/2013 n.1998 ripartisce e codifica il territorio regionale nella seguente maniera: un Agglomerato comprendente Bologna e comuni limitrofi, la zona Appennino, la zona Pianura Ovest e la zona Pianura Est come rappresentato nella Figura 1.

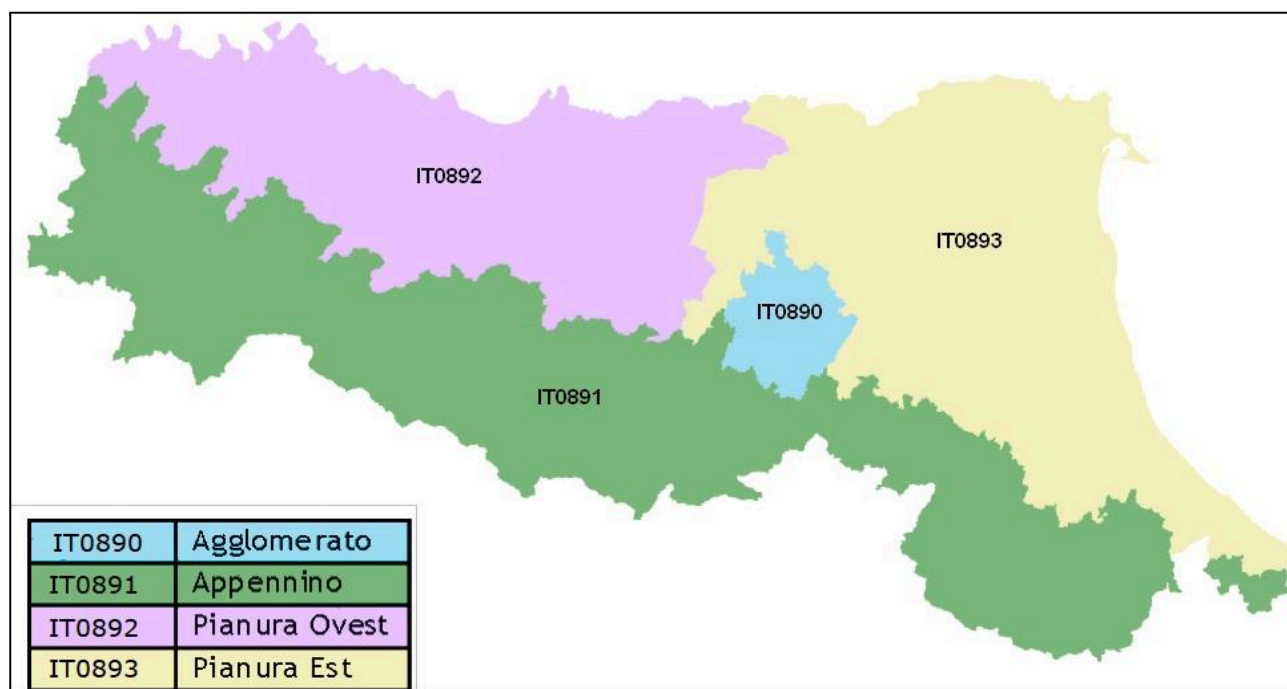


Figura 1 - Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011

Il territorio della Città Metropolitana di Bologna comprende interamente l'Agglomerato, parte della zona Appennino e parte della zona Pianura Est. In Tabella 1 sono indicati i comuni che ricadono nelle zone individuate.

Agglomerato	Argelato, Bologna, Calderara di Reno, Casalecchio di Reno, Castel Maggiore, Castenaso, Granarolo dell'Emilia, Ozzano dell'Emilia, Pianoro, San Lazzaro di Savena, Sasso Marconi, Zola Predosa
Pianura Est	Anzola dell'Emilia, Baricella, Bentivoglio, Budrio, Castel Guelfo di Bologna, Castel San Pietro Terme, Castello d'Argile, Crevalcore, Dozza, Galliera, Imola, Malalbergo, Medicina, Minerbio, Molinella, Mordano, Pieve di Cento, Sala Bolognese, San Giorgio di Piano, San Giovanni in Persiceto, San Pietro in Casale, Sant'Agata Bolognese, Valsamoggia (ex-Bazzano, ex-Crespellano, ex-Monteveglio)
Appennino	Alto Reno Terme (ex-Granaglione, ex-Porretta Terme), Borgo Tossignano, Camugnano, Casalfiumanese, Castel del Rio, Castel di Casio, Castiglione dei Pepoli, Fontanelice, Gaggio Montano, Grizzana, Lizzano in Belvedere, Loiano, Marzabotto, Monghidoro, Monte San Pietro, Monterenzio, Monzuno, San Benedetto Val di Sambro, Pian del Voglio, Valsamoggia (ex-Castello di Serravalle, ex-Savigno), Vergato

Tabella 1 - Zonizzazione per la Città Metropolitana di Bologna DGR 27/12/2011

LA RETE DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

La rete di monitoraggio della Città Metropolitana di Bologna è attualmente costituita da 7 stazioni di misura, distribuite su 5 comuni, così come riportato in Tabella 2 e Figura 2, dove è anche indicata la zonizzazione territoriale ai fini della qualità dell'aria.

	STAZIONE	TIPO	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	BTX
Agglomerato	Bologna - Porta San Felice	Traffico urbano	✓	✓	✓	✓		✓
	San Lazzaro di Savena	Traffico urbano	✓		✓			
	Bologna - Giardini Margherita	Fondo urbano	✓		✓	✓	✓	
	Bologna - Chiarini	Fondo suburbano	✓		✓		✓	
Pianura Est	Imola - De Amicis	Traffico urbano	✓		✓			
	Molinella - San Pietro Capofiume	Fondo rurale	✓		✓	✓	✓	
Appennino	Alto Reno Terme - Castelluccio	Fondo remoto	✓		✓	✓	✓	

Tabella 2 - Stazioni e parametri della rete di monitoraggio

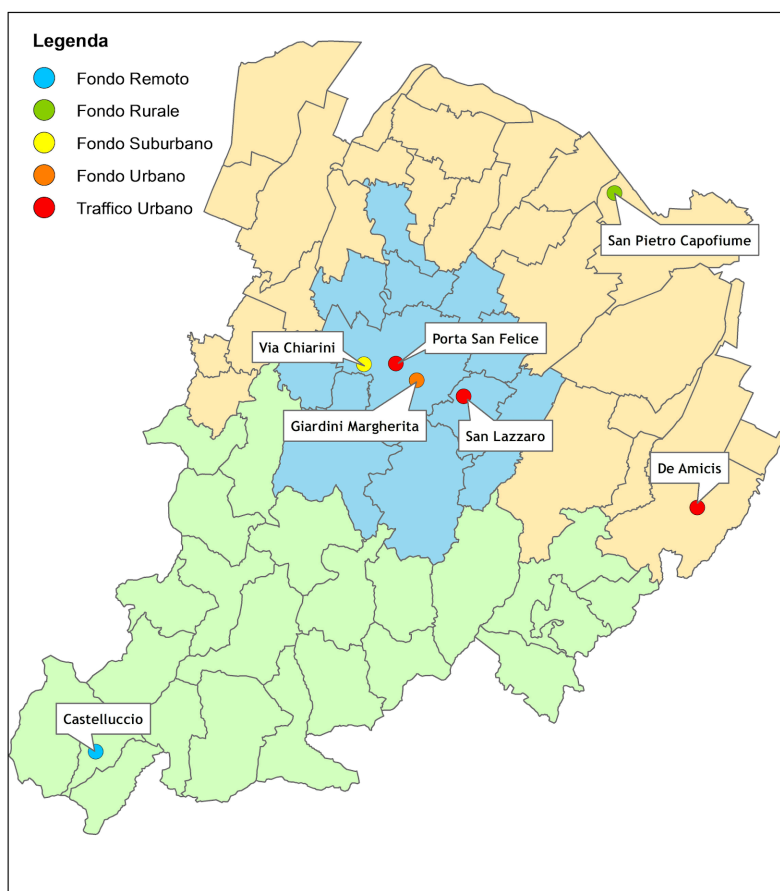


Figura 2 - Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria

CONDIZIONE METEOROLOGICA DEL TERRITORIO METROPOLITANO

La qualità dell'aria è il risultato di una complessa compartecipazione di vari fattori: le emissioni dirette di inquinanti primari da sorgenti antropiche o naturali, i processi dinamici che hanno luogo nei bassi strati dell'atmosfera (e che sono alla base dei meccanismi di accumulo, dispersione, rimozione ecc.) e le trasformazioni chimico-fisiche che possono portare alla formazione di nuove specie (inquinanti secondari).

Le condizioni meteorologiche influiscono sulle concentrazioni misurate localmente, essendo determinanti dal punto di vista dell'efficacia dei meccanismi di trasporto orizzontale, rimescolamento verticale, rimozione per deposizione e trasformazione degli inquinanti in atmosfera.

Ad integrazione della presentazione dei dati rilevati dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria, si riportano pertanto le statistiche mensili o stagionali dei principali indicatori meteorologici, rilevati nel periodo di osservazione (anno 2023) presso la stazione di San Pietro Capofiume. I dati della stazione Bologna Urbana presi a riferimento fino al 2021 non sono disponibili in quanto la stessa risulta a tutt'oggi in fase di ricollocazione e ristrutturazione.

In particolare vengono esaminate le seguenti variabili:

- temperatura;
- precipitazioni;
- direzione e velocità del vento;
- altezza di rimescolamento;
- stabilità atmosferica.

Per alcuni parametri è stato effettuato il confronto con i dati registrati nel 2022, sempre presso la stazione di San Pietro Capofiume, e con il clima di riferimento relativo al trentennio 1961-1990 per la stazione di Bologna - Borgo Panigale.

Per altezza di rimescolamento e classi di stabilità nell'area urbana di Bologna si fornisce una descrizione generale basata su dati recenti derivati dal modello meteorologico COSMO-LAMA.

Nelle sezioni dedicate ai parametri di qualità dell'aria vengono fornite indicazioni circa l'influenza della meteorologia sulla possibile occorrenza di eventi critici, con particolare riguardo ai giorni favorevoli all'accumulo di particolato ed alla formazione di ozono.

Temperatura

In Figura 3 sono analizzati gli andamenti delle temperature minima, media e massima mensili (in °C) per l'anno in esame; sono riportati inoltre i valori normali climatici (riferiti al trentennio 1961-1990) delle temperature medie e gli scostamenti rispetto al 2022.

Il 2023 ha visto le temperature variare tra il minimo di circa -7°C, registrato a febbraio, e gli oltre 37,5°C di massima misurati in agosto. Altri valori al di sotto degli 0°C si sono registrati anche a gennaio, marzo, aprile, novembre e dicembre.

In generale il 2023 è risultato sostanzialmente in linea con l'anno precedente, pur evidenziando una prima parte dell'anno mediamente più calda, seguita da una tarda primavera-estate caratterizzata da temperature medie più basse; alternanza che si è poi ripetuta con meccanismo simile anche nell'ultimo quadrimestre dell'anno.

Complessivamente il 2023 è comunque risultato l'anno con la media più elevata dal 1961, con temperature quasi sempre al di sopra del clima di riferimento, sia nei mesi estivi che in quelli invernali. Il confronto con il trentennio climatico 1961-1990 mostra temperature medie mensili nel complesso superiori al clima di riferimento per un valore medio annuale di +1.5°C. Ottobre è stato il mese col maggior scarto positivo rispetto alla serie climatica 1961-90, mentre aprile è risultato quello più al di sotto del valore atteso.

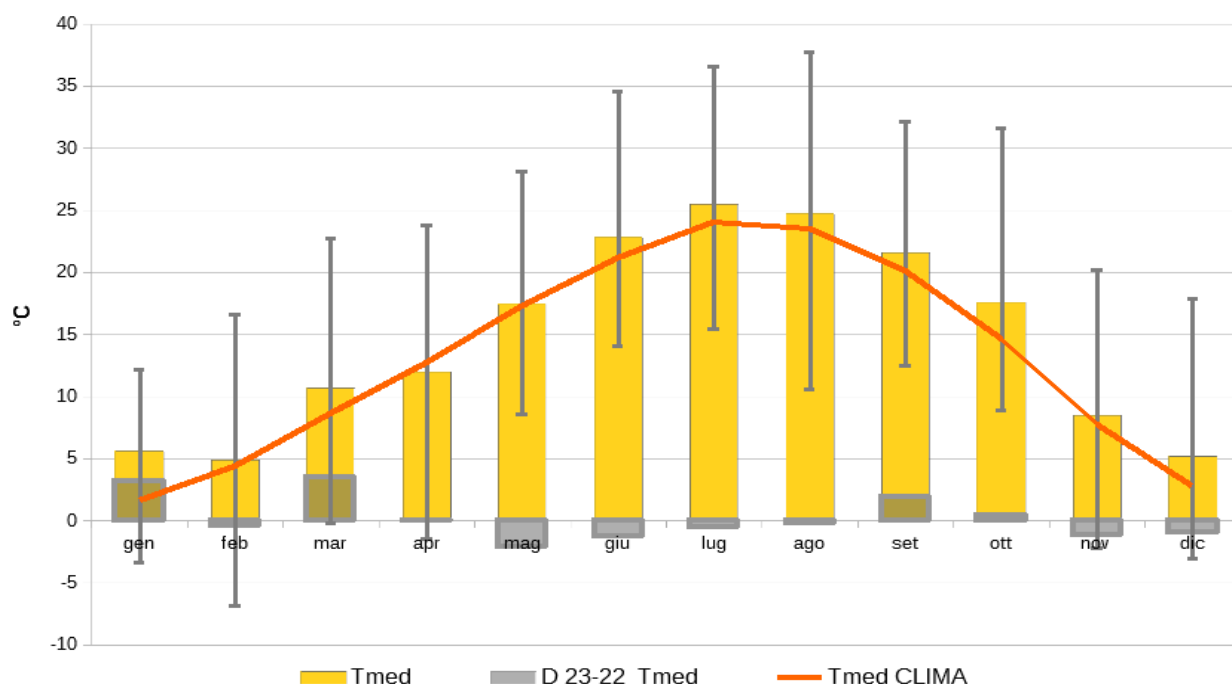


Figura 3 - San Pietro Capofiume: temperature mensili (°C)

Precipitazioni

La precipitazione può risultare un fattore influente nell'efficacia dei meccanismi di rimozione degli inquinanti, in base alla quantità di pioggia ma anche grazie al significativo rimescolamento delle masse d'aria associato al passaggio delle perturbazioni.

Per quanto riguarda la quantità di precipitazioni, in Figura 4 sono rappresentate le cumulate mensili (mm) dell'anno in esame, i valori normali climatici di queste e gli scostamenti rispetto al 2022.

Nell'anno in esame, il regime delle precipitazioni è stato caratterizzato dagli eventi estremi che hanno avuto luogo nel mese di maggio 2023, quando, in due impulsi pluviometrici a pochi giorni di distanza, la Romagna e le aree centrali della regione sono state interessate da piogge che hanno scaricato tra un quarto e la metà del quantitativo atteso per l'intero anno. In particolare, a Bologna sono caduti più di 130 mm di pioggia, oltre il 22% del totale annuale che è stato di quasi 593 mm.

Il confronto con l'anno precedente mostra un modesto incremento delle precipitazioni (+15%) che ha interessato soprattutto, oltre al già citato mese di maggio, quelli di gennaio, luglio, settembre e ottobre. Si sono tuttavia registrati anche forti decrementi delle piogge cadute, come nei mesi di aprile, agosto ed in particolare nei due mesi finali di novembre e dicembre.

Il confronto con il riferimento climatico (periodo 1961-1990) evidenzia un livello di precipitazione inferiore del 16% circa rispetto alle attese, con una distribuzione profondamente irregolare, caratterizzata da episodi molto intensi (maggio, luglio e settembre) e lunghi periodi di scarsità (come i trimestri febbraio-aprile e ottobre-dicembre).

Dal punto di vista della rimozione degli inquinanti tramite meccanismi di deposizione umida, viene fissata come soglia di significatività una precipitazione cumulata giornaliera di 0,3 mm (sopra ai valori della sensibilità strumentale e di fenomeni di condensa di rugiade e umidità atmosferica).

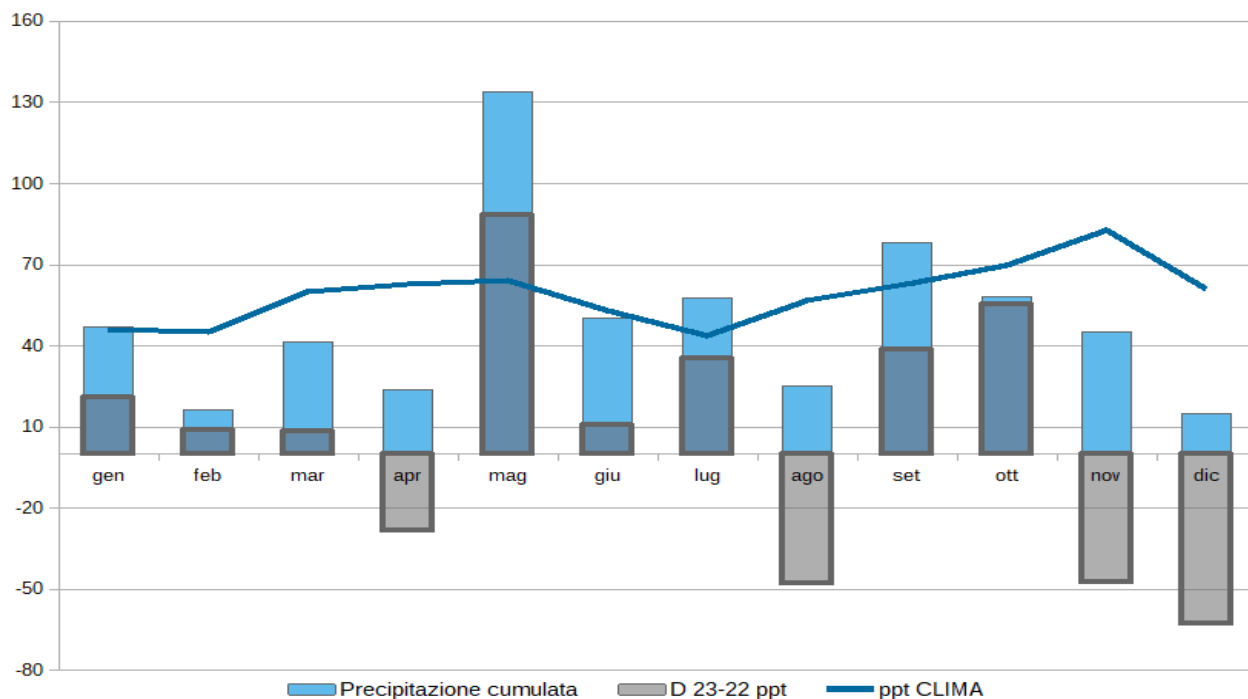


Figura 4 - San Pietro Capofiume: precipitazione cumulata mensile (mm)

Direzione e velocità del vento

Il vento costituisce un fattore determinante nella dinamica del trasporto degli inquinanti: la direzione prevalente può fornire indicazioni sulle zone da e verso cui questi tendono ad essere trasportati, mentre la velocità del vento influenza la rapidità di allontanamento dalle sorgenti di emissione e i meccanismi di accumulo.

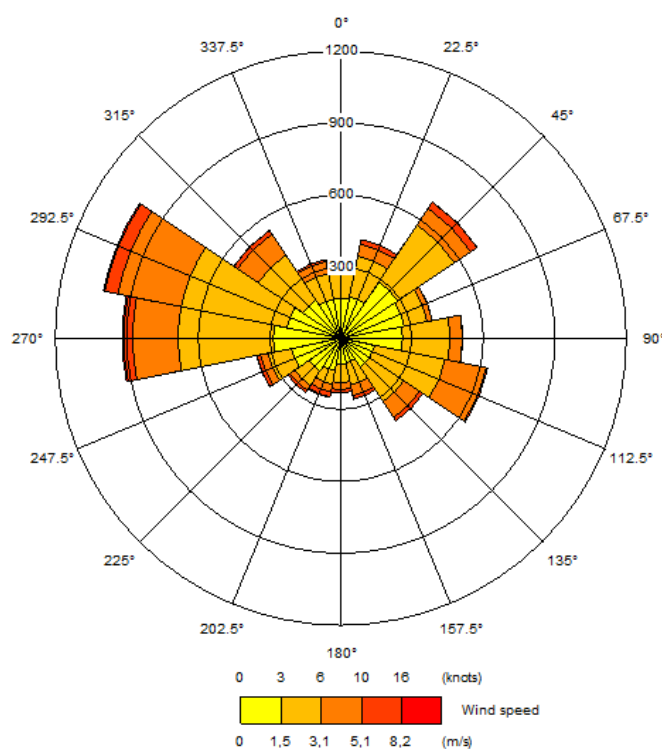


Figura 5 - San Pietro Capofiume: rosa dei venti, anno 2023

La rosa dei venti annuale riportata in Figura 5 costituisce la rappresentazione della distribuzione in frequenza delle classi di velocità media oraria del vento (m/s) per direzione di provenienza (°) per il 2023. In generale si osserva una netta prevalenza delle classi di intensità relativamente modesta (con valori fino a 3m/s) con direzioni principali su base annuale nei quadranti nord occidentali e sud orientali. Le velocità maggiori provengono da Ovest Nord Ovest.

