

---

# Rete Regionale di Monitoraggio e Valutazione della Qualità dell'Aria

## Città Metropolitana di Bologna

### Report dei dati 2024

APAM - Servizio Sistemi Ambientali

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

Responsabile: Stefania Ganz

Giugno 2025



## **Indice generale**

<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO</b>	<b>3</b>
<b>LA ZONIZZAZIONE DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA</b>	<b>4</b>
<b>LA RETE DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA</b>	<b>5</b>
<b>CONDIZIONE METEOROLOGICA DEL TERRITORIO METROPOLITANO</b>	<b>5</b>
Temperatura	6
Precipitazioni	7
Direzione e velocità del vento	8
Altri parametri meteorologici di interesse	11
Eventi climatologici eccezionali nel 2024	12
<b>LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2024</b>	<b>13</b>
<b>BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO</b>	<b>15</b>
<b>OZONO</b>	<b>20</b>
<b>MONOSSIDO DI CARBONIO</b>	<b>26</b>
<b>BENZENE</b>	<b>29</b>
<b>PARTICOLATO PM10</b>	<b>32</b>
<b>PARTICOLATO PM2.5</b>	<b>37</b>
<b>ANALISI SUL PARTICOLATO</b>	<b>41</b>
Idrocarburi Policiclici Aromatici	41
Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo	44
<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>47</b>

## 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, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>
- biossido di zolfo, SO<sub>2</sub>
- monossido di carbonio, CO
- ozono, O<sub>3</sub>
- particolato con diametro aerodinamico ≤ 10 µm, PM<sub>10</sub>
- particolato con diametro aerodinamico ≤ 2,5 µm, PM<sub>2,5</sub>
- 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.