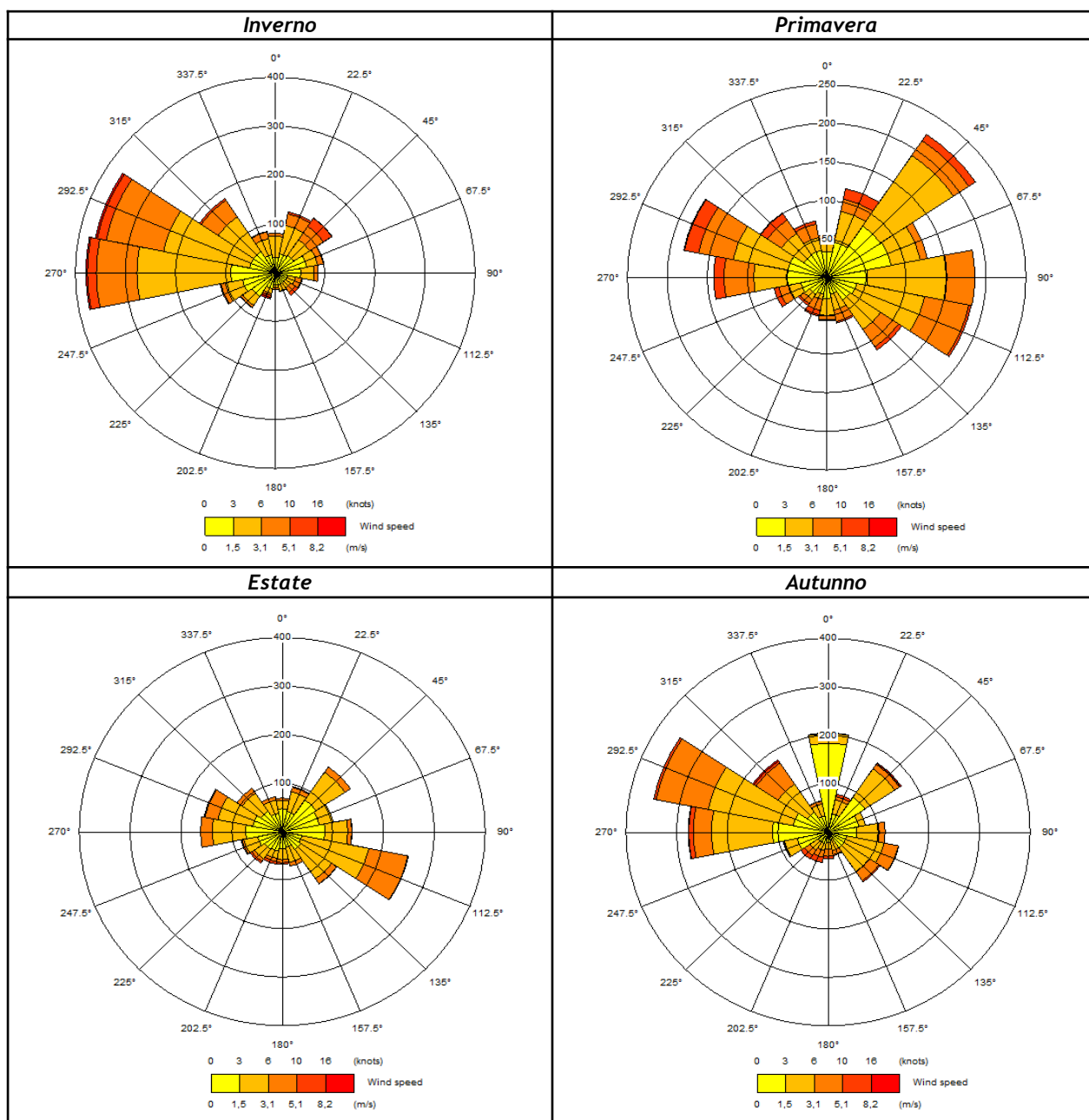


Figura 6 - San Pietro Capofiume: rose dei venti stagionali 2023

In Figura 6 vengono riportati gli andamenti dei profili anemometrici elaborati su base stagionale relativi all'anno 2023. Tale rappresentazione permette di evidenziare le diverse caratteristiche stagionali del periodo in esame. Nei mesi invernali (gen-feb-dic) prevale la dominante Ovest Nord Ovest con velocità più frequentemente comprese entro i 3 m/s, seppur non siano mancate componenti di vento con velocità superiore a 10 m/s e punte orarie fino a 10.9 m/s.

In primavera (mar-apr-mag) si osserva una distribuzione più uniforme nella provenienza dei venti di cui le componenti principali risultano attestare da Est Nord Est e Ovest Nord Ovest e una maggior presenza di classi di velocità più elevate soprattutto tra 5.5 e 8 m/s, con punte orarie fino a 9 m/s. Aumenta inoltre la componente dal primo quadrante con velocità comprese nell'intervallo 3 - 5 m/s, che raggiungono a maggio massimi prossimi a 8 m/s .

Nei mesi estivi (giu-lug-ago) si contraggono notevolmente le direzioni del primo e quarto quadrante e i venti si dispongono principalmente dai quadranti sud occidentali a velocità mediamente più basse. Si osserva una dominante da Sud Est con velocità prevalenti entro 3-5 m/s che hanno raggiunto picchi orari fino a 6 m/s a fine agosto. In autunno (set-ott-nov) la direttrice Sud Est diminuisce a favore di venti prevalenti da Ovest e Nord Ovest con un incremento delle velocità delle classi più elevate.

La suddivisione dei dati di velocità del vento secondo la scala Beaufort (Tabella 3) evidenzia come valori compresi tra 0,3 e 3,3 m/s rimangano i più frequenti, rappresentando quasi sempre dall' 80 al 90% del campione mensile e circa l'83% su base annuale.

Tra le varie classi, è prevalso nel 2023 il grado 2 "brezza leggera" (1,6-3,3 m/s), mentre il grado 1 "bava di vento" (0.3-1.5m/s) frequente in tutti i mesi, ha presentato una occorrenza maggiore rispetto all'anno precedente. Si registra anche un leggero incremento, rispetto al 2022, della classe 4 (vento moderato). Data la posizione della stazione meteo ubicata in ambito rurale, quindi non influenzata dalla "geografia urbana", risultano popolate anche classi di vento superiori a 8 m/s fino al grado 6 (vento fresco) nei mesi di ottobre e dicembre, con punte decisamente positive a dicembre per il grado 5 (vento teso).

Il maggior numero di "calme" (<0,2 m/s) si è registrato nei mesi di giugno e agosto.

La netta prevalenza delle classi di vento maggiori negli ultimi mesi dell'anno, ha reso l'inverno 2023 uno dei più ventosi.

Termini descrittivi	Calma	Bava di vento	Brezza leggera	Brezza tesa	Vento moderato	Vento teso	Vento fresco	Vento forte	(omissis)
Grado Beaufort	0	1	2	3	4	5	6	7	...
m/s	0.0 - 0.2	0.3 - 1.5	1.6 - 3.3	3.4 - 5.4	5.5 - 7.9	8.0 - 10.7	10.8 - 13.8	13.9 - 17.1	...
GEN	0,3%	30,5%	47,5%	17,3%	4,2%	0,1%	0,0%	0,0%	...
FEB	0,3%	41,9%	41,7%	13,1%	2,6%	0,3%	0,0%	0,0%	...
MAR	0,3%	33,2%	39,3%	20,4%	6,1%	0,7%	0,0%	0,0%	...
APR	0,3%	38,0%	41,3%	19,4%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	...
MAG	0,2%	41,7%	43,3%	10,6%	4,2%	0,0%	0,0%	0,0%	...
GIU	1,4%	46,1%	44,5%	7,9%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	...
LUG	0,8%	44,4%	48,7%	6,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	...
AGO	1,2%	45,7%	39,8%	11,3%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	...
SET	0,5%	38,3%	48,8%	11,6%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	...
OTT	0,6%	43,7%	40,8%	11,2%	2,9%	0,4%	0,3%	0,0%	...
NOV	0,2%	44,3%	36,1%	13,7%	5,4%	0,5%	0,0%	0,0%	...
DIC	0,9%	37,0%	43,4%	14,6%	2,5%	1,6%	0,1%	0,0%	...
ANNO	0,6%	40,3%	42,9%	13,2%	2,7%	0,3%	0,0%	0,0%	...

frequenza percentuale: 0-5% 5-45% > 45%

Tabella 3 - Distribuzione delle velocità del vento secondo la scala Beaufort, anno 2023

Altezza di rimescolamento

Lo strato di rimescolamento si estende dal suolo alla zona di inversione termica ed è lo strato all'interno del quale i moti turbolenti di origine sia termica (legati al riscaldamento della superficie) che meccanica (legati all'azione del vento) pilotano la dispersione degli inquinanti.

In linea generale un maggior spessore di tale strato indicherà un più efficace rimescolamento verticale e quindi una più alta probabilità di misurare minori concentrazioni degli inquinanti al suolo.

L'altezza dello strato di rimescolamento è soggetta a variazioni giornaliere e stagionali, dipendendo anche dal ciclo radiativo del suolo oltre che dalle condizioni meteorologiche.

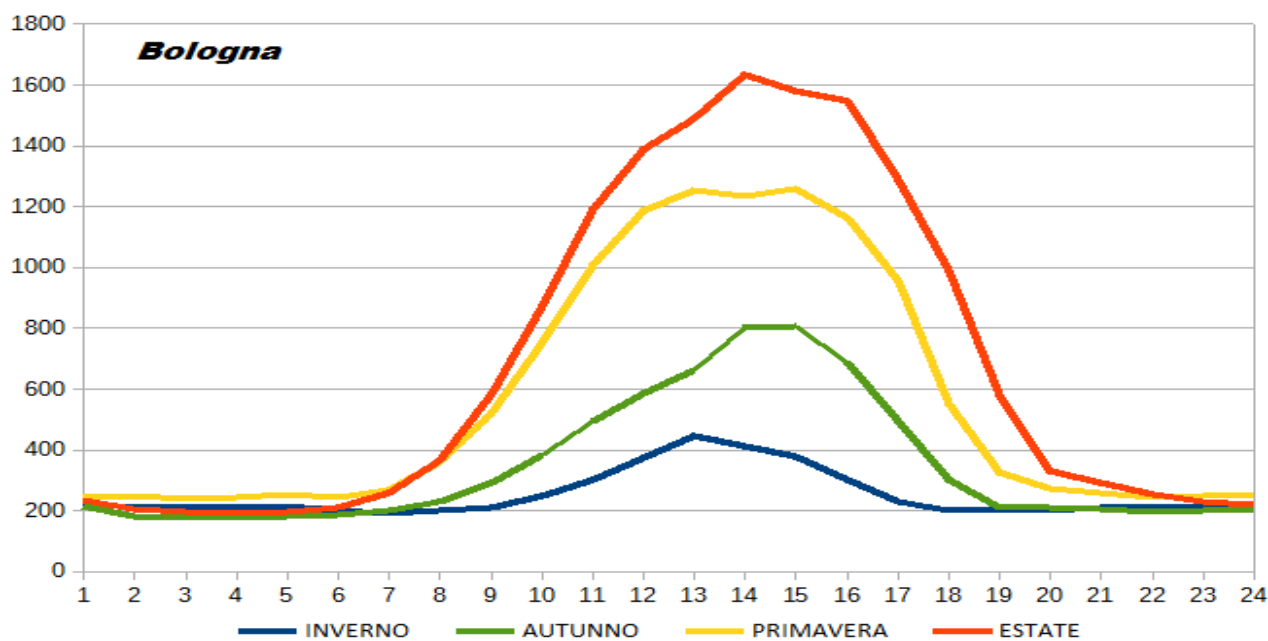


Figura 7 - Bologna: esempio andamenti altezza di rimescolamento (m) nel giorno tipo stagionale

In Figura 7 è riportato un esempio degli andamenti medi sulle 24 ore dell'altezza di rimescolamento (m) nelle diverse stagioni (giorno tipo stagionale).

In generale, si osserva un innalzamento a partire dalle prime ore del mattino (più tardiva e graduale in inverno, più rapida e anticipata in estate) fino a raggiungere il valore massimo giornaliero nel pomeriggio, nella fascia oraria dalle 13 alle 15. Segue una diminuzione all'approssimarsi delle ore serali (molto più tardiva e rapida in estate) fino a raggiungere i valori minimi caratteristici delle ore notturne. Nel periodo diurno la variazione stagionale risulta decisamente più marcata: lo spessore dello strato di rimescolamento può variare come valore massimo tra i 400-450 m dei mesi invernali, a valori oltre i 1600 m in estate, in concomitanza con la maggiore occorrenza di condizioni instabili. I valori notturni, corrispondenti ai minimi giornalieri, sono invece sempre abbastanza confrontabili nelle varie stagioni e si assestano tipicamente attorno ai 200m.

Stabilità atmosferica

Le categorie di stabilità atmosferica sono utili ai fini della valutazione delle condizioni presenti nello strato di rimescolamento, ovvero del grado di turbolenza che lo caratterizza e conseguentemente della rapidità della dispersione delle sostanze inquinanti o viceversa della tendenza all'accumulo.

Viene solitamente utilizzata una classificazione semplificata di tipo qualitativo, detta di Pasquill-Gifford, che prevede 6 condizioni:

- classe A o fortemente instabile
- classe B o moderatamente instabile
- classe C o debolmente instabile
- classe D o neutrale
- classe E o debolmente stabile
- classe F o moderatamente stabile.

In generale, la presenza di condizioni stabili (classe F) si osserva tendenzialmente nelle prime ore del giorno e nelle ore serali, con una distribuzione temporale diversa a seconda della stagione: nel periodo autunno-inverno, a causa di temperature più basse che contribuiscono al mantenimento delle condizioni di inversione termica, la classe F può persistere per un maggior numero di ore; in estate invece, grazie a temperature più elevate che portano al dissolvimento anticipato delle inversioni termiche notturne, le condizioni stabili di solito caratterizzano solo le prime ore del mattino e si re-instaurano la sera.

Dal punto di vista stagionale, tipicamente si osserva una maggior presenza della classe D riferita a condizioni neutrale nelle giornate autunnali ed estive, mentre la classe A, indicativa di condizioni fortemente instabili, è presente quasi esclusivamente nel periodo estivo-primaverile e con frequenza significativamente superiore nelle ore centrali della giornata, quando risultano maggiormente attivi i meccanismi di turbolenza termica.

LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2023

L'esame dei dati rilevati nell'anno 2023 dalle stazioni della rete di monitoraggio sul territorio provinciale di Bologna è stato affrontato riferendosi ai valori limite e ai valori obiettivo definiti dalla normativa nazionale vigente, utilizzando tabelle ed elaborati grafici relativi sia al periodo di osservazione sia agli andamenti temporali almeno degli ultimi dieci anni.

Per ogni inquinante monitorato sono riportati:

- una tabella introduttiva relativa agli indicatori statistici dell'anno per ciascuna stazione di misura (elaborati sui valori orari per i gas e su valori medi giornalieri per il particolato);
- il relativo box-plot;
- gli andamenti delle medie mensili mediante specifici grafici.

Nella tabella riassuntiva iniziale sono indicati in arancione i superamenti del valore limite annuale e in grigio i casi con una percentuale di dati validi su base annua inferiore al 90% (valore minimo richiesto dalla normativa per la rappresentatività dei dati); infine, in azzurro possono essere eventualmente indicati quei mesi per i quali non è stato possibile raggiungere il 75% di dati validi. In quei casi viene anche omesso il valore statistico normalmente indicato nella tabella (ad esempio la media mensile).

La percentuale di dati validi, definita efficienza o rendimento, è riferita al numero di dati attesi sul periodo considerato. Per ciascun parametro analizzato è data inoltre indicazione dei valori che ricadono al di sotto del *limite di quantificazione* (L.Q.) dello strumento (limite che rappresenta la più bassa concentrazione dell'inquinante statisticamente distinguibile da zero che può essere misurata).

Nelle elaborazioni che seguono, il L.Q. verrà indicato nelle tabelle e nei grafici con la tipologia a "box plot" (Figura 8, a lato); mentre nei restanti grafici (istogrammi delle medie annuali o mensili, ad esempio) verranno comunque riportati i valori elaborati senza tenere conto del L.Q. associato a ciascun inquinante.

Un elenco degli L.Q. previsti per i diversi inquinanti viene presentato nella successiva Tabella 4.

Inquinante	L.Q.	Inquinante	L.Q.
NO ₂ ; O ₃	8 [µg/m ³]	CO	0,4 [mg/m ³]
C ₆ H ₆	0,1 [µg/m ³]	PM _x	3 [µg/m ³]

Tabella 4 - Limiti di quantificazione (L.Q.) dei vari inquinanti

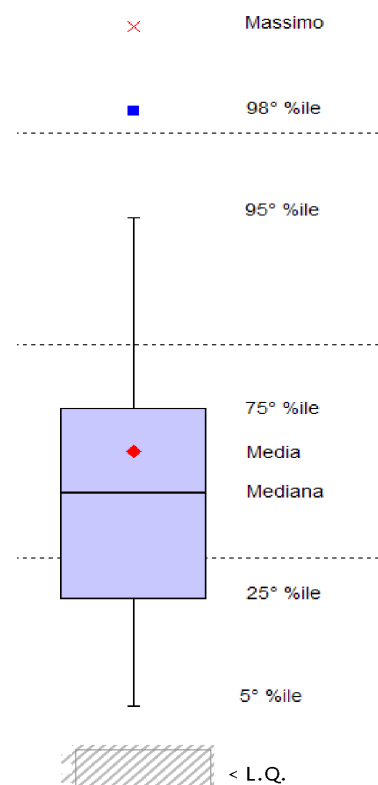


Figura 8 - Box-plot

Il box-plot (Figura 8) costituisce una descrizione sintetica della distribuzione dei dati secondo un carattere quantitativo tramite semplici indici di dispersione e di posizione. Esso fornisce indicazioni sulle caratteristiche salienti della distribuzione dei dati, in particolare per quanto riguarda la simmetria della sua forma.

La linea interna alla scatola rappresenta la mediana della distribuzione; le linee estreme rappresentano il 25° ed il 75° percentile. Le linee che si allungano dai bordi della scatola (baffi) individuano gli intervalli fino ai valori rispettivamente del 5° e 95° percentile. Inoltre vengono evidenziati i punti relativi al valor medio, al 98° percentile e al valore massimo registrati (Figura 8).

Per gli inquinanti quali NO₂, O₃, C₆H₆ sono mostrati i grafici inerenti agli andamenti dei giorni tipo, con particolare attenzione alle differenze stagionali e/o tra giorni feriali/festivi. Il giorno tipo rappresenta il profilo giornaliero della concentrazione di un inquinante in un determinato periodo annuale o stagionale, e ha lo scopo di evidenziare i comportamenti ricorrenti; si ottiene mediando i valori di concentrazione rilevati alla medesima ora nel periodo considerato (tutti gli orari sono indicati in ora solare). Nella distinzione tra giorni tipo estivi e invernali, se non diversamente specificato, la stagione estiva è stata rappresentata mediante i dati dei mesi di giugno, luglio e agosto, mentre la stagione invernale è stata rappresentata dai dati dei mesi di gennaio, febbraio e dicembre.

Per ciascun inquinante è inoltre riportata la serie storica dei valori medi annuali degli ultimi 10 anni, ovvero, nel caso della presente relazione, a partire dal 2014.

Per PM₁₀ e O₃, parametri maggiormente soggetti a superamenti dei limiti normativi, è stato confrontato l'andamento negli anni del numero di giorni critici (favorevoli all'accumulo degli inquinanti al suolo) con quello degli effettivi superamenti del valore obiettivo per la media oraria (per O₃) o del valore limite per la media giornaliera (per PM₁₀). Purtroppo, a causa della mancanza di alcuni dati, per l'anno in oggetto non è stato possibile effettuare tale stima per il PM₁₀, mentre è stato possibile procedere in tal senso per l'O₃.

La normativa vigente richiede una copertura minima annuale di dati pari al 90% per ogni parametro misurato (Allegato I del D.Lgs. 155/2010), tuttavia nell'elaborazione mensile e annuale sono stati presentati, in quanto ritenuti sufficientemente rappresentativi, i valori calcolati su una percentuale di dati validi almeno del 75%. Ai fini dell'elaborazione giornaliera sono richiesti almeno 18 dati orari (75% di dati validi nel giorno).

Nella Tabella 5 viene riportata per ciascuna stazione e ciascun analizzatore l'efficienza percentuale annuale raggiunta nel 2023. Tutti gli analizzatori hanno raggiunto la copertura di almeno il 90% dei dati annuali previsti dalla normativa.

STAZIONE	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	C ₆ H ₆
Bologna - Porta San Felice	99,6%	99,6%	97,5%	98,6%	-	91,9%
San Lazzaro di Savena	98,9%	-	96,4%	-	-	-
Bologna - Giardini Margherita	98,4%	-	96,2%	97,8	100%	-
Bologna - Chiarini	99,1%	-	98,1%	-	100%	-
Imola - De Amicis	98,3%	-	97,8%	-	-	-
Molinella - San Pietro Capofiume	96,0%	-	98,9%	97,0	100%	-
Porretta Terme - Castelluccio	91,9%	-	94,2%	95,1	100%	-

Tabella 5 - Rendimenti % annuali degli analizzatori della rete - anno 2023

BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO

Cosa sono

Con il termine NOx viene indicato genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico, ossia: l'ossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂). Il biossido di azoto, gas di odore acre e pungente, gioca un ruolo principale nella formazione dell'ozono, ed è tra i precursori di alcune frazioni significative del PM₁₀ e PM_{2,5}.

Come si originano

Il monossido di azoto (NO) si forma principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria (circa 78% N₂) con l'ossigeno atmosferico in processi che avvengono ad elevata temperatura. Il biossido di azoto (NO₂) si forma prevalentemente dall'ossidazione del monossido di azoto (NO) e solo in parte viene emesso direttamente.

Le principali sorgenti di NO ed NO₂ sono di natura antropica e riguardano i processi di combustione (gas di scarico dei veicoli a motore, gli impianti di riscaldamento e alcuni processi industriali).

NO ₂ anno 2023 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8665	<8	41	43	64	72	81	128
GIARDINI MARGHERITA	8651	<8	12	16	34	39	46	76
CHIARINI	8718	<8	13	16	33	38	45	84
SAN LAZZARO DI SAVENA	8470	<8	21	24	43	50	61	129
DE AMICIS	8730	<8	15	18	34	41	52	93
SAN PIETRO CAPOFUME	8569	<8	8	10	22	27	32	64
CASTELLUCCIO	8158	<8	<8	<8	<8	<8	10	37
VALORE LIMITE		media annuale		40	µg/m ³			

Tabella 6 - Biossido di azoto: Parametri statistici relativi all'anno 2023

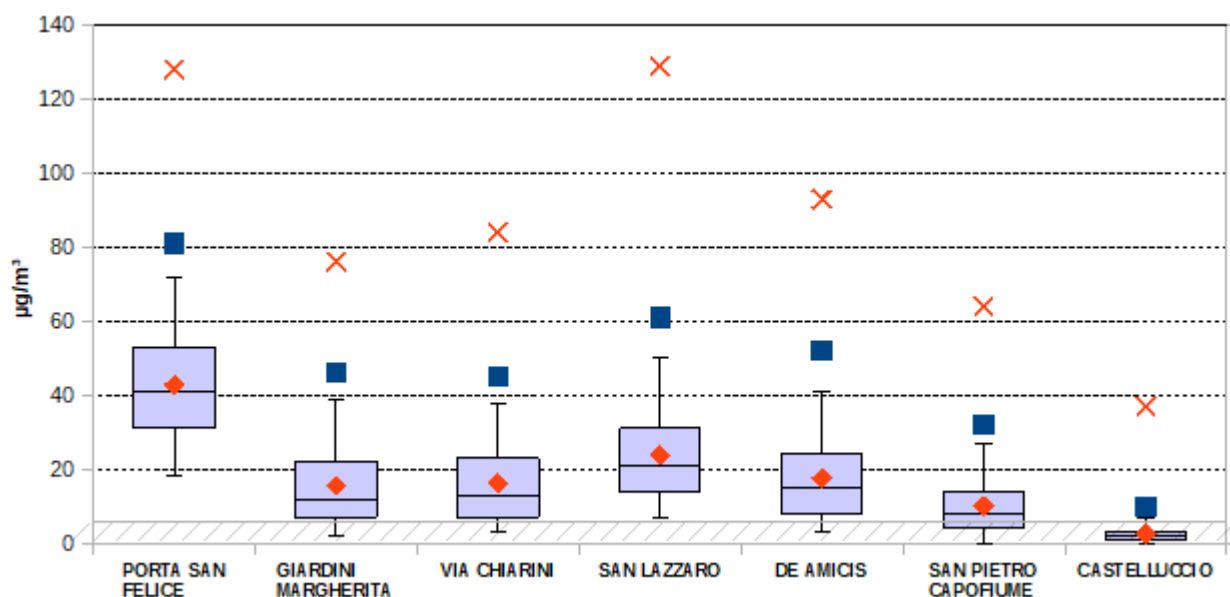


Figura 9 - NO₂ : Box Plot delle statistiche annuali 2023

Nel 2023 i livelli di concentrazione del biossido di azoto registrati dalle diverse centraline di monitoraggio presenti sul territorio bolognese (Tabella 6 e Figura 9) si sono mantenuti al di sotto del valore limite previsto per la media annuale (pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), con la sola eccezione della stazione da traffico di Porta San Felice che, storicamente, presenta tale problema, pur avendo rispettato il limite sia nell'anno 2022, che nel 2020 (anno dell'epidemia di Sars-CoV2).

Le restanti stazioni presentano distribuzioni statistiche dei dati non troppo dissimili tra loro, se non per il caso di Castelluccio, stazione remota situata sull'Appennino, che presenta spesso concentrazioni orarie di biossido di azoto al di sotto del corrispondente limite di quantificazione e per la quale la dispersione dei valori risulta molto più contenuta.

Il valore limite sulla media oraria di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare per più di 18 ore nel corso di un anno, risulta rispettato in tutte le stazioni, così come, conseguentemente, la soglia di allarme di $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciò conferma che, ormai, eventuali episodi di inquinamento acuto legati a concentrazioni orarie elevate di NO_2 non rappresentano più un elemento di criticità.

NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	48	52	45	43	46	44	34	36	42	37	47	41
GIARDINI MARGHERITA	30	26	15	12	11	8	< 8	< 8	11	13	23	25
CHIARINI	25	26	16	11	10	9	9	9	14	16	23	29
SAN LAZZARO DI SAVENA	29	37	25	34	21	15	13	12	20	23	27	30
IMOLA - DE AMICIS	28	31	18	20	15	10	9	< 8	12	14	23	25
SAN PIETRO CAPOFUME	18	18	10	< 8	< 8	8	< 8	< 8	< 8	< 8	14	18
CASTELLUCCIO	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 7 - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2023

L'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2023 (Tabella 7 e Figure 10 e 11) permette di evidenziare, sia per le stazioni dell'Agglomerato che per quelle della Pianura, la presenza di un andamento legato alla stagionalità: si osserva infatti un incremento dei valori nei mesi più freddi dell'anno, quando tipicamente l' NO_2 raggiunge le concentrazioni più elevate anche a causa del funzionamento degli impianti di riscaldamento che ne incrementano la sintesi; mentre nei mesi più caldi, il biossido di azoto viene sia disperso più efficacemente dalle correnti ascensionali sia rimosso dall'atmosfera per l'instaurarsi di reazioni fotochimiche concorrenti, favorite dalla maggiore intensità delle radiazioni ultraviolette, che portano alla formazione di composti che entrano in gioco nei processi di sintesi dell'ozono nella troposfera.

Ancora una volta, la stazione di Porta San Felice rappresenta un'eccezione in quanto le medie mensili nel periodo maggio-settembre assumono valori e andamenti non in linea con il resto della rete e neppure con quelli storici pregressi del sito, risultando più elevati rispetto alle attese. Verificata l'assenza di avarie o malfunzionamenti della strumentazione, la possibile spiegazione per tale anomalia potrebbe essere ricercata nelle condizioni al contorno locali. In tal senso, si evidenzia che le abbondanti precipitazioni del mese di maggio hanno comportato la rottura della sede stradale della vicina via Saffi (importante arteria cittadina) ed il conseguente allagamento di alcune vie. Tra maggio e ottobre è stato attivo un cantiere per il ripristino dei luoghi che, oltre all'impatto connesso ai lavori, ha comportato deviazioni e limitazioni alla circolazione veicolare, con importanti disagi sulla viabilità e i flussi veicolari della zona. Ciò potrebbe aver favorito un incremento delle concentrazioni di biossido di azoto nell'area.

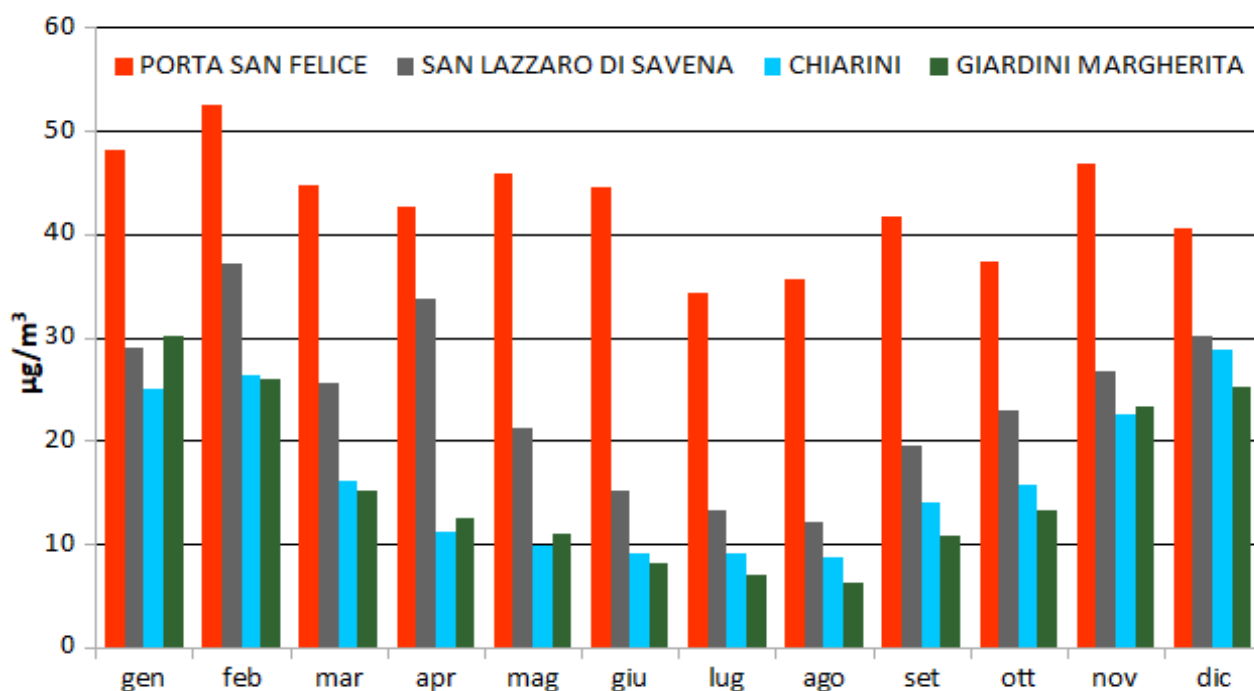


Figura 10 - Agglomerato - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2023

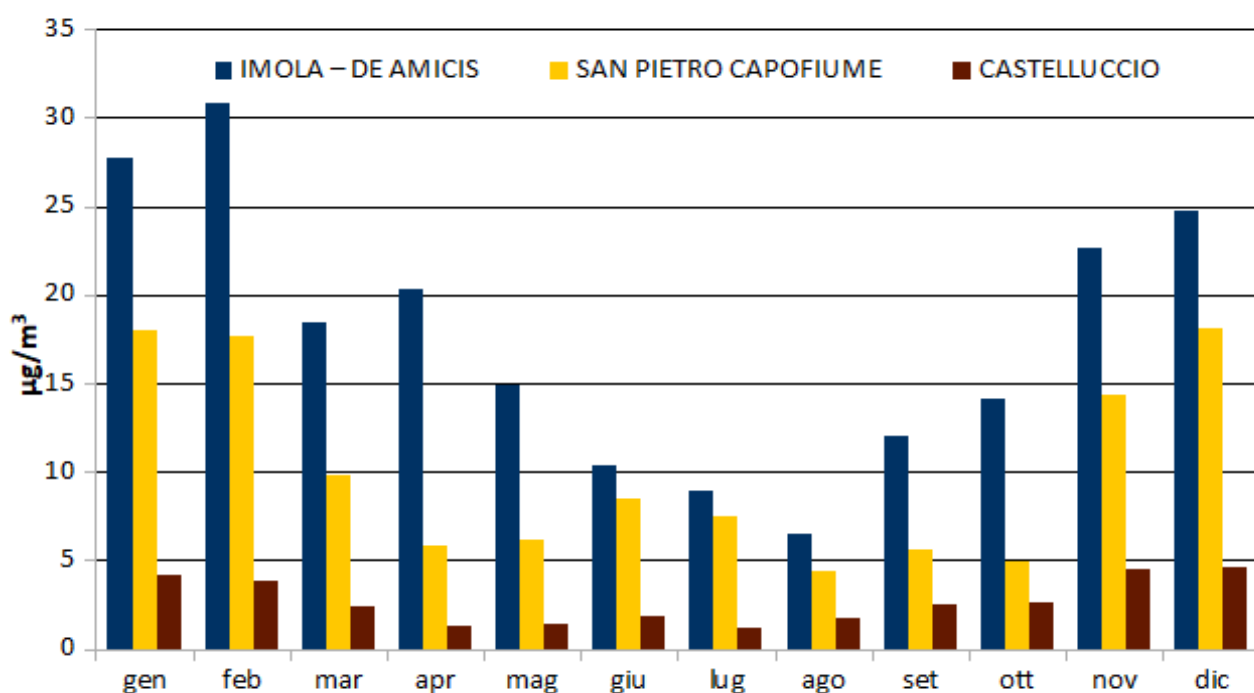


Figura 11 - Pianura e Appennino - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2023

Per quanto riguarda l'elaborazione delle giornate tipo per il biossido di azoto, vengono prese in considerazione le due stazioni di riferimento dell'area urbana: quella di traffico di Porta San Felice (Figura 12) e quella di fondo di Giardini Margherita (Figura 13). Per entrambi i punti di misura vengono elaborate le giornate tipo estive e invernali distinguendo poi ulteriormente la tipologia di giornata, all'interno della settimana, tra feriale, sabato e domenica.

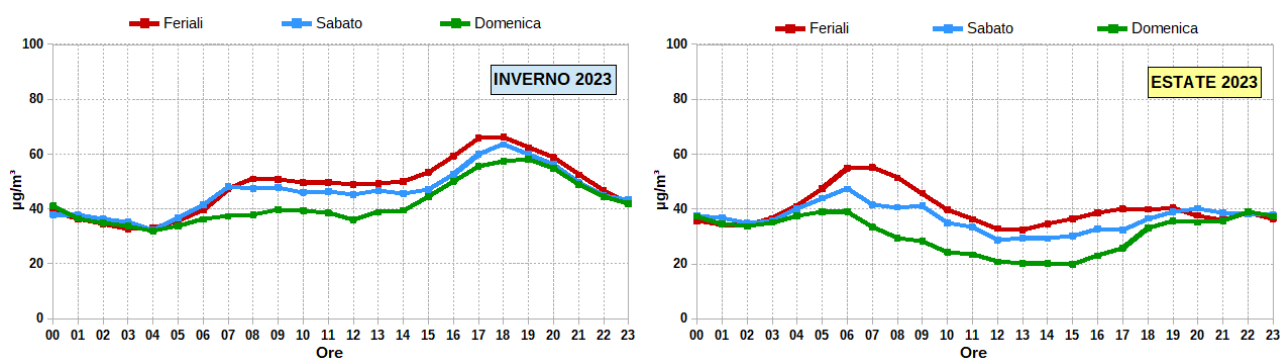


Figura 12 - Porta San Felice, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

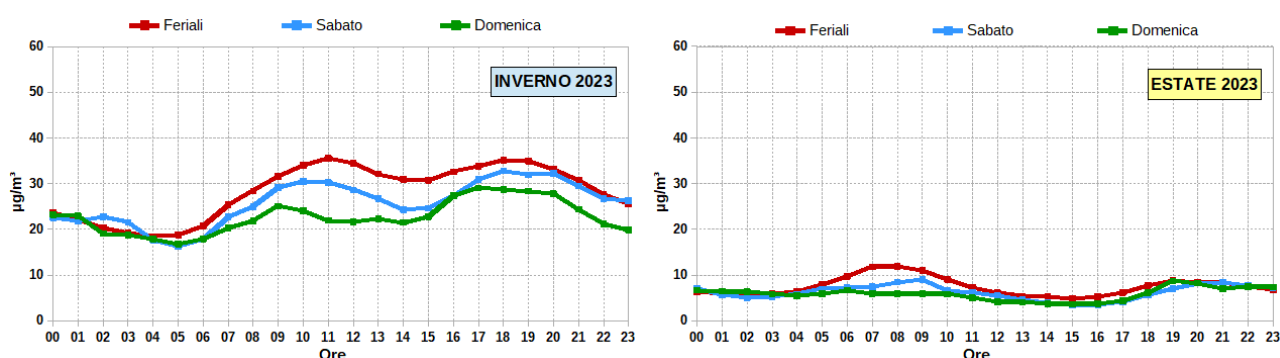


Figura 13 - Giardini Margherita, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

L'andamento delle concentrazioni del giorno tipo mostra una certa dipendenza dai flussi veicolari, osservabile in entrambe le stazioni seppur molto più accentuata per Porta San Felice. Le concentrazioni più elevate, infatti, si registrano in corrispondenza delle ore di punta del traffico (dalle 7 alle 9 e dalle 17 alle 19). In estate si osservano le concentrazioni minime nelle ore centrali della giornata, sia per effetto delle reazioni fotochimiche che rimuovono NO₂, sia per effetto delle diverse condizioni meteorologiche caratterizzate da maggiore trasporto e dispersione su uno strato più alto dell'atmosfera rispetto al periodo invernale (vedi Figura 7).

NO ₂ (µg/m ³) – Medie annuali 2014 – 2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	54	61	52	46	49	46	38	43	39	43
SAN LAZZARO DI SAVENA	26	28	29	25	25	21	23	24	25	24
GIARDINI MARGHERITA	38	38	31	25	22	21	17	17	18	16
CHIARINI	26	26	26	20	23	25	20	19	16	16
IMOLA - DE AMICIS	25	29	24	25	25	24	27	26	20	18
SAN PIETRO CAPOFUME	14	15	14	13	12	15	15	12	13	10
CASTELLUCCIO	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<8	<8	<8	<8

anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 8 - NO₂: Andamento temporale delle medie annuali

In Tabella 8 e nella successiva Figura 14 sono riportati i valori delle medie annuali rilevate a partire dal 2014 e per le quali siano presenti almeno il 90% dei dati orari dell'anno. L'analisi della serie storica degli ultimi dieci anni di dati evidenzia per tutte le stazioni una generale tendenza alla riduzione delle concentrazioni medie di biossido di azoto in atmosfera, più marcata in alcuni siti. Limitandosi all'ultimo quadriennio (2020-2023), si può osservare una sostanziale costanza nei valori rilevati nell'area urbana di Bologna (Porta San Felice e Giardini Margherita) e a San Lazzaro di Savena, mentre per gli altri siti (San Pietro Capofiume, De Amicis a Imola e via Chiarini a Bologna) si può ancora riscontrare una tendenza alla riduzione dei valori.

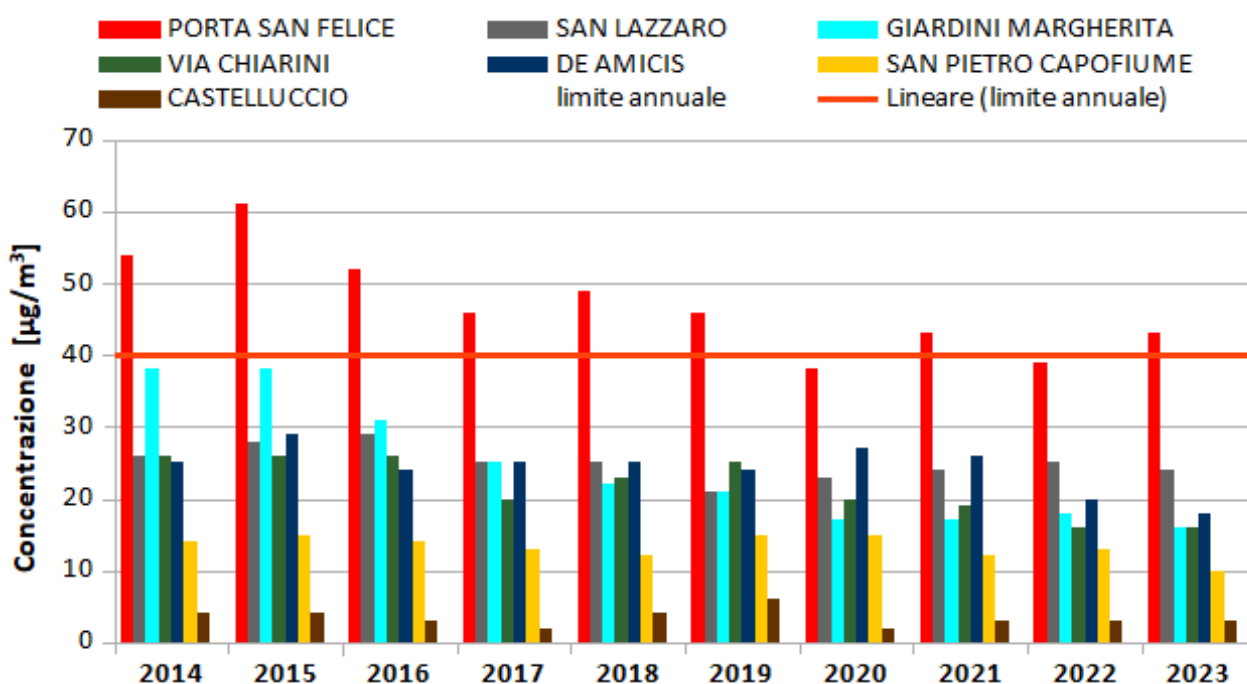


Figura 14 - NO₂ Confronto medie annuali 2014-2023

Il Decreto Legislativo del 13 agosto 2010 n.155 stabilisce inoltre il livello critico per la protezione della vegetazione per la concentrazione nell'aria ambiente di ossidi di azoto, NO_x, fissato in 30 µg/m³ come valore medio annuo. La normativa pone questo limite unicamente per le stazioni ubicate ad oltre 20 km dalle aree urbane e ad oltre 5 km da altre zone edificate, impianti industriali, autostrade o strade di grande comunicazione. Nel territorio della Città Metropolitana di Bologna, questo criterio è soddisfatto solo per le stazioni di San Pietro Capofiume (Molinella) e Castelluccio (Alto Reno Terme). In Tabella 9 sono riportati i valori calcolati della grandezza in oggetto per queste due stazioni di fondo. Come si può osservare, in entrambi i casi il livello critico annuale fissato dalla normativa viene rispettato.

NO _x anno 2023 – Concentrazioni in µg/m ³		
Stazione	N. dati validi	MEDIA
SAN PIETRO CAPOFIUME	8569	15
CASTELLUCCIO	8158	< 8
LIVELLO CRITICO	Media annuale	30 µg/m ³

Tabella 9 - Protezione della Vegetazione: NO_x Media annuale 2023

OZONO

Che cos'è

L'ozono è un componente gassoso dell'atmosfera, molto reattivo e aggressivo. Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. Invece negli strati bassi dell'atmosfera terrestre (troposfera) è presente in concentrazioni elevate a seguito di situazioni d'inquinamento e provoca disturbi irritativi all'apparato respiratorio e danni alla vegetazione.

Come si origina

Oltre che in modo naturale, per interazione tra i composti organici emessi in natura e l'ossigeno dell'aria per azione dell'irraggiamento solare, l'ozono si produce anche per effetto dell'immissione di composti organici volatili e ossidi di azoto provenienti dalle attività umane. L'immissione di inquinanti primari (prodotti dal traffico, dai processi di combustione, dai solventi delle vernici, dall'evaporazione di carburanti etc.) favorisce quindi la produzione di un eccesso di ozono rispetto alle quantità altrimenti presenti in natura durante i mesi estivi.

O ₃ anno 2023 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	8672	< 8	49	52	104	120	133	205
VIA CHIARINI	8744	< 8	43	47	101	118	133	178
SAN PIETRO CAPOFIUME	8656	< 8	45	52	106	118	129	180
CASTELLUCCIO	8662	< 8	49	50	73	80	90	136

Tabella 10 - Ozono: Parametri statistici - anno 2023

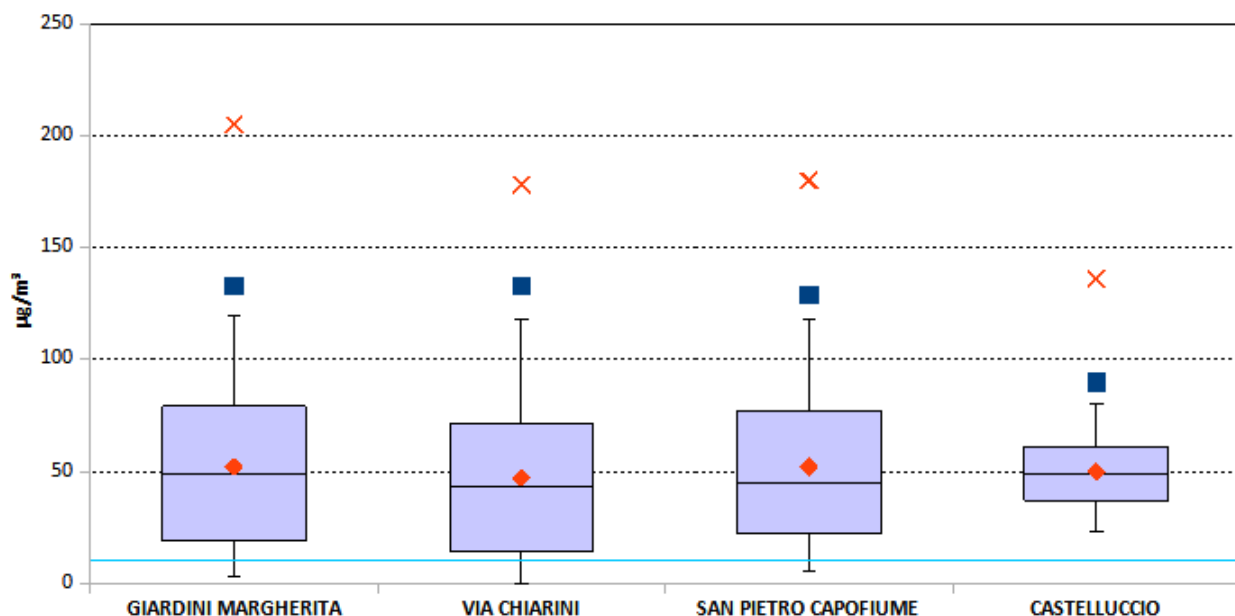


Figura 15 - O₃ : Box Plot delle statistiche annuali 2023

L'analisi statistica (Tabella 10) ed il box plot (Figura 15) dei dati di ozono rilevati sul territorio bolognese mostrano andamenti e valori molto simili per tutte le centraline con l'eccezione di Castelluccio, la cui distribuzione dei dati risulta più compatta attorno al valore mediano rispetto

alle altre stazioni, ad indicare un andamento delle concentrazioni mediamente più costante durante l'anno rispetto al resto della rete, ciò probabilmente a causa dell'ubicazione del sito. Dall'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2023 (Figura 16 e Tabella 11) è possibile mettere in evidenza l'andamento stagionale dell'ozono, simile in quasi tutte le stazioni in cui questo parametro è stato rilevato (stazioni di fondo). I valori medi mensili più elevati sono stati registrati tra luglio e agosto per le stazioni poste in pianura, con una crescita più graduale nella transizione inverno-estate ed un rapido calo nel passaggio estate-inverno. A Castelluccio, stazione dell'Appennino, i valori di O₃ presentano, come già visto, una minore variabilità, con concentrazioni relativamente alte (nel confronto con le altre stazioni) anche nei mesi invernali e primaverili. Rispetto all'anno precedente, non si osservano sostanziali modifiche negli andamenti stagionali dei livelli di concentrazione medi mensili di questo inquinante.

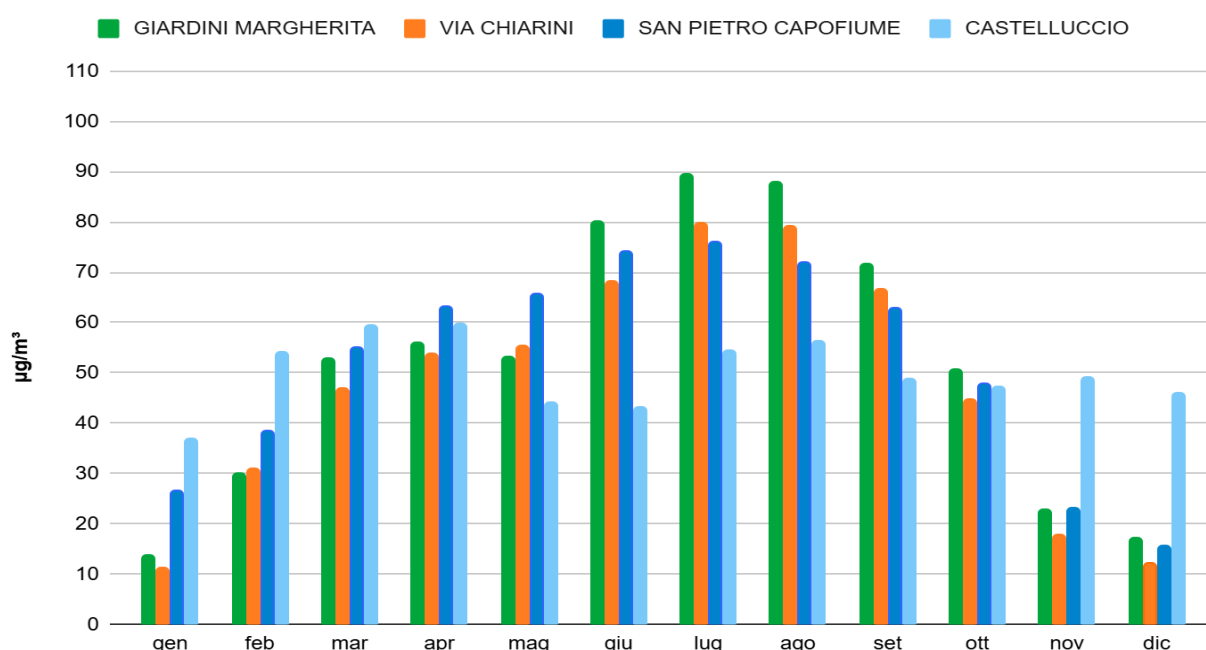


Figura 16 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2023

O ₃ (µg/m ³) - Medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	14	30	53	56	53	80	89	88	71	51	23	17
VIA CHIARINI	11	31	47	54	55	68	80	79	67	45	18	12
SAN PIETRO CAPOFIUME	27	38	55	63	66	74	76	72	63	48	23	16
CASTELLUCCIO	37	54	59	60	44	43	54	56	49	47	49	46

Tabella 11 - O₃ Concentrazioni medie mensili

Per quanto attiene all'ozono troposferico, il D.Lgs. 155/2010 attualmente vigente stabilisce limiti da rispettare per la protezione della salute umana riferiti sia al breve periodo sia al medio-lungo periodo.

In particolare, per il breve periodo sono definite 2 soglie di concentrazione limite:

- la "soglia di informazione", pari a 180 µg/m³ di ozono misurato in aria come media oraria;
- la "soglia di allarme" pari a 240 µg/m³ di ozono misurato in aria come media oraria.

Secondo la normativa il calcolo del numero di superamenti nell'anno richiede una percentuale del 90% di dati validi per cinque mesi su sei nel periodo da aprile a settembre, condizione verificatasi per tutte le stazioni della Rete nell'anno in esame. In Tabella 12 sono riportate le ore di superamento per la soglia di informazione con un dettaglio mensile.

O ₃ anno 2023 - Numero ore di superamento soglia di informazione (180 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2023
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 12 - Ozono: Superamenti soglia di informazione

Per quanto riguarda la soglia di allarme (240 µg/m³) non sono stati registrati superamenti in nessuna delle stazioni dell'area metropolitana.

Per quanto riguarda la protezione della salute umana sul medio e lungo periodo, il decreto prevede il valore obiettivo a lungo termine, calcolato come massimo giornaliero della media mobile sulle 8 ore, pari a 120 µg/m³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni¹.

In Tabella 13 è riportato il numero di superamenti del valore obiettivo per l'anno 2023, considerato come media degli ultimi 3 anni. Come si può osservare, per le stazioni di fondo, con l'esclusione di Castelluccio, si registra ancora il superamento del limite normativo previsto.

O ₃ anno 2023 - Numero giorni di superamento valore obiettivo (120 µg/m ³)		
Stazione	<i>media su 3 anni</i>	
GIARDINI MARGHERITA	46	
VIA CHIARINI	47	
SAN PIETRO CAPOFIUME	54	
CASTELLUCCIO	3	
LIMITE NORMATIVO	N° max sup.	25

 > del valore limite

Tabella 13 - Ozono: Superamenti valore obiettivo per la salute umana

Il numero di superamenti riferiti all'ultimo anno è invece riportato in Tabella 14.

¹ Se non è possibile determinare le medie su tre anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo si può riferire, come minimo, ai dati relativi ad un anno.

O ₃ anno 2023 - Numero giorni di superamento obiettivo a lungo termine (120 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2023
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	2	11	14	17	5	0	0	0	49
VIA CHIARINI	0	0	0	0	3	9	10	13	9	0	0	0	44
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	0	3	11	7	12	7	0	0	0	40
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

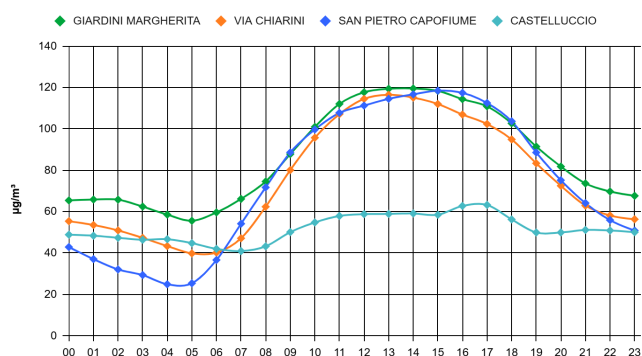
Tabella 14 - Ozono: Superamenti obiettivo a lungo termine per la salute umana

Le rappresentazioni del giorno tipo stagionale (Figura 17) evidenziano per l'estate un andamento che segue il processo di formazione dell'inquinante, con livelli più elevati nelle ore centrali della giornata, caratterizzate da maggiore intensità della radiazione solare. In tale periodo, per le stazioni della pianura (con l'eccezione quindi di quella di Castelluccio), i valori più elevati di concentrazione per le diverse stazioni non si discostano molto tra loro, indipendentemente dalle differenti tipologie di contesto (fondo urbano, suburbano o rurale). Nel periodo invernale invece, l'andamento orario dei livelli di ozono nella giornata tipo, pur presente, è nettamente meno marcato rispetto all'estate, con la stazione di Castelluccio (fondo remoto) che, in questo caso, presenta livelli di concentrazione orari quasi sempre superiori a quelli delle altre stazioni.

La generale maggiore costanza degli andamenti orari della stazione di Castelluccio è probabilmente da mettere in relazione con la sua ubicazione in un'area boschiva dell'Appennino a circa 900 metri s.l.m. e con le diverse condizioni ambientali che ne derivano rispetto al contesto della pianura in cui sono posizionate le altre centraline.

In generale, le concentrazioni di ozono, composto molto reattivo, possono essere influenzate dalle dinamiche di trasporto e degradazione di inquinanti precursori verso le aree rurali che, come si può osservare nel diagramma relativo al periodo invernale, possono così trovarsi ad essere interessate da livelli più elevati rispetto alle aree urbane vicine. Inoltre, soprattutto in presenza di basse intensità di radiazione solare, una parte dell'ozono viene eliminato per reazione con gli ossidi di azoto, solitamente maggiormente presente nelle aree cittadine; tutto ciò fa sì che in generale, nel periodo invernale, nelle aree rurali e suburbane, l'accumulo di ozono sia favorito rispetto a quanto avviene per le aree urbane e cittadine.

ESTATE



INVERNO

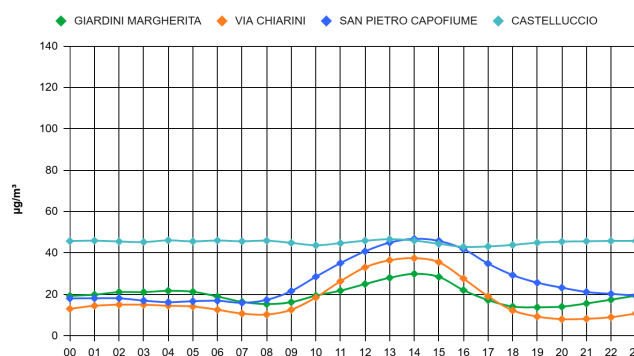


Figura 17 - Ozono: Giorno tipo invernale ed estivo

Il D.Lgs. 155/2010 introduce inoltre un valore obiettivo e un obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione, entrambi riferiti all'AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb). Questo parametro è definito come la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ corrispondenti a 40 ppb e il valore di $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sull'intera stagione vegetativa (fissata nel trimestre maggio-luglio), utilizzando i valori orari rilevati ogni giorno tra le h 8:00 e le h 20:00, ora dell'Europa Centrale.

I limiti normativi di tale indicatore (misurato in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$) sono fissati a 18000 come media su 5 anni per il valore obiettivo e a 6000 in riferimento all'anno in esame per l'obiettivo a lungo termine. Se non è possibile determinare le medie su cinque anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo si può riferire, come minimo, ai dati relativi a tre anni.

La normativa definisce anche i criteri per l'individuazione delle stazioni soggette alle finalità di questa misurazione; per le loro caratteristiche, le stazioni rappresentative della rete di Bologna sono quelle di fondo suburbano Via Chiarini, di fondo rurale San Pietro Capofiume e di fondo remoto Castelluccio.

Per il 2023 si evidenziano medie superiori sia per il valore obiettivo (media degli ultimi 5 anni), sia per il valore obiettivo a lungo termine, per le postazioni di Chiarini e San Pietro Capofiume, mentre per la stazione di Castelluccio i valori di AOT40 risultano entro il limite (Tabella 15).

O₃ anno 2023 - Valori AOT40 (concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)			
Stazione	n.datì validi	AOT stimato	media ultimi 5 anni
VIA CHIARINI	2189	21061	24609
SAN PIETRO CAPOFIUME	2179	24920	27854
CASTELLUCCIO	2151	664	4181
RIFERIMENTI NORMATIVI	<i>90% dati orari nel periodo di tempo definito per il calcolo</i>	<i>Obiettivo a lungo termine</i> 6000	<i>Valore obiettivo</i> 18000

 > del valore limite

Tabella 15 - Protezione della Vegetazione: AOT40

In Tabella 16 e Tabella 17 sono riportate le serie storiche dal 2014 al 2023 dei superamenti rispettivamente della soglia di informazione e dell'obiettivo a lungo termine. Dai valori disponibili non si evince un trend specifico sul lungo periodo per i due indicatori.

O₃ soglia di informazione - Numero ore di superamento media oraria ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2014-2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GIARDINI MARGHERITA	15	7	9	15	0	18	0	0	7	2
VIA CHIARINI	6	35	9	29	0	25	6	0	5	0
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	4	0	0	2	0	3	0	0
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0


 numero di mesi estivi validi < 5

Tabella 16 - O₃: Andamento temporale dei superamenti della soglia di informazione

O ₃ obiettivo a lungo termine - Numero giorni di superamento max media oraria 8h (120 µg/m ³) 2014-2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GIARDINI MARGHERITA	44	40	45	52	39	59	33	34	56	49
VIA CHIARINI	25	55	46	51	39	60	34	42	54	44
SAN PIETRO CAPOFIUME	16	36	45	15	45	51	26	52	71	40
CASTELLUCCIO	2	14	1	11	0	5	0	8	0	0

■ numero di mesi estivi validi < 5

Tabella 17 - O₃: Andamento temporale dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine

In Figura 18 invece sono riportate le serie annuali dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine, confrontati con la stima del numero di giorni meteorologicamente favorevoli alla formazione di ozono, definiti come le giornate in cui la temperatura massima supera i 29°C. Dal punto di vista qualitativo si osserva un andamento spesso concorde fra le due grandezze ma non per tutte le stazioni, a conferma di come la formazione dell'ozono sia anche governata dalle condizioni meteorologiche e dalla morfologia territoriale. Per il 2023 comunque, rispetto all'anno precedente, alla diminuzione del numero di giorni potenzialmente critici per i livelli di ozono ha fatto seguito anche una generale riduzione del numero di superamenti delle soglie normative.

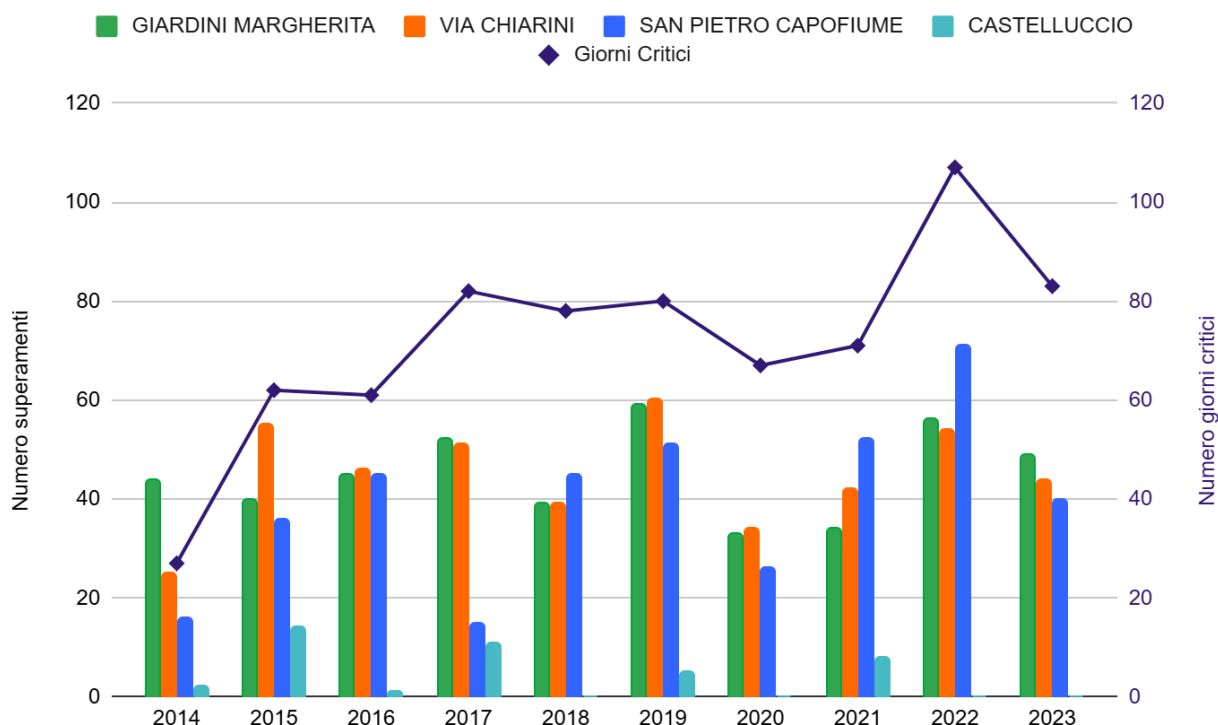


Figura 18 - O₃ Confronto superamenti obiettivo a lungo termine e numero stimato di giorni critici

PARTICOLATO PM10

Che cos'è

Per materiale particolato aerodisperso si intende l'insieme delle particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico variabile tra 0.1 e circa 100 µm (1 µm = 1 millesimo di millimetro).

Il termine PM₁₀ identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm. In generale il particolato di queste dimensioni si caratterizza per i lunghi tempi di permanenza in atmosfera che lo rendono trasportabile anche a grandi distanze dal punto di emissione. La sua natura chimica è complessa e variabile ed è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio e, quindi, avere effetti negativi sulla salute.

Come si origina

Il particolato PM₁₀ è in parte emesso direttamente dalle sorgenti (PM₁₀ primario) e in parte si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM₁₀ secondario). Inoltre il PM₁₀ può avere sia origine naturale (erosione delle rocce, eruzioni vulcaniche, incendi boschivi), che antropica (combustioni e altro). Tra le sorgenti antropiche un importante ruolo è rappresentato dal traffico veicolare. Di origine antropica sono anche molte delle sostanze gassose che contribuiscono alla formazione di PM₁₀, come gli ossidi di zolfo e di azoto, i COV (Composti Organici Volatili) e l'ammoniaca.

PM ₁₀ anno 2022 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	356	<3	21	22	38	42	48	77
SAN LAZZARO DI SAVENA	352	<3	21	22	38	45	50	68
GIARDINI MARGHERITA	351	3	18	20	33	40	47	69
CHIARINI	358	<3	19	21	35	40	47	70
DE AMICIS	357	<3	20	22	37	42	50	80
SAN PIETRO CAPOFUME	361	<3	18	21	37	46	56	71
CASTELLUCCIO	344	<3	9	9	18	21	27	48
VALORE LIMITE		media annuale		40	µg/m ³			

■ media annuale > valore limite ■ percentuale di dati validi < 90%

Tabella 18 - Particolato PM₁₀: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

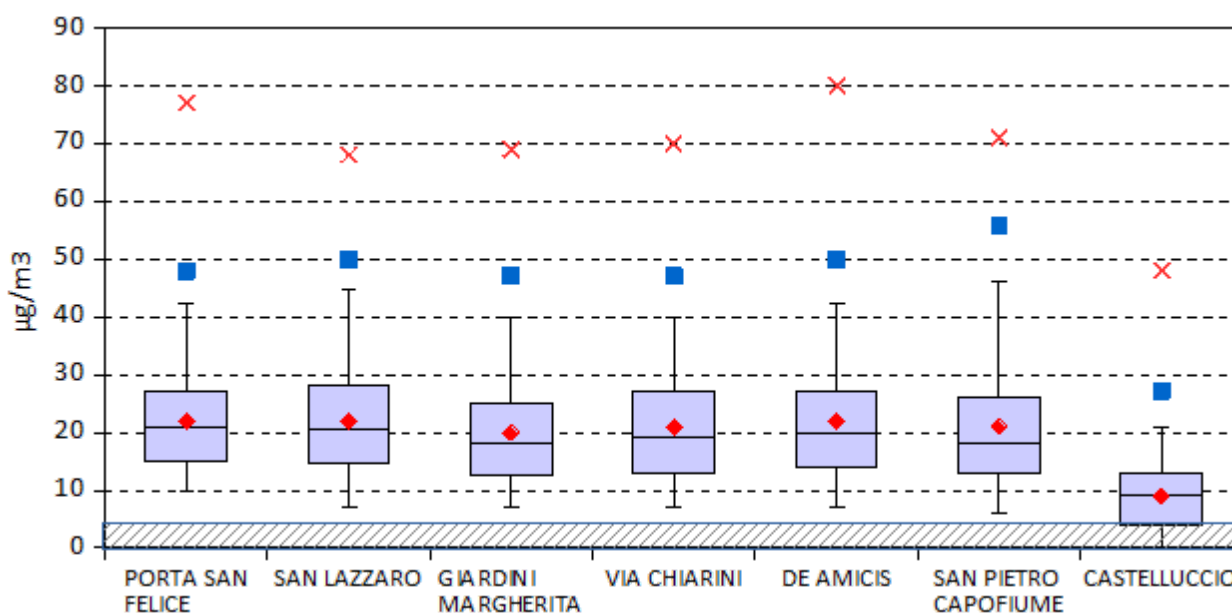


Figura 19 - PM10 : Box Plot delle statistiche annuali 2023

La valutazione statistica in Tabella 18 mostra che nel 2023 le concentrazioni medie annuali non superano il valore limite di 40 µg/m³ in nessuno dei siti di misura; anzi, con l'esclusione della sola stazione di fondo remoto di Castelluccio, le medie annuali delle centraline di rilevamento si attestano circa alla metà del limite, discostandosi da esso per valori inferiori ai 2 µg/m³.

Il box plot di Figura 19 evidenzia che, per la maggior parte delle stazioni, le distribuzioni annuali dei dati sono maggiormente disperse verso i valori massimi e risultano piuttosto simili tra loro (questo andamento è in parte giustificabile con la natura parzialmente secondaria del particolato). L'unica eccezione è rappresentata dalla stazione di Castelluccio, situata sull'Appennino, la cui distribuzione risulta maggiormente compatta e centrata attorno ad un valore medio nettamente inferiore rispetto alle altre postazioni della rete.

Nella seguente Tabella 19 sono riepilogati i dati relativi alle medie mensili per l'anno 2023.

PM ₁₀ (µg/m ³) - Medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	31	36	20	16	16	16	-	17	22	24	23	32
SAN LAZZARO DI SAVENA	28	37	16	15	15	-	23	18	22	25	22	30
GIARDINI MARGHERITA	25	31	15	12	14	16	21	16	20	21	21	27
CHIARINI	27	32	17	13	13	16	23	16	21	22	22	28
IMOLA - DE AMICIS	28	35	16	14	15	15	23	18	22	21	23	29
SAN PIETRO CAPOFiumE	25	39	16	12	14	17	19	17	20	23	20	28
CASTELLUCCIO	5	9	7	7	8	10	18	11	14	13	4	4

■ mesi con percentuale di dati validi < 90% ■ mesi con percentuale di dati validi < 75%

Tabella 19 - PM10 Concentrazioni medie mensili 2023

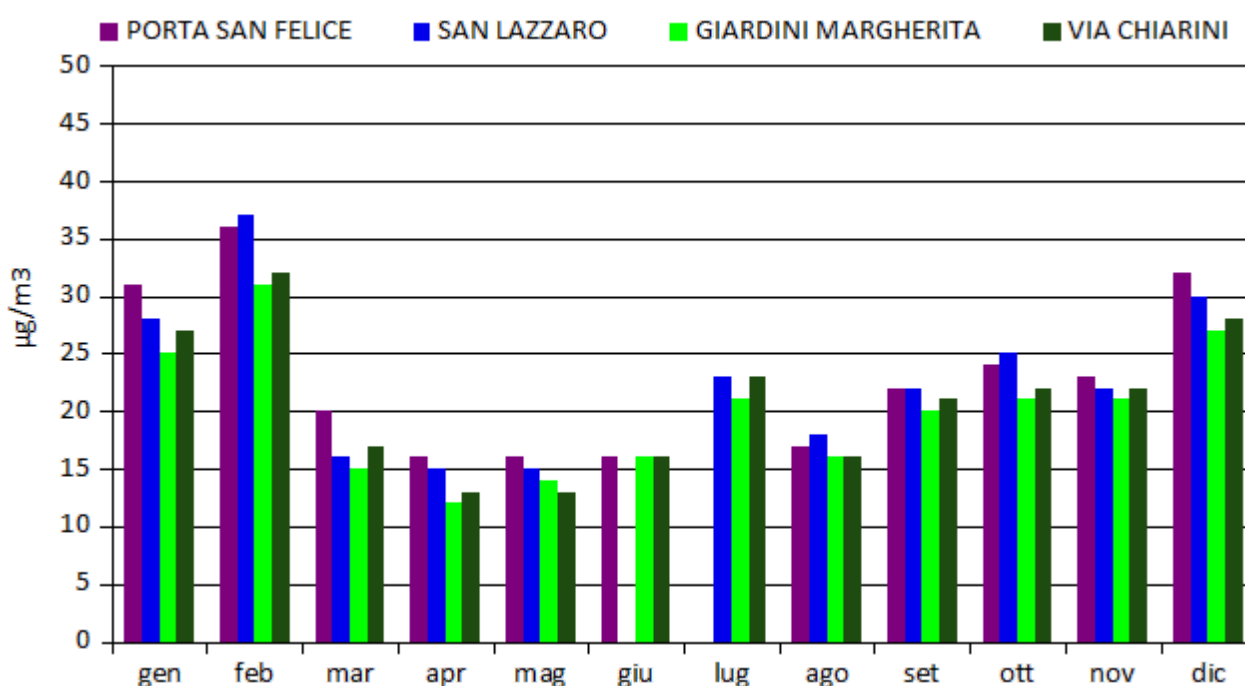


Figura 20 - Agglomerato - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2023

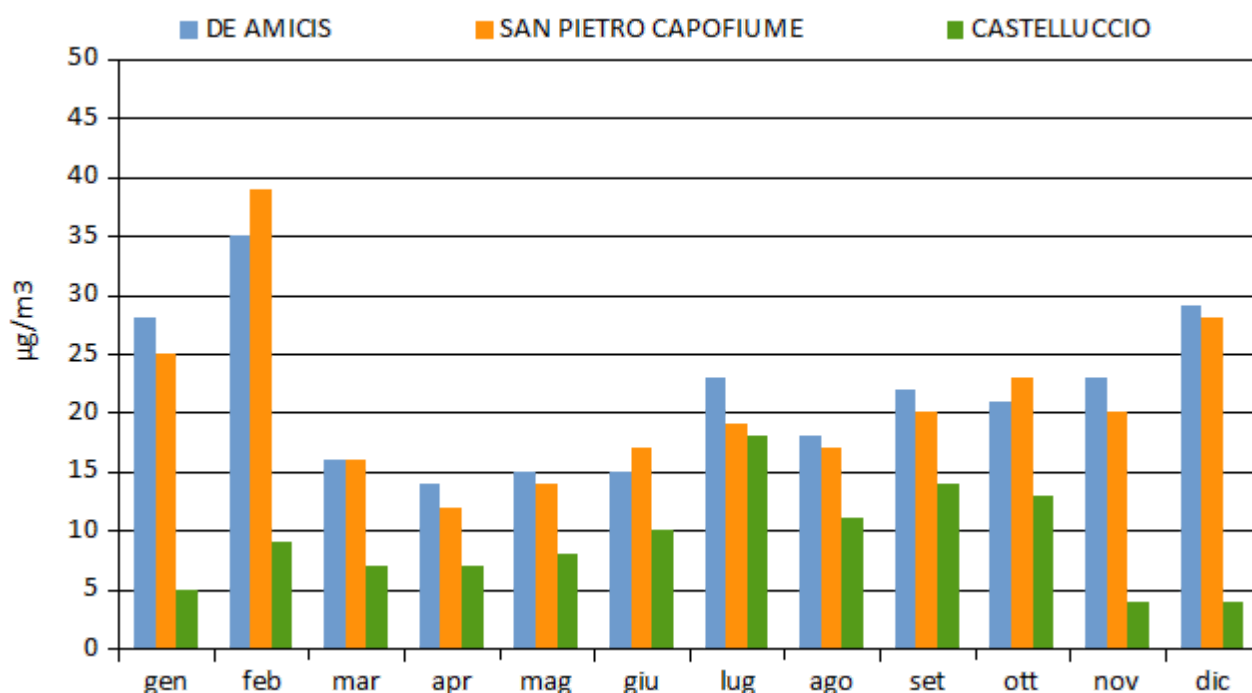


Figura 21 - Pianura e Appennino - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2023

Come si può osservare dall'analisi dei corrispondenti grafici, le medie mensili delle stazioni di misura, sia dell'Agglomerato (Figura 20), che della Pianura (Figura 21), hanno mantenuto il consueto andamento stagionale con concentrazioni più elevate nei tre mesi invernali (gennaio, febbraio e dicembre). Per la stazione remota di Castelluccio, situata nell'Appennino il trend dei mesi invernali risulta opposto a quello di tutte le altre stazioni, ovvero le medie mensili (in particolare quelle di gennaio, novembre e dicembre) risultano le più basse dell'anno; ciò probabilmente anche a causa della variazione stagionale dell'altezza dello strato di rimescolamento che, in quei mesi, risulta al di sotto della quota a cui sorge la stazione.

Il numero dei giorni di superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nell'anno 2023 è riportato in Tabella 20 suddiviso su base mensile. Il numero annuale massimo di 35 giorni di superamento, consentiti dalla normativa, non è stato superato in nessuna delle centraline.

PM ₁₀ anno 2023 - numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2023
PORTA S. FELICE	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
S. LAZZARO SAVENA	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
GIARDINI MARGHERITA	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
CHIARINI	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	5
IMOLA - DE AMICIS	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	7
S. PIETRO CAPOFIUME	3	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	13
CASTELLUCCIO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

■ mesi con percentuale di dati validi < 90% ■ mesi con percentuale di dati validi < 75%

Tabella 20 - PM₁₀ : Superamenti del valore limite giornaliero - anno 2023

Rispetto all'anno precedente, il numero di superamenti del valore limite giornaliero dell'anno in esame è notevolmente diminuito, ad eccezione delle stazioni di fondo remoto (assenza di superamenti in entrambi gli anni) e di fondo rurale (lieve aumento nel 2023 rispetto al 2022), come evidenzia la serie storica dal 2014 riportata in Tabella 21 e Figura 22 e dalla quale peraltro non pare emergere, negli anni, l'esistenza di alcun particolare trend.

PM ₁₀ - numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³) 2014 – 2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	23	38	33	40	18	32	42	29	33	4
GIARDINI MARGHERITA	14	23	21	27	10	23	30	21	23	6
CHIARINI	19	25	22	35	14	21	22	17	23	3
SAN LAZZARO DI SAVENA	20	35	27	37	13	29	34	28	26	5
IMOLA - DE AMICIS	15	19	20	27	17	20	35	19	23	7
SAN PIETRO CAPOFIUME	21	26	14	41	15	31	39	24	11	13
CASTELLUCCIO	0	0	1	0	0	0	1	6	0	0

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 21 - PM₁₀: Andamento temporale dei superamenti del valore limite giornaliero

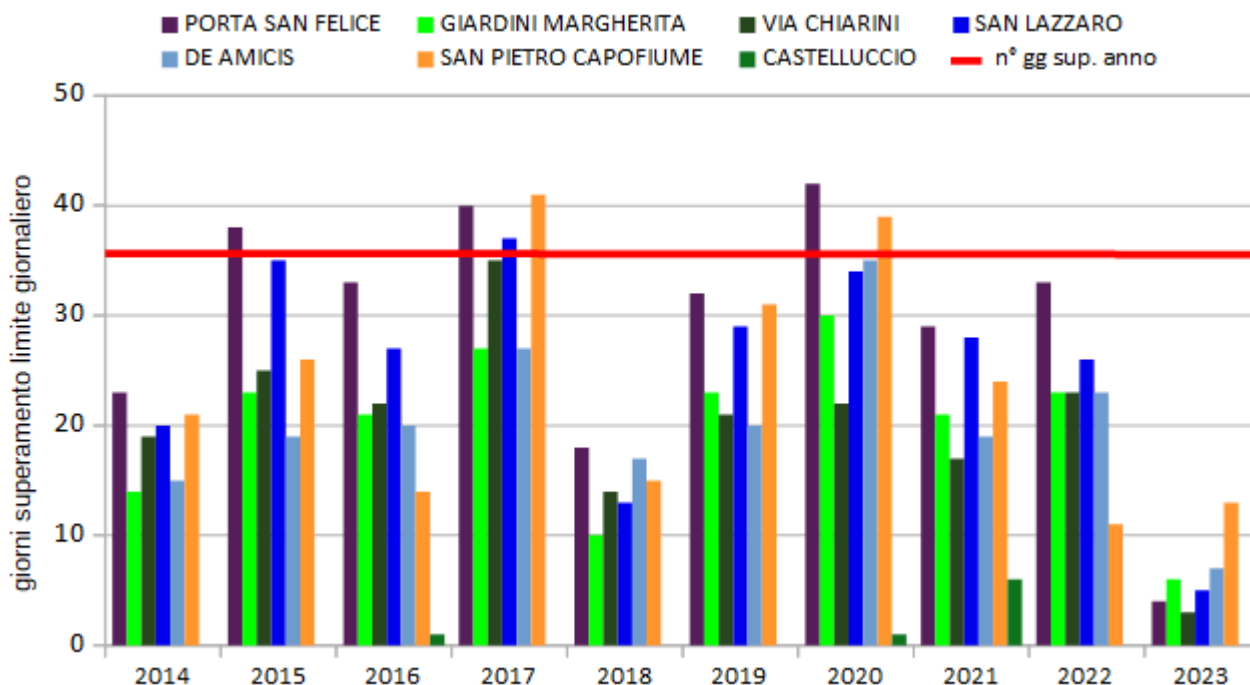


Figura 22 - PM₁₀ Confronto superamenti annuali del limite giornaliero 50 µg/m³ periodo 2014-2023

In Figura 23 e Tabella 22 è riportato il trend 2014-2023 dei valori medi annuali di PM₁₀. Dai dati si può rilevare che dal 2014 in poi le medie registrate presso tutte le stazioni si mantengono al di sotto dei 30 µg/m³ con piccole fluttuazioni. Dopo un triennio di sostanziale stabilità nei valori,

nel 2023 le medie di tutte le stazioni si sono ulteriormente ridotte e livellate, oscillando, nel caso di quelle in pianura, tutte tra i 20 ed i 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

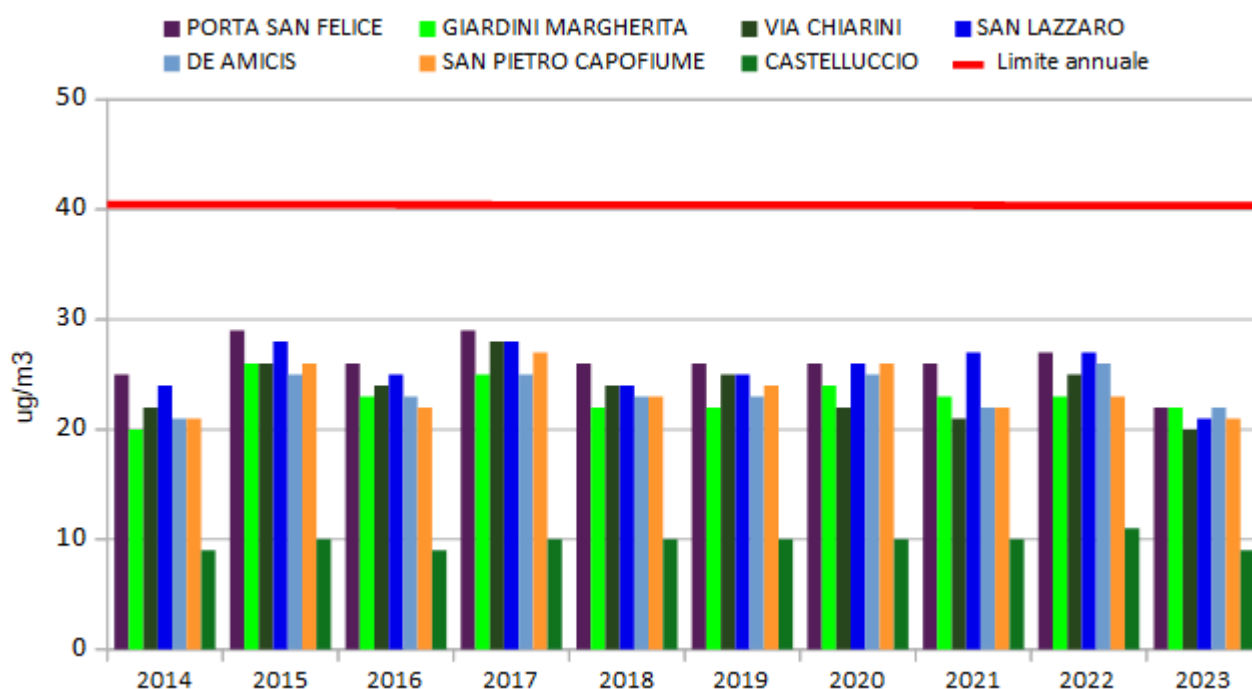


Figura 23 - PM₁₀ Andamento delle medie annuali 2014-2023

PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Medie annuali 2014 – 2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	25	29	26	29	26	26	26	26	27	22
GIARDINI MARGHERITA	20	26	23	25	22	22	24	23	23	22
CHIARINI	22	26	24	28	24	25	22	21	25	20
SAN LAZZARO DI SAVENA	24	28	25	28	24	25	26	27	27	21
IMOLA - DE AMICIS	21	25	23	25	23	23	25	22	26	22
SAN PIETRO CAPOFIUME	21	26	22	27	23	24	26	22	23	21
CASTELLUCCIO	9	10	9	10	10	10	10	10	11	9

■ anni con percentuale di dati validi < 90% ■ anni con percentuale di dati validi < 75%

Tabella 22 - PM₁₀: Andamento temporale delle medie annuali

PARTICOLATO PM2.5

Che cos'è

Per frazione fine del particolato si intendono tutte le particelle solide o liquide sospese nell'aria con dimensioni microscopiche e quindi inalabili. Il $PM_{2.5}$ è definito come il materiale particolato con un diametro aerodinamico medio inferiore a $2.5 \mu m$ ($1 \mu m = 1$ millesimo di millimetro).

Come si origina

È originato sia per emissione diretta (particelle primarie), che per reazioni nell'atmosfera di composti chimici quali ossidi di azoto e zolfo, ammoniaca e composti organici (particelle secondarie). Le sorgenti del particolato possono essere antropiche e naturali. Le fonti antropiche sono riconducibili principalmente ai processi di combustione quali: emissioni da traffico veicolare, utilizzo di combustibili (carbone, combustibili liquidi, legno, rifiuti, rifiuti agricoli), emissioni industriali (cementifici, fonderie, miniere). Come per il PM_{10} , le fonti naturali sono sostanzialmente: aerosol marino, suolo risollevato e trasportato dal vento etc.

PM _{2.5} anno 2023 - Concentrazioni in $\mu g/m^3$								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	364	<3	11	14	27	31	39	55
GIARDINI MARGHERITA	365	<3	11	13	26	33	41	64
SAN PIETRO CAPOFUME	365	<3	13	16	30	39	48	63
CASTELLUCCIO	365	<3	5	5	10	11	13	20
VALORE LIMITE	media annuale			25	$\mu g/m^3$			

Tabella 23 - Particolato $PM_{2.5}$: Parametri statistici

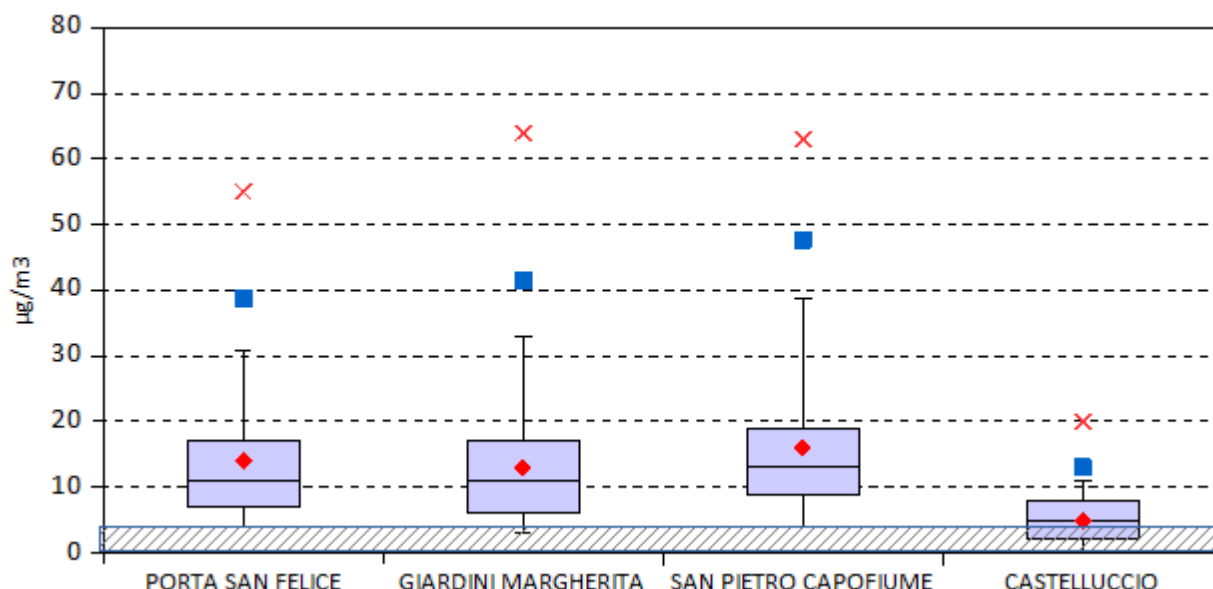


Figura 24 - $PM_{2.5}$: Box Plot delle statistiche annuali 2023

Le concentrazioni medie annue risultano, nel 2023, nettamente inferiori sia rispetto al valore limite di 25 µg/m³ che al valore limite indicativo di 20 µg/m³ (che avrebbe dovuto entrare in vigore dal 1° gennaio 2020) per tutte le postazioni presenti sul territorio metropolitano.

In Figura 24 il box plot illustra per le stazioni di Pianura e Agglomerato una distribuzione dei dati molto simile, favorita dalle caratteristiche chimico-fisiche del PM_{2.5}. Analogamente al particolato PM₁₀ anche per le PM_{2.5} la stazione di Castelluccio ha un comportamento a sé stante.

In Tabella 24 e in Figura 25 vengono riportate le medie mensili dei valori di concentrazione del particolato PM_{2.5} per l'anno 2023, che presentano il caratteristico andamento stagionale con valori più elevati in autunno ed in inverno.

PM _{2.5} (µg/m ³) - Medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	23	25	11	9	9	9	9	9	12	12	17	21
VIA CHIARINI	19	27	12	8	9	9	10	8	9	13	15	21
SAN PIETRO CAPOFUME	23	33	14	10	10	11	11	10	12	14	17	23
CASTELLUCCIO	4	6	4	4	5	6	7	6	7	6	<3	3

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 24 - PM_{2.5} Concentrazioni medie mensili 2023

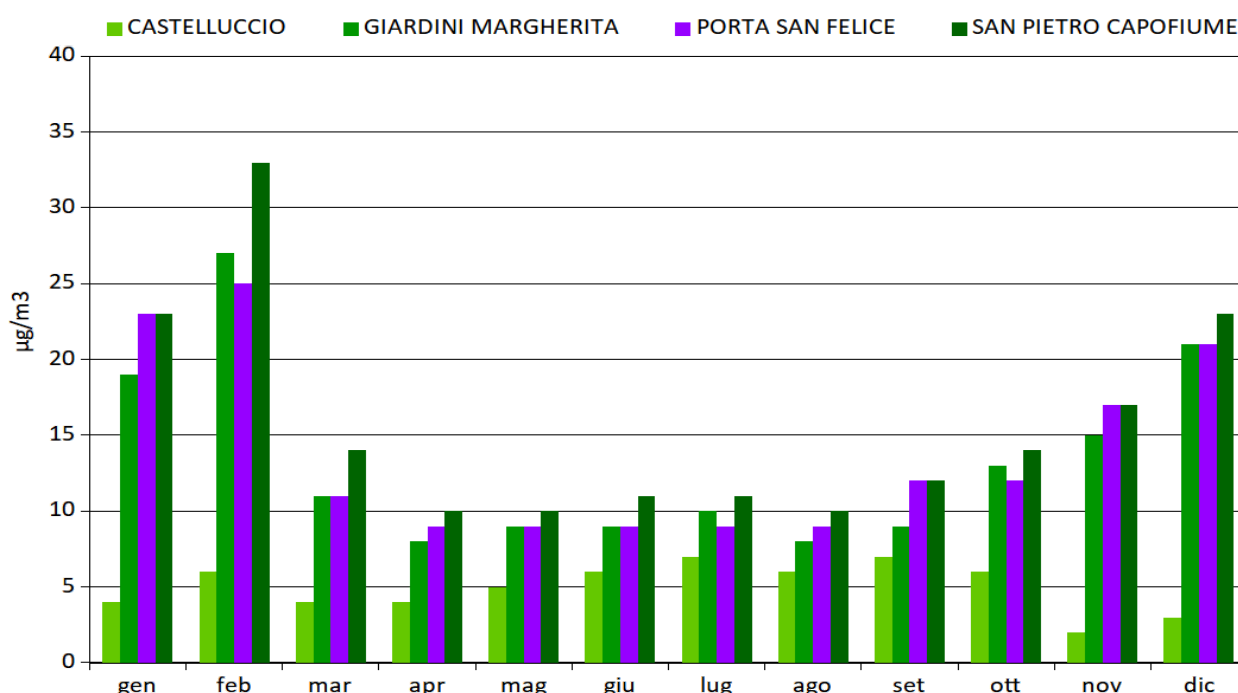


Figura 25 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie mensili - anno 2023

Un altro aspetto interessante è il confronto tra i valori medi mensili di PM_{2.5} e PM₁₀, in particolare l'andamento mensile dei rapporti percentuali tra le due specie, che può fornire indicazioni sulle relazioni tra le due frazioni di particolato nei vari periodi stagionali nei diversi

siti di misura. Il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ presenta infatti una variabilità che dipende oltre che dalla tipologia delle fonti primarie, anche da fattori stagionali.

Come mostrato dal grafico in Figura 26, i minimi annuali si trovano in estate, quando aumentano i fenomeni di sospensione e di trasporto a lunga distanza di particelle per la frazione grossolana. I massimi sono invece misurati in inverno, quando diventa più rilevante il ristagno e l'accumulo delle particelle fini originate dai processi di combustione per la maggiore stabilità verticale dell'aria. I dati si assestano comunque tutti tra il 39% di Giardini Margherita in Luglio ed il 92% di San Pietro Capofiume in gennaio.

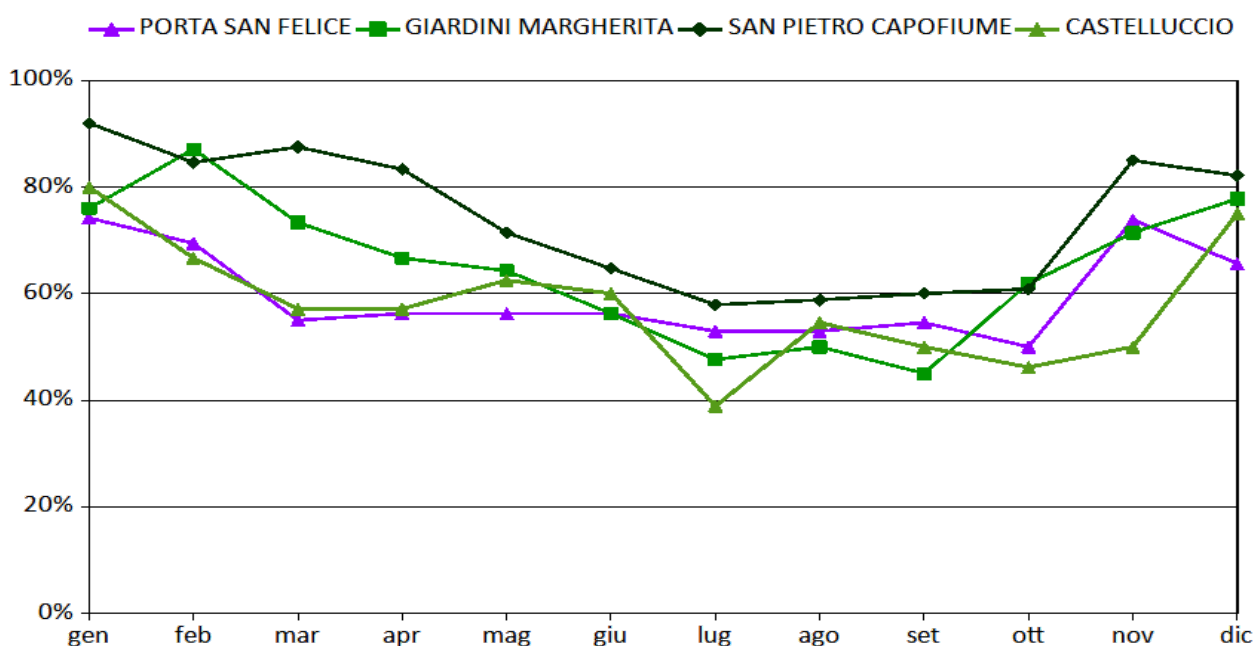


Figura 26 - Rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$: medie mensili 2023

L'andamento mensile dei rapporti percentuali nel 2023, mostra un comportamento simile tra i siti anche se con valori diversi; in generale i mesi invernali presentano i valori del rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ più elevati, in particolare per la stazione di pianura di San Pietro Capofiume.

I valori di Porta San Felice (stazione urbana da traffico) restano compresi tra un massimo del 74% in gennaio e novembre ed un minimo del 54% in ottobre, mentre quelli di Giardini Margherita (fondo urbano) tra 45% di settembre e 87% di febbraio. I valori di San Pietro Capofiume (stazione di fondo rurale) sono compresi tra un massimo invernale del 92%, registrato in gennaio ed un minimo, registrato in luglio del 52%.

Il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ relativo alla stazione di fondo remoto di Castelluccio, ha raggiunto il minimo in luglio (39%) ed il valore massimo a gennaio (80%) e ha un andamento abbastanza a sé stante rispetto a quello delle altre tre stazioni dove sono misurati sia PM_{10} che $PM_{2.5}$; ciò probabilmente anche per le caratteristiche del sito di misura posto in Appennino.

Nel grafico di Figura 27 ed in Tabella 25 si riportano le serie storiche delle medie annuali di $PM_{2.5}$ per le stazioni attive. Tale parametro viene monitorato già da tempo nei quattro siti delle stazioni di Porta San Felice, Giardini Margherita, San Pietro Capofiume e Castelluccio.

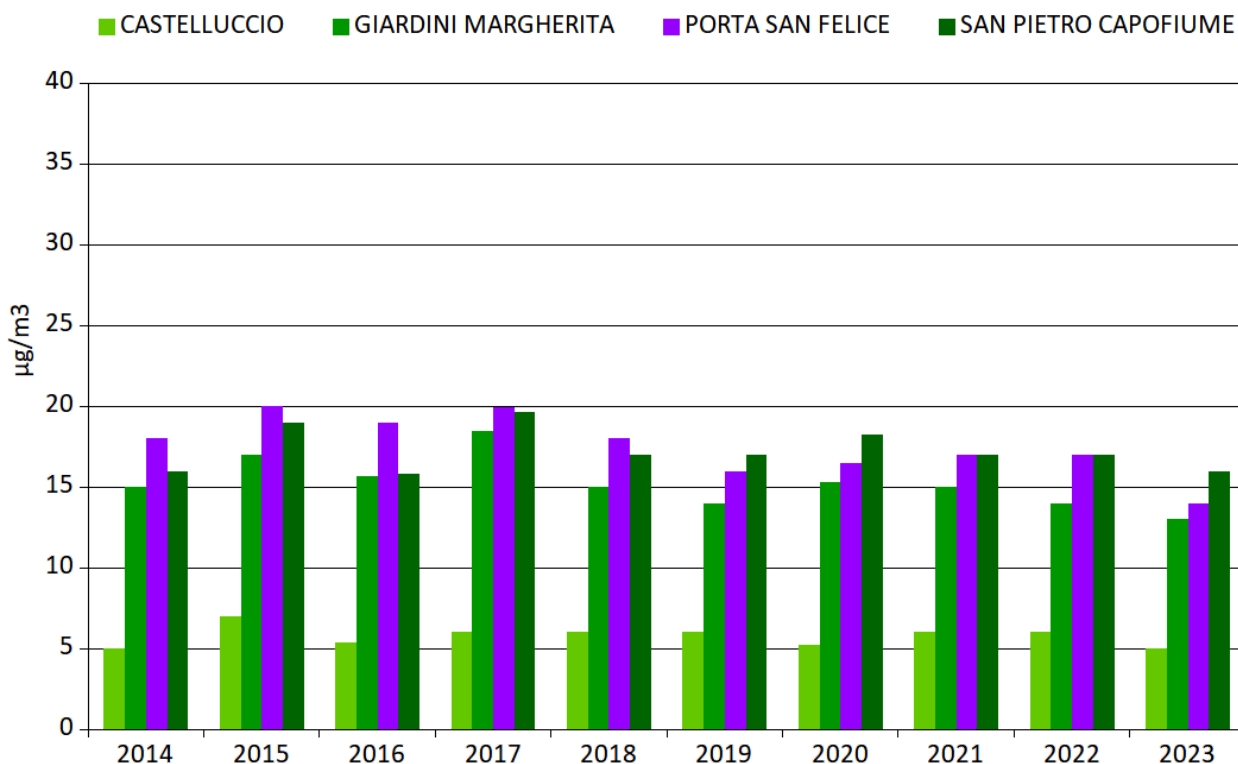


Figura 27 - PM_{2.5} Confronto medie annuali 2014-2023

Come si può osservare, il PM_{2.5} presenta, nel corso degli anni, un andamento meno variato rispetto al PM₁₀ anche se tendenzialmente in lieve diminuzione nel lungo periodo. Il rispetto del valore limite annuale (25 µg/m³) è ormai consolidato a partire dal 2008 e, dal 2014, tutte le stazioni registrano una media annuale inferiore o pari a 20 µg/m³.

PM _{2.5} (µg/m ³) - Medie annuali 2013 – 2022										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	18	20	19	20	18	16	17	17	17	14
GIARDINI MARGHERITA	15	17	16	18	15	14	15	15	14	13
SAN PIETRO CAPOFIUME	16	19	16	20	17	17	18	17	17	16
CASTELLUCCIO	5	7	5	6	6	6	5	6	6	5

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 25 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie annuali

MONOSSIDO DI CARBONIO

Che cos'è

Il monossido di carbonio (CO) è un inquinante gassoso primario derivante dalla combustione; è incolore e inodore. Si forma durante la combustione in condizioni di difetto d'aria, ovvero quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente per ossidare completamente le sostanze organiche. Poiché il CO ha una affinità per l'emoglobina superiore a quella dell'ossigeno, già a concentrazioni nel sangue pari al 10% si possono manifestare ipossia, emicrania, stanchezza e difficoltà respiratorie.

Come si origina

La principale sorgente di CO è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% delle emissioni a livello mondiale). La concentrazione di CO emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente connessa alle condizioni di funzionamento del motore: si registrano concentrazioni maggiori nelle condizioni tipiche del traffico urbano intenso e rallentato. La continua evoluzione delle tecnologie utilizzate ha comunque permesso di ridurre al minimo la presenza di questo inquinante in aria.

CO anno 2023 – Concentrazioni in mg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8723	<0,4	0,4	0,5	0,9	1,1	1,3	2,5

Tabella 26 - Monossido di carbonio: Parametri statistici - anno 2023

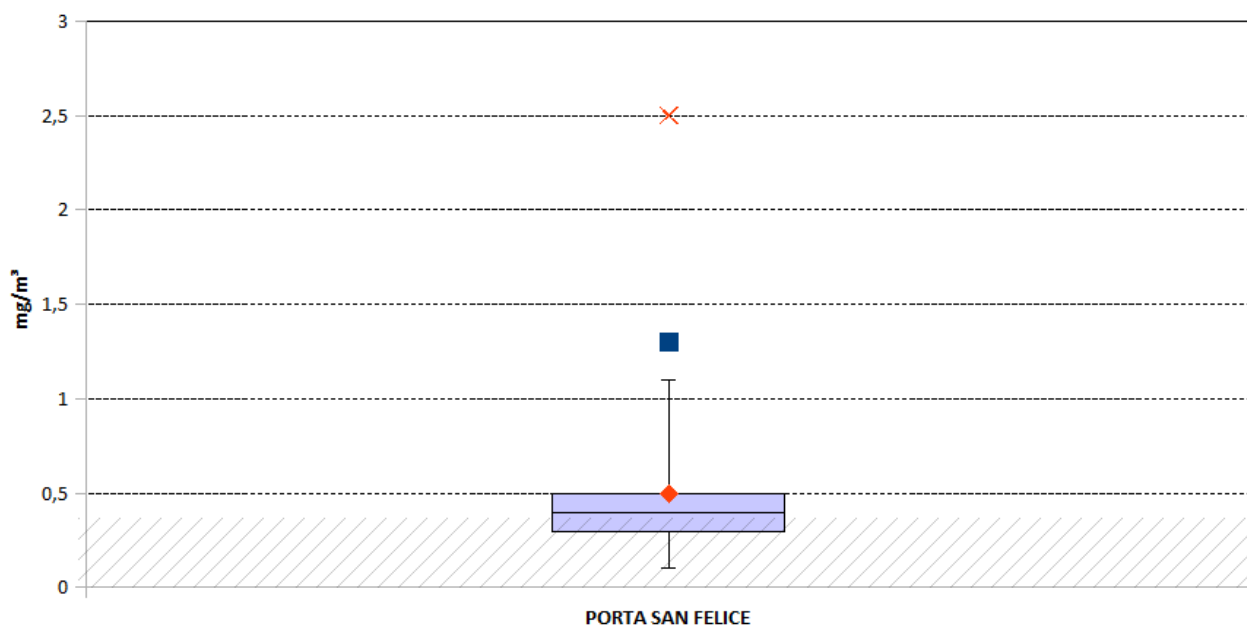


Figura 28 - CO : Box Plot delle statistiche annuali 2023

Dall'inizio del 2020 nell'area metropolitana di Bologna è presente un solo analizzatore di monossido di carbonio installato presso la stazione di Porta San Felice (stazione da traffico dell'area urbana di Bologna).

Il valore limite di 10 mg/m³ come massima concentrazione media giornaliera su 8 ore, fissato dalla normativa, non è mai stato superato da diversi anni, così come accaduto anche nel 2023; anche per tale ragione la configurazione della rete di monitoraggio prevede la rilevazione di questo inquinante solo nelle stazioni da traffico, ovvero dove più alta si presume sia la sua concentrazione.

Le concentrazioni medie mensili (Figura 29 e Tabella 27) presentano valori molto bassi lungo tutto l'anno, di circa un ordine di grandezza inferiori al limite; nei mesi estivi la concentrazione risulta inferiore al limite di quantificazione (0,4 mg/m³).

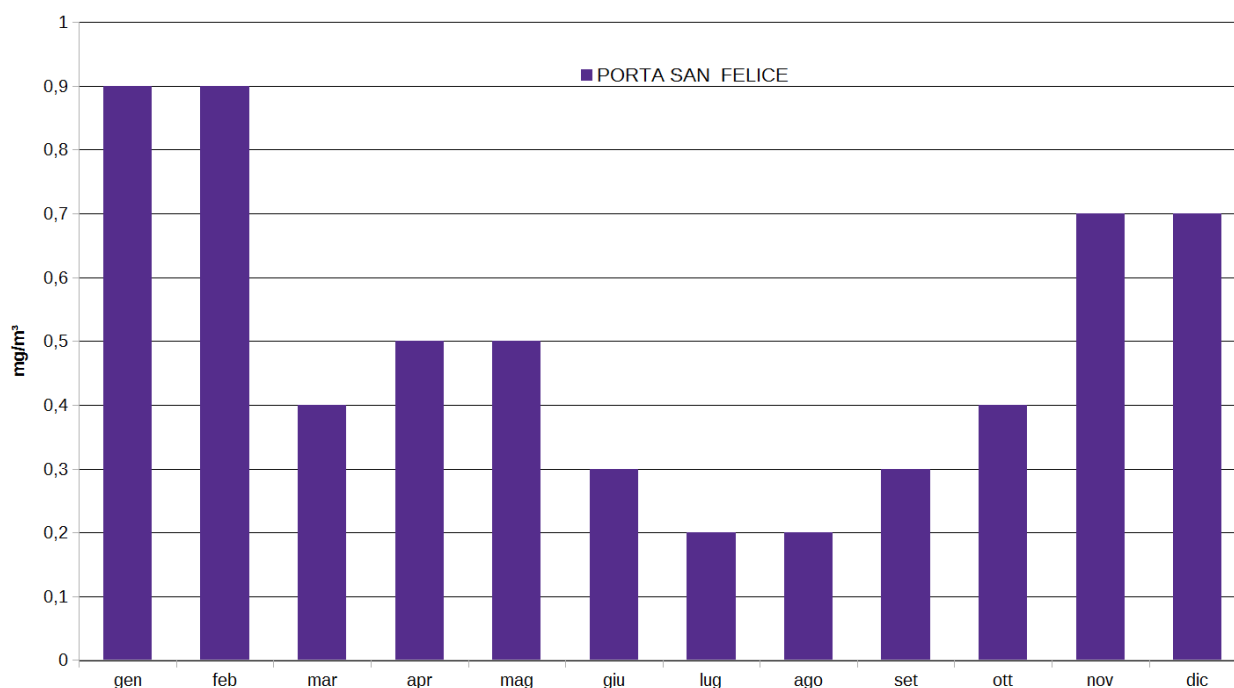


Figura 29 - CO Concentrazioni mensili

CO (mg/m ³) – medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,9	0,9	0,4	0,5	0,5	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,4	0,7	0,7

Tabella 27 - CO Concentrazioni medie mensili 2023

Il grafico riportato nella successiva Figura 30 illustra gli andamenti dei livelli di concentrazione orari relativi al giorno tipo invernale ed estivo. Gli andamenti evidenziano massimi orari nelle ore di punta del traffico nel periodo diurno e in quello serale, più marcati nei mesi invernali. In estate i valori diminuiscono presentando un andamento più costante durante tutto l'arco della giornata.

L'analisi dei dati medi delle serie storiche annuali (Tabella 28) e l'andamento temporale delle medie annuali (Figura 31) non presentano eccessive variazioni e mostrano valori che si collocano intorno ad una media molto lontana dal limite legislativo, analogamente a quanto rilevato su tutto il territorio regionale.

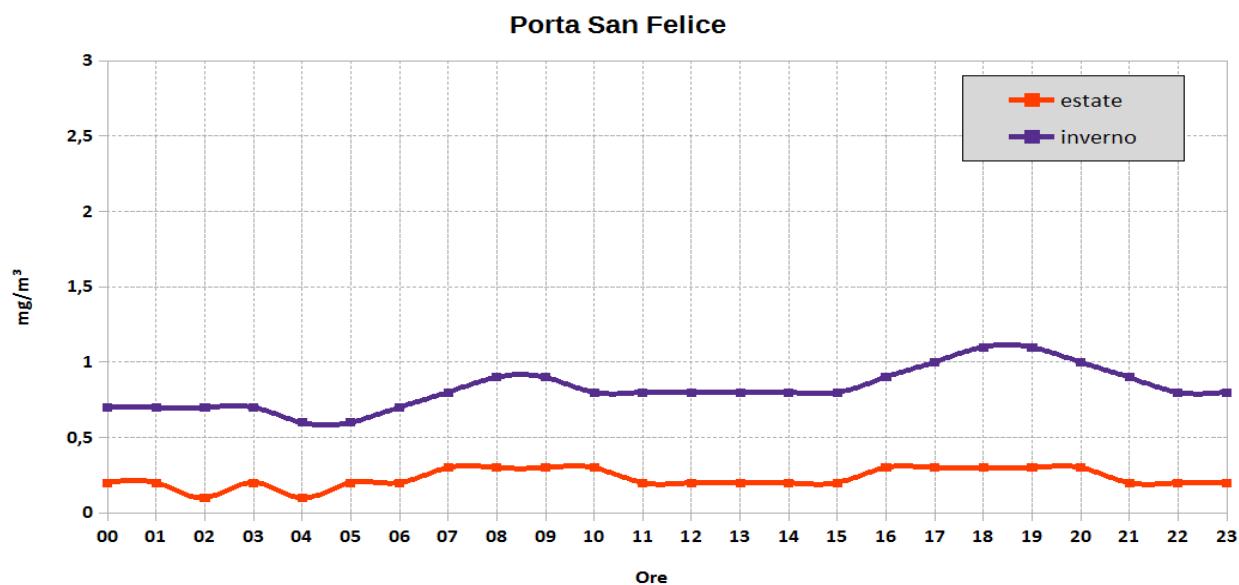


Figura 30 - Stazione da traffico, CO: giorno tipo invernale ed estivo

CO (mg/m3) – medie annuali 2014-2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	<0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5

Tabella 28 - CO confronto medie annuali 2014-2023

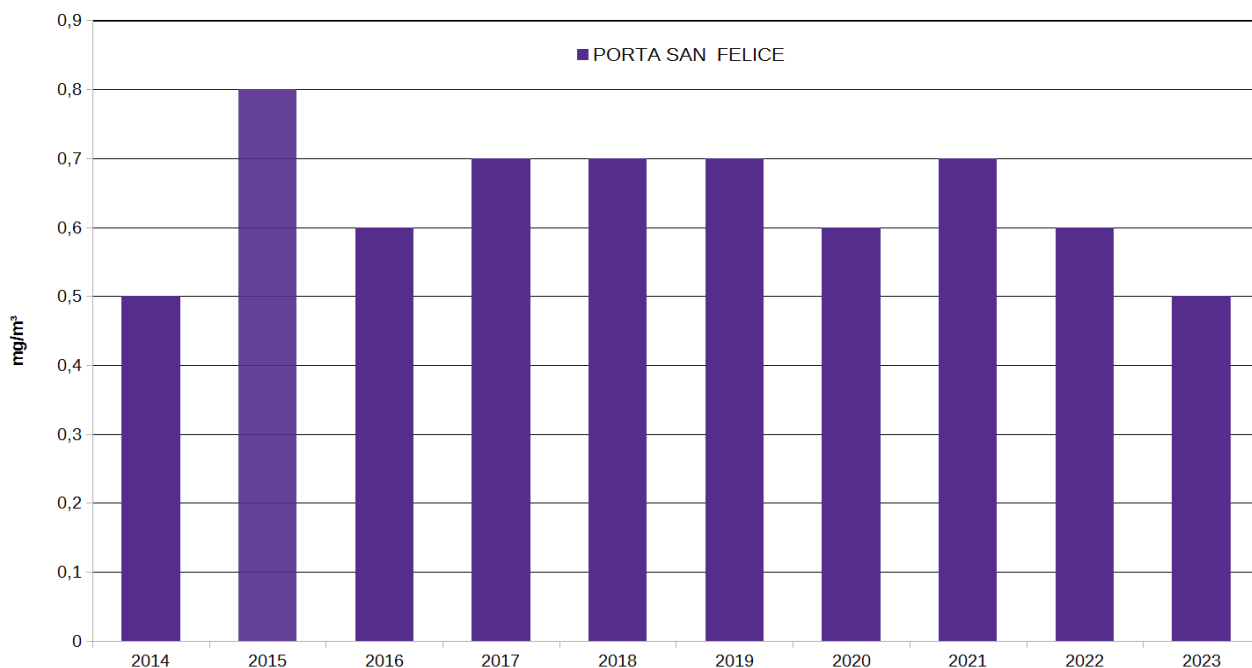


Figura 31 - CO Andamento temporale delle medie annuali

BENZENE

Che cos'è

Il benzene è un composto organico volatile, incolore e dal caratteristico odore aromatico pungente. L'effetto più noto dell'esposizione cronica riguarda la potenziale cancerogenicità del benzene sul sistema emopoietico (cioè sul sangue). L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) classifica il benzene come sostanza cancerogena di classe I, in grado di produrre varie forme di leucemia.

Come si origina

In passato il benzene è stato ampiamente utilizzato come solvente in molteplici attività industriali e artigianali. La maggior parte del benzene oggi prodotto (85%) trova impiego nella chimica come materia prima per numerosi composti secondari. Il benzene è, inoltre, contenuto nelle benzine, nelle quali viene aggiunto, insieme ad altri composti aromatici, per conferire le volute proprietà antidetonanti e per aumentare il "numero di ottani" in sostituzione totale dei composti del piombo.

C ₆ H ₆ anno 2023 – Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8049	0,1	0,8	1,0	1,8	2,2	2,7	6,3
VALORE LIMITE	Media annuale			5,0	µg/m ³			

Tabella 29 - Benzene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge - anno 2023

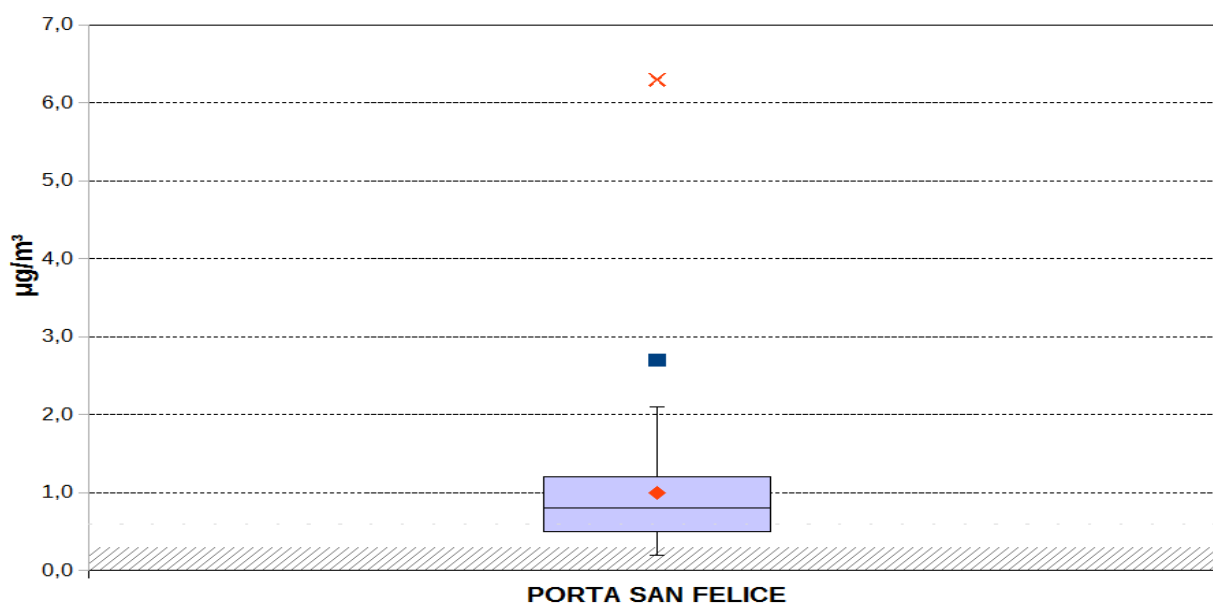


Figura 32 - C₆H₆ : Box Plot delle statistiche annuali 2023

Come presentato in Tabella 29, il valore medio annuale misurato presso la stazione da traffico di Porta San Felice risulta significativamente inferiore al valore limite di 5 µg/m³.

La distribuzione statistica (Figura 32) presenta valori entro il 98° percentile inferiori al limite annuale.

In Tabella 30 e Figura 33 è riportato l'andamento della concentrazione media mensile. Le concentrazioni più elevate si osservano nei mesi invernali, con il valore massimo di 1,7 µg/m³ registrato a gennaio.

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	1,5	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,9	1,4	1,6

■ mesi con percentuale di dati validi < 90% ■ mesi con percentuale di dati validi < 75%

Tabella 30 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2023

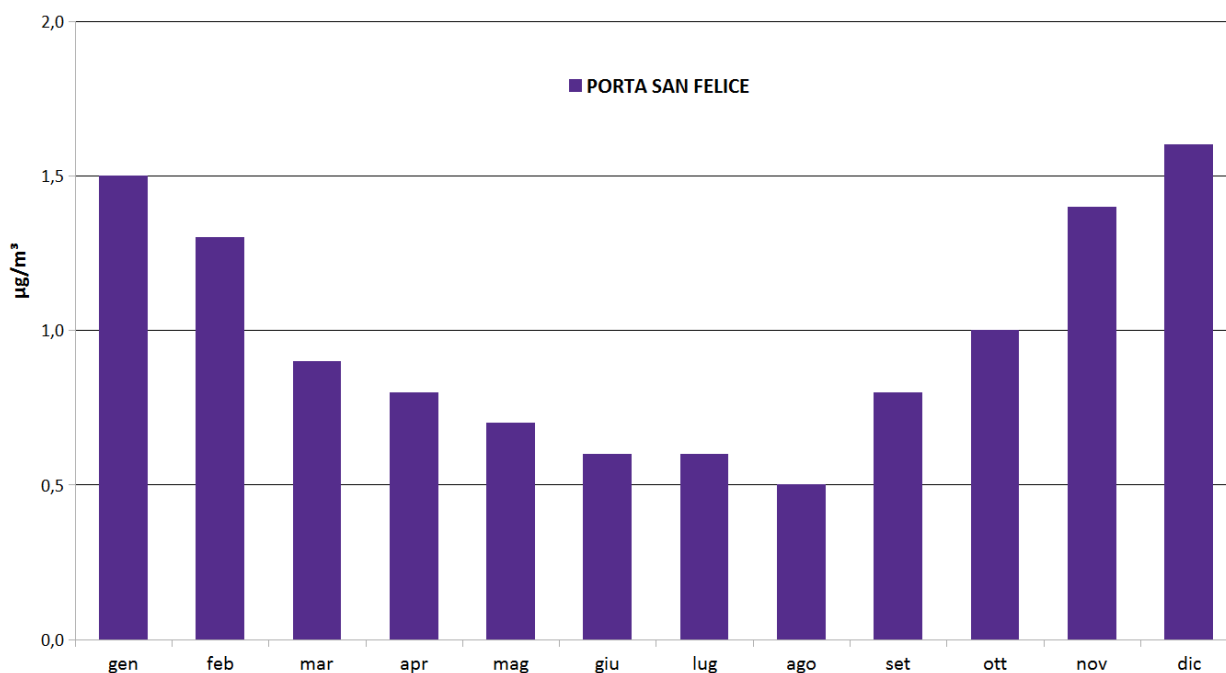


Figura 33 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2023

Il grafico successivo (Figura 34) illustra il giorno tipo invernale e quello estivo per il benzene. Gli andamenti evidenziano massimi orari che risultano più marcati nelle ore di punta del traffico, sia in periodo diurno che serale, nel periodo invernale. In estate i valori diminuiscono presentando un andamento più costante durante l'arco della giornata.

Il grafico rappresentato in Figura 35 invece, assieme ai dati riportati in Tabella 31, mostra l'andamento temporale delle concentrazioni medie annuali nel decennio 2014-2023.

A tal riguardo, si evidenzia un leggero aumento della concentrazione di benzene, rispetto agli ultimi tre anni, rimanendo comunque sempre ben al di sotto del limite normativo.

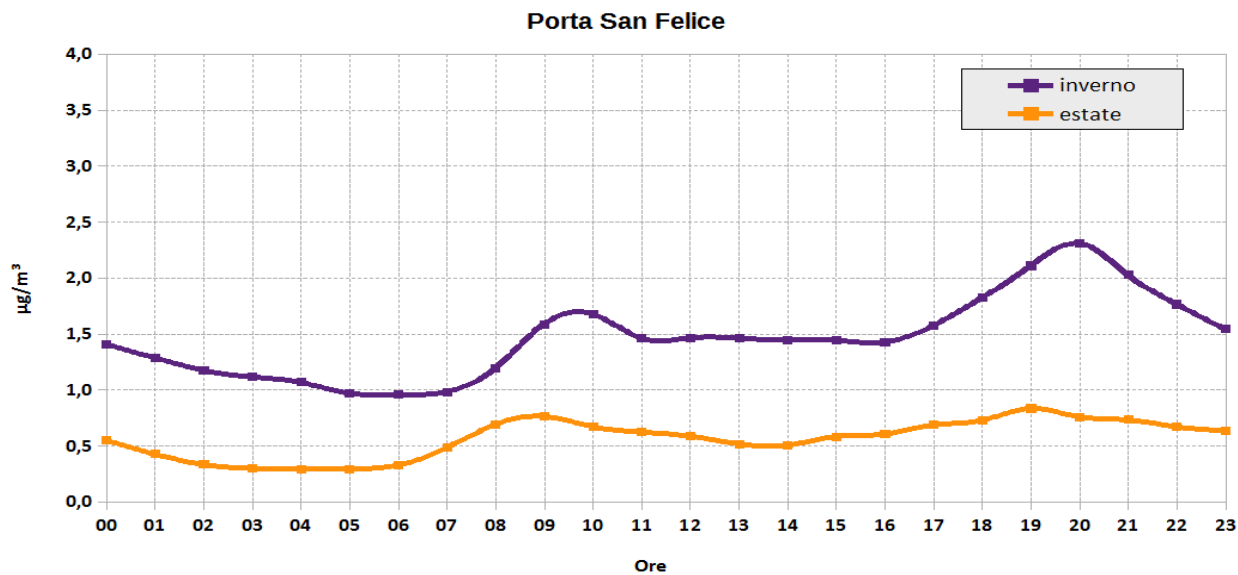


Figura 34 - Stazione da traffico, C₆H₆: giorno tipo invernale ed estivo

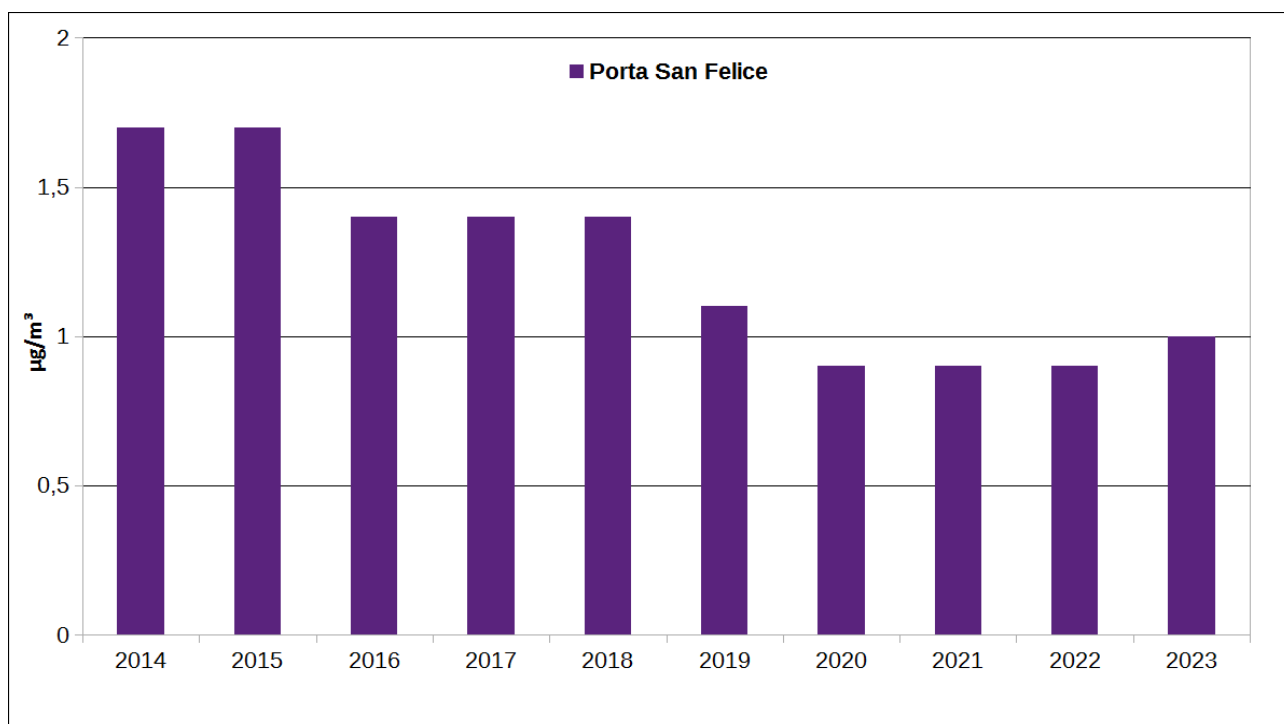


Figura 35 - C₆H₆ Confronto medie annuali 2014-2023

C ₆ H ₆ (µg/m ³) - Medie Annuali 2014 - 2023										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	1,7	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 31 - C₆H₆: Andamento temporale delle medie annuali

ANALISI SUL PARTICOLATO

Il particolato PM_{10} , campionato attraverso appositi filtri utilizzati dalla strumentazione per la misurazione in automatico delle polveri, viene periodicamente sottoposto ad analisi chimica per la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e di alcuni elementi.

Per la loro rilevanza tossicologica, il D.Lgs. 155/2010 richiede la misurazione del cosiddetto “profilo IPA” ovvero delle seguenti sette specie chimiche:

- benzo(a)pirene,
- benzo(a)antracene,
- benzo(b)fluorantene,
- benzo(j)fluorantene,
- benzo(k)fluorantene,
- indeno(1,2,3,c-d)pirene,
- dibenzo(a,h)antracene.

Il decreto definisce un valore obiettivo per il solo benzo(a)pirene, la cui concentrazione viene utilizzata come indice del potenziale cancerogeno degli IPA totali. Tale valore, riferito al tenore totale dell'inquinante presente nella frazione di particolato PM_{10} , calcolato come media su un anno civile, è pari ad 1 ng/m^3 .

Il D.Lgs. 155/2010 indica inoltre per arsenico, cadmio e nichel i valori obiettivo rispettivamente di 6 ng/m^3 , di 5 ng/m^3 e di 20 ng/m^3 e per il piombo il valore limite di $0.5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, come media su un anno civile.

In conformità a quanto richiesto dalla norma vengono quindi condotte analisi con frequenza mensile sui filtri campionati:

- nella stazione urbana da traffico di Porta San Felice, nella stazione di fondo rurale di San Pietro Capofiume e nella stazione di fondo urbano Giardini Margherita, per la valutazione delle concentrazioni di IPA in aria ambiente;
- nella postazione urbana di fondo di Giardini Margherita a Bologna, per le determinazioni di Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo.

Idrocarburi Policiclici Aromatici

Che cosa sono

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) costituiscono un numeroso gruppo di composti organici formati da più anelli benzenici. In generale, si tratta di sostanze solide a temperatura ambiente, scarsamente solubili in acqua, degradabili in presenza di radiazione ultravioletta e altamente affini ai grassi presenti nei tessuti viventi. Il composto più studiato e rilevato è il benzo(a)pirene, che ha una struttura con cinque anelli aromatici condensati. È una delle prime sostanze delle quali si è accertata la cancerogenicità ed è stata utilizzata come indicatore dell'intera classe di composti policiclici aromatici.

Come si originano

Gli idrocarburi policiclici aromatici sono contenuti nel carbone e nei prodotti petroliferi (particolarmente nel gasolio e negli oli combustibili). Essi vengono emessi in atmosfera come residui di combustioni incomplete in alcune attività industriali (cokerie, produzione e lavorazione grafite, trattamento del carbon fossile) e dagli impianti di riscaldamento (alimentati con combustibili solidi e liquidi pesanti); inoltre sono presenti nelle emissioni degli autoveicoli (sia diesel, che benzina). In generale l'emissione di IPA nell'ambiente risulta molto variabile a seconda del tipo di sorgente, del tipo di combustibile e della qualità della combustione. La presenza di questi composti nei gas di scarico degli autoveicoli è dovuta sia alla frazione presente come tale nel carburante, sia alla frazione che per pirosintesi ha origine durante il processo di combustione.

In Tabella 32 sono riportati i valori statistici annuali relativi alle concentrazioni di benzo(a)pirene rilevate nelle tre stazioni della rete di Bologna dove viene misurato. Dall'analisi della Tabella 32 emerge come i valori medi annuali di benzo(a)pirene per il 2023 risultino di un ordine di grandezza inferiori al limite normativo.

Benzo(a)pirene anno 2023 - Concentrazioni in ng/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	12	0,003	0,050	0,139	0,414	0,449	0,465	0,476
GIARDINI MARGHERITA	12	0,003	0,039	0,092	0,259	0,303	0,327	0,343
SAN PIETRO CAPOFIUME	12	0,003	0,031	0,171	0,490	0,605	0,678	0,726
LIMITE NORMATIVO		media annuale		1,0	ng/m ³			

Tabella 32 - Benzo(a)Pirene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

Benzo(a)Pirene (ng/m ³) – medie mensili anno 2023												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,426	0,301	0,101	0,054	0,023	0,003	0,004	0,016	0,017	0,046	0,197	0,476
GIARDINI MARGHERITA	0,271	0,155	0,074	0,049	0,015	0,004	0,003	0,009	0,010	0,029	0,147	0,343
S. PIETRO CAPOFIUME	0,506	0,341	0,081	0,043	0,011	0,003	0,003	0,009	0,009	0,019	0,296	0,726

Tabella 33 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2023 (ng/m³)

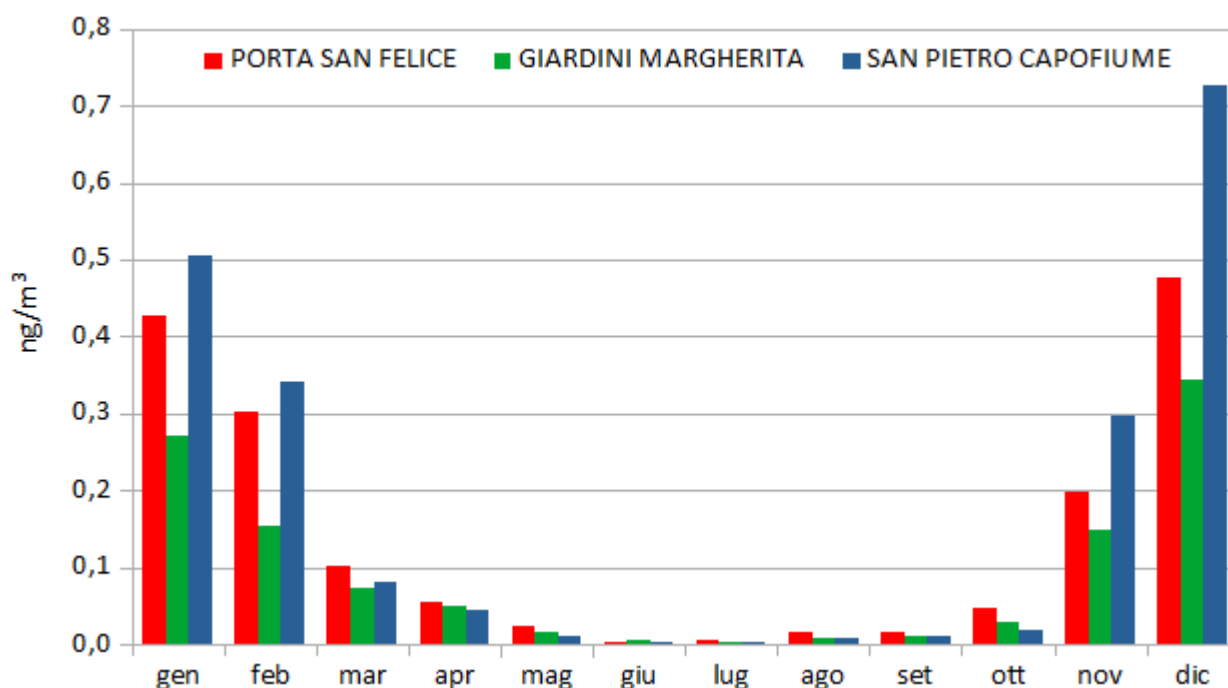


Figura 36 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2023 (ng/m³)

In Tabella 33 e nel successivo grafico di Figura 36 sono riportate le concentrazioni medie del Benzo(a)pirene relative alle stazioni di riferimento per i periodi mensili. Come si può vedere, i dati presentano andamenti tipici col variare della stagione, evidenziando le massime concentrazioni per le diverse stazioni nei mesi invernali (gennaio e dicembre).

Nelle tabelle e nei grafici che seguono sono riportate le concentrazioni medie, per l'anno 2023, dei diversi IPA di interesse sanitario, individuati dalla normativa (Tabella 34 e Figura 37).

Anche in questo caso, pur non essendo previsto alcun limite di legge per questi parametri, i valori delle concentrazioni medie annuali risultano nettamente al di sotto del valore obiettivo fissato per il benzo (a)pirene.

IPA di interesse sanitario (D.Lgs 155/2010) [ng/m ³] – medie anno 2023						
Stazione	Benzo(a) Pirene	Benzo(a) Antracene	Benzo(b)+(j) Fluorantene	Benzo(k) Fluorantene	Indeno(1,2,3,c,d) Pirene	Dibenzo(ac)+(ah) Antracene
PORTA SAN FELICE	0,139	0,112	0,314	0,099	0,182	0,021
GIARDINI MARGHERITA	0,092	0,049	0,218	0,070	0,117	0,016
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,171	0,131	0,408	0,137	0,217	0,021

Tabella 34 - IPA: Concentrazioni medie annuali IPA di interesse sanitario (ng/m³) 2023

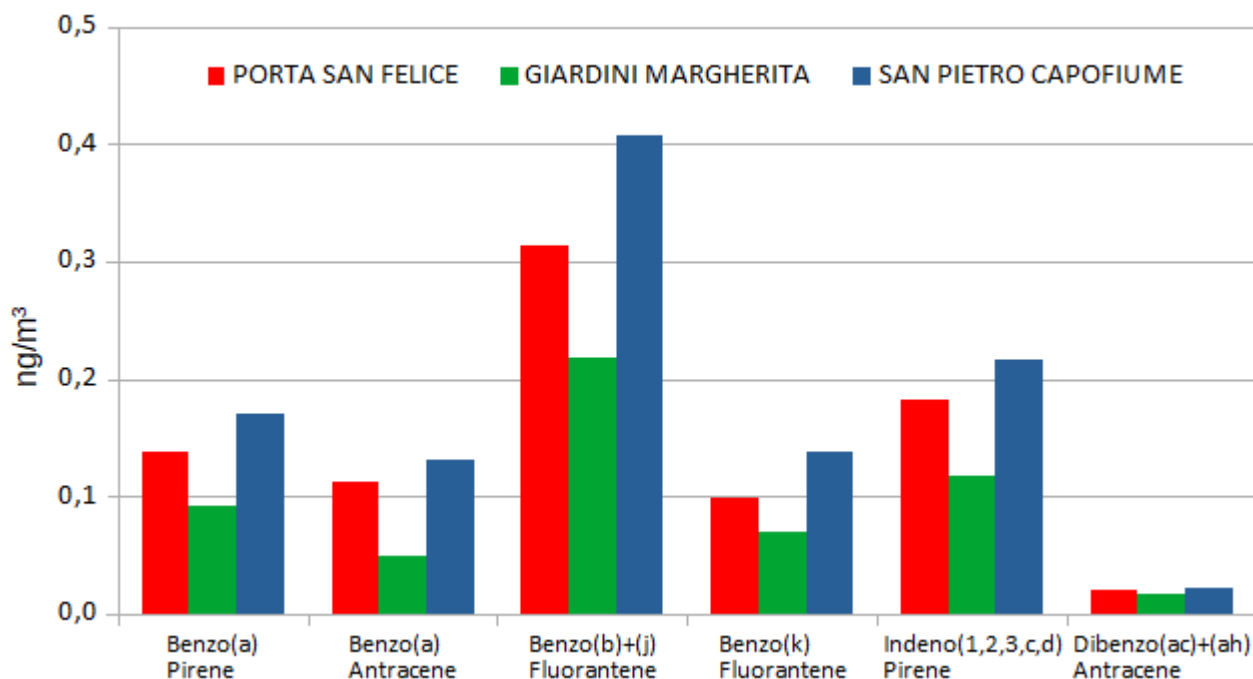


Figura 37 - IPA: Concentrazioni medie annuali IPA di interesse sanitario (ng/m³) 2023

Infine, in Tabella 35 e in Figura 38 sono riportate le serie delle medie annuali del Benzo(a)pirene, espresse in ng/m^3 , relative agli ultimi 10 anni (dal 2014 al 2023). Si può notare come tutte le concentrazioni riportate siano largamente inferiori al valore obiettivo.

Dall'analisi dei dati, non sembra emergere un andamento tendenziale nel corso degli anni.

Benzo(a)Pirene - Medie annuali 2014-2023 in ng/m^3										
Stazione	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
PORTA SAN FELICE	0,13	0,11	0,22	0,20	0,18	0,17	0,17	0,15	0,20	0,14
GIARDINI MARGHERITA	0,12	0,18	0,13	0,15	0,11	0,13	0,12	0,10	0,12	0,09
SAN PIETRO CAPOFUME	0,08	0,08	0,20	0,29	0,19	0,21	0,18	0,13	0,20	0,17

Tabella 35 - Benzo(a)Pirene: Andamento temporale delle medie annuali

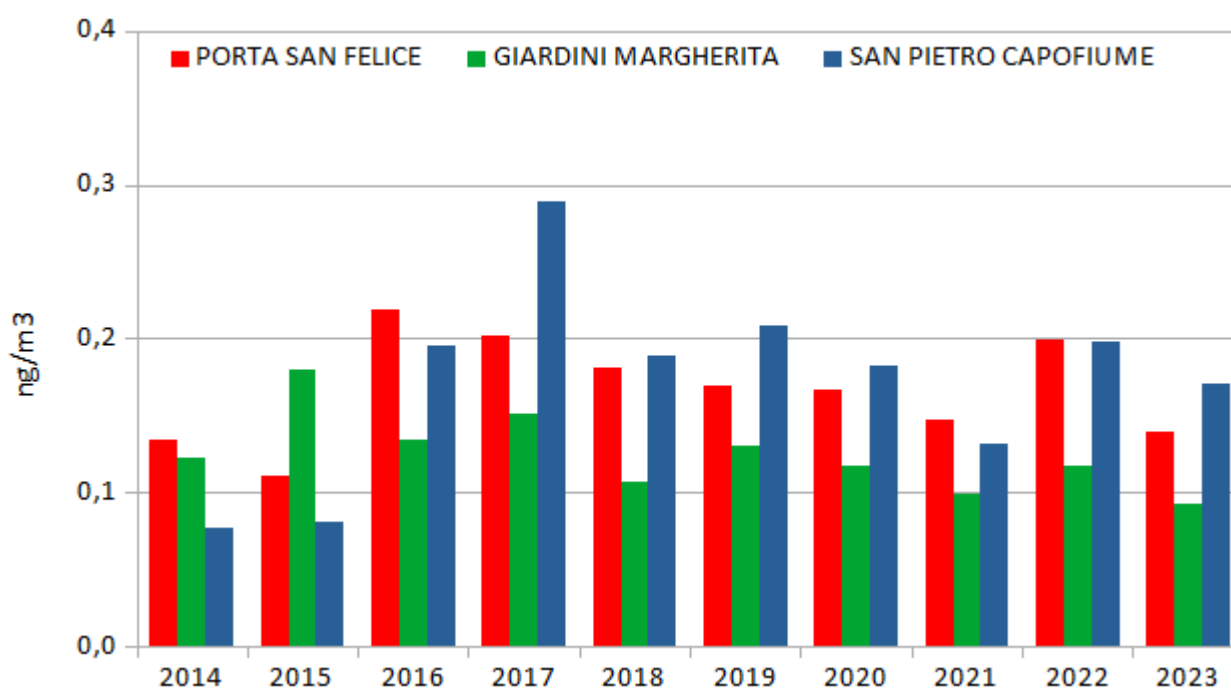


Figura 38 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie annuali dal 2014 al 2023 (ng/m^3)

Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo

Che cosa sono

Nel particolato atmosferico sono presenti elementi di varia natura. Oggetto di monitoraggio, in quanto maggiormente rilevanti sotto il profilo tossicologico, sono il nichel (Ni), il cadmio (Cd), il piombo (Pb) e l'arsenico (As). I composti del nichel, del cadmio e dell'arsenico sono classificati, dalla Agenzia internazionale di ricerca sul cancro, come cancerogeni per l'uomo. Per il piombo è stato evidenziato un ampio spettro di effetti tossici, in quanto tale sostanza interferisce con numerosi sistemi enzimatici.

Come si originano

Gli elementi presenti nel particolato atmosferico provengono da una molteplice varietà di fonti: il cadmio è originato prevalentemente da processi industriali; il nichel proviene da alcuni processi di combustione; il piombo dalle emissioni degli autoveicoli; l'arsenico deriva principalmente dalla combustione di carbone e

derivati del petrolio. In particolare, il piombo di provenienza autoveicolare era emesso quasi esclusivamente da motori a benzina, nei quali era contenuto sotto forma di piombo tetraetile e/o tetrametile con funzioni di antidetonante. L'adozione generalizzata della benzina "verde" (0,013 g/l di Pb) dall'1 gennaio 2002 ha portato però ad una riduzione delle emissioni di piombo del 97%; di conseguenza è divenuto praticamente trascurabile il contributo della circolazione autoveicolare alla concentrazione in aria di questo metallo.

Di seguito vengono riportati, in Tabella 36 e in Figura 39, i valori di concentrazione media mensile, per l'anno 2023, rilevati sul particolato PM₁₀ di Giardini Margherita relativi ad Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo.

Giardini Margherita – Concentrazioni medie mensili anno 2023 (ng/m ³)												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Arsenico	0,230	0,516	0,214	0,199	0,193	0,272	0,199	0,193	0,199	0,193	0,215	0,200
Cadmio	0,134	0,131	0,043	0,040	0,038	0,054	0,040	0,038	0,040	0,105	0,107	0,092
Nichel	0,920	0,855	1,730	0,707	0,772	1,087	0,797	0,772	0,622	1,821	0,860	1,650
Piombo	3,983	4,206	1,761	1,513	1,734	1,696	1,625	1,051	0,399	2,504	2,810	3,353

Tabella 36 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento medie mensili anno 2023

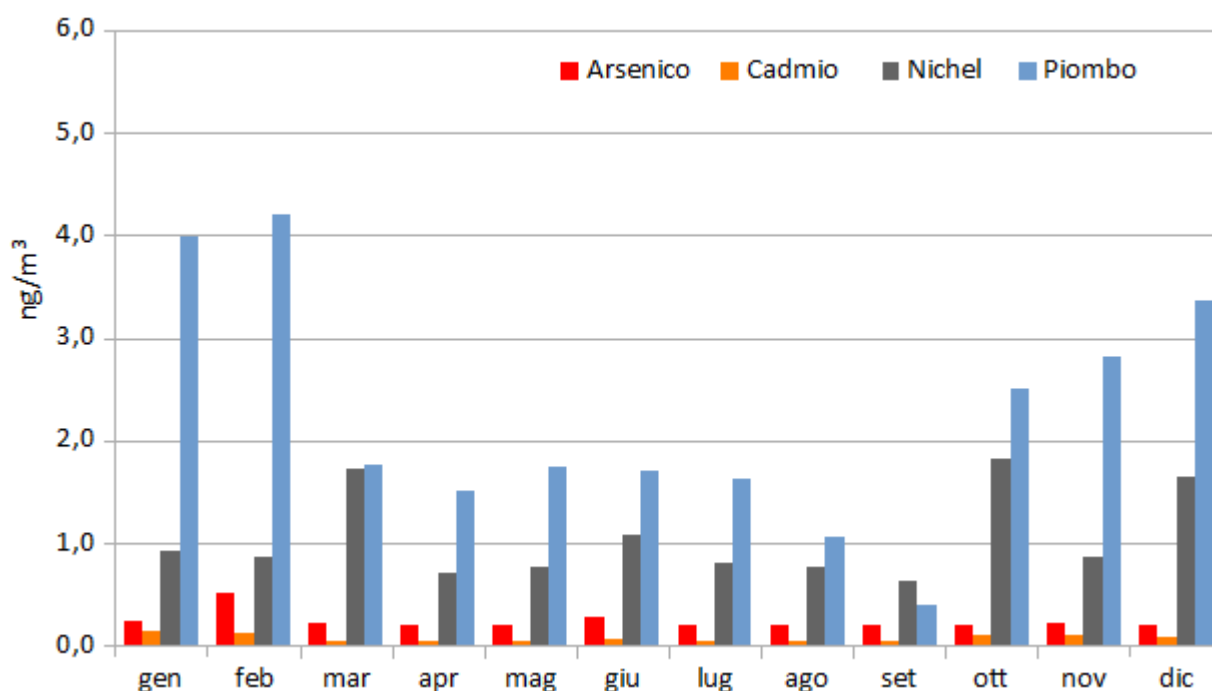


Figura 39 - Metalli: Concentrazioni medie mensili (ng/m³) - Giardini Margherita 2023

L'analisi dei grafici permette di osservare un'influenza della stagionalità nei livelli di concentrazione misurati, con una tendenza ad una maggior presenza dei vari metalli nel periodo invernale, in particolare per quel che concerne il piombo ed il cadmio. Per gli altri metalli occorre considerare che non sempre sono state raggiunte concentrazioni superiori al limite di

quantificazione, perciò il valore graficato, dedotto da tale riferimento analitico, può assumere valori lievemente diversi che possono rendere ragione di alcune apparenti anomalie nell'andamento dei dati (in particolare per il nichel). Comunque tutti i livelli rilevati si situano abbondantemente al di sotto dei valori obiettivo o limite (nel caso del piombo) previsti dalla normativa.

In Tabella 37 e Figura 40 è infine riportato l'andamento temporale delle medie annuali a partire dal 2014. Tutte le concentrazioni riportate (esprese in nanogrammi per metro cubo) sono largamente inferiori ai rispettivi valori obiettivo e, per il Piombo, al valore limite annuale.

Giardini Margherita - Medie annuali 2014-2023 (ng/m ³)											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Valore obiettivo
Arsenico	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	6
Cadmio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
Nichel	1,0	1,0	1,5	1,6	1,3	3,0	0,8	0,8	1,1	1,0	20
											Valore limite
Piombo	3,4	4,0	4,4	4,3	2,8	3,1	2,4	2,5	2,5	2,2	500

Tabella 37 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento temporale delle medie annuali (ng/m³)

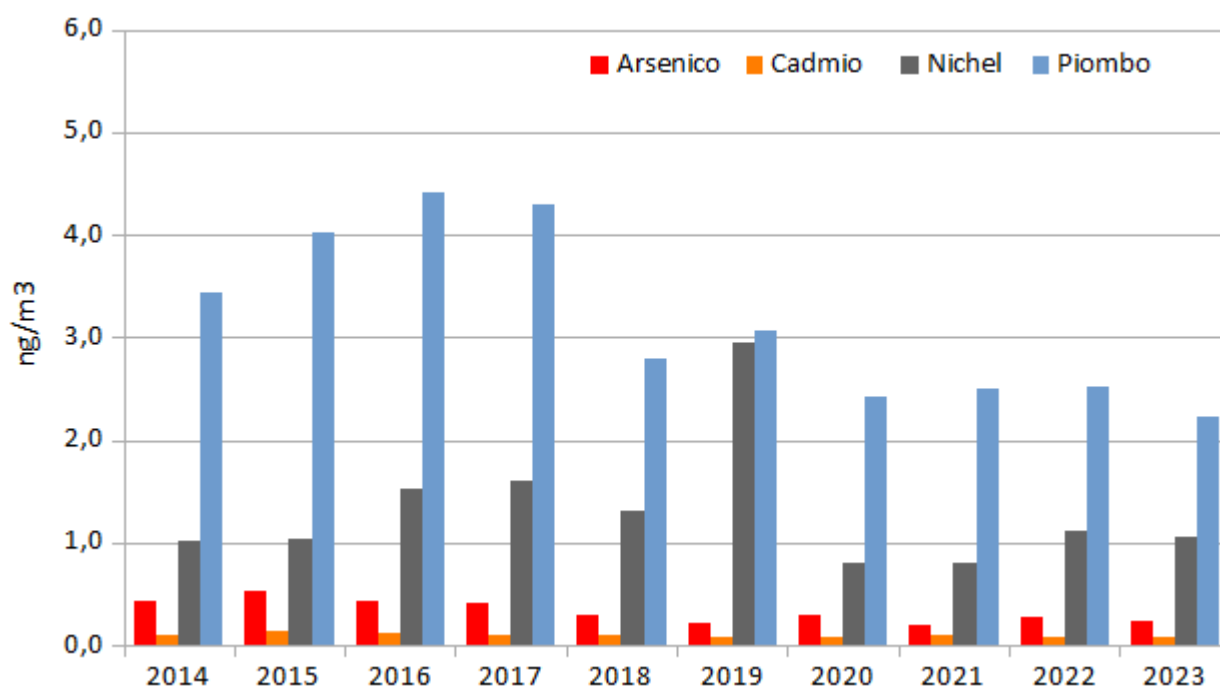


Figura 40 - Metalli: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) dal 2014 al 2023

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per quanto riguarda gli aspetti meteorologici, il 2023 ha mostrato un incremento, rispetto all'anno precedente, sia nei valori complessivi delle temperature che in quelli delle precipitazioni. Tuttavia, in entrambi i casi, il confronto con gli andamenti climatici di lungo periodo evidenzia il consolidarsi, per l'area bolognese, di un clima più secco e caldo, caratterizzato da temperature più alte (per la quasi totalità dei mesi) e da una forte riduzione del regime delle precipitazioni, che tendono a concentrarsi in brevi periodi o addirittura in eventi a carattere alluvionale come capitato proprio nel maggio 2023 a Bologna e in Romagna.

Le condizioni meteorologiche, influenzando fortemente l'accumulo e la dispersione degli inquinanti in atmosfera, nonché la formazione dei cosiddetti inquinanti secondari, hanno un ruolo fondamentale nella definizione delle concentrazioni degli inquinanti stessi.

Relativamente alla qualità dell'aria, nel 2023 purtroppo non è stato bissato il risultato dell'anno precedente che aveva visto rispettato il limite annuale per il biossido di azoto ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su tutte le stazioni della rete; tuttavia, a parte la stazione urbana da traffico di Porta San Felice, tornata di poco oltre il limite normativo consentito, presso tutte le altre stazioni di misura si è registrata una lieve diminuzione delle concentrazioni medie annuali, che conferma il trend di riduzione osservabile in generale sul territorio bolognese.

Come negli anni precedenti, anche nel 2023 non sono mai stati superati il valore limite sulla media oraria di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la soglia di allarme di $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciò conferma che gli episodi acuti legati a concentrazioni orarie elevate di NO_2 non rappresentano più un elemento di criticità.

Anche il valore limite applicabile agli ossidi di azoto NO_x per la protezione della vegetazione risulta rispettato presso le centraline dove è possibile stimarlo (San Pietro Capofiume e Castelluccio).

Con riferimento al particolato PM_{10} , rispetto all'anno precedente, nel 2023 si è registrata la diminuzione delle concentrazioni medie annuali su tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio presenti nel territorio bolognese, con valori che risultano sostanzialmente in linea con quelli del 2021 e che, in taluni casi, rappresentano il minimo degli ultimi 10 anni di dati.

In tutti i casi comunque, le medie annuali di PM_{10} risultano ben al di sotto del limite normativo previsto ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il numero complessivo di giorni di superamento del valore limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ha visto un netto decremento in tutte le stazioni, ad eccezione di quella di San Pietro Capofiume (che è andata in controtendenza) e quella di fondo remoto di Castelluccio, in Appennino (che è rimasta invariata senza alcun superamento del limite). In tutti i casi è stato comunque rispettato il limite normativo consentito di 35 giornate.

Analogamente a quanto visto per il PM_{10} , anche per le concentrazioni annuali di $\text{PM}_{2,5}$ si osserva una generalizzata riduzione delle medie annuali su tutte le stazioni della rete, con valori rimasti al di sotto sia del valore limite annuale ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sia di quello obiettivo a lungo termine ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

L'ozono è un inquinante secondario, a connotazione fortemente stagionale, che si presenta a concentrazioni più elevate nel periodo più caldo dell'anno (tra aprile e settembre).

Nell'anno in esame non si sono verificati superamenti della soglia di allarme di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda la soglia di informazione, fissata a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nel corso del 2023 il numero di superamenti si è ridotto, rispetto agli anni precedenti, ad appena due ore registrate nella

stazione di fondo urbana di Giardini Margherita a Bologna e nessuna ora presso le altre centraline di misura.

Il numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è risultato a sua volta in diminuzione rispetto ai valori dello scorso anno.

La media sui tre anni prevista dalla normativa per questo tipo di parametro vede ancora le stazioni dell'agglomerato e della pianura superare il numero massimo consentito (non più di 25 volte/anno) con un valore massimo di 54 volte/anno presso la stazione di San Pietro Capofiume a Molinella.

Per quanto riguarda il parametro AOT40 relativo alla protezione della vegetazione, anche nel 2023, come negli anni precedenti, risulta superato il valore obiettivo su 5 anni nelle stazioni di Chiarini e San Pietro Capofiume.

I valori degli altri inquinanti (monossido di carbonio, benzene, benzo(a)pirene, arsenico, cadmio, nichel e piombo) sono rimasti entro i limiti di legge in tutte le stazioni di rilevamento, come già accaduto nell'ultimo decennio, senza peraltro presentare significativi scostamenti, in positivo o in negativo, dai valori degli ultimi anni, ma risultando comunque, con l'eccezione del benzene, lievemente in diminuzione rispetto ai valori dell'anno precedente.

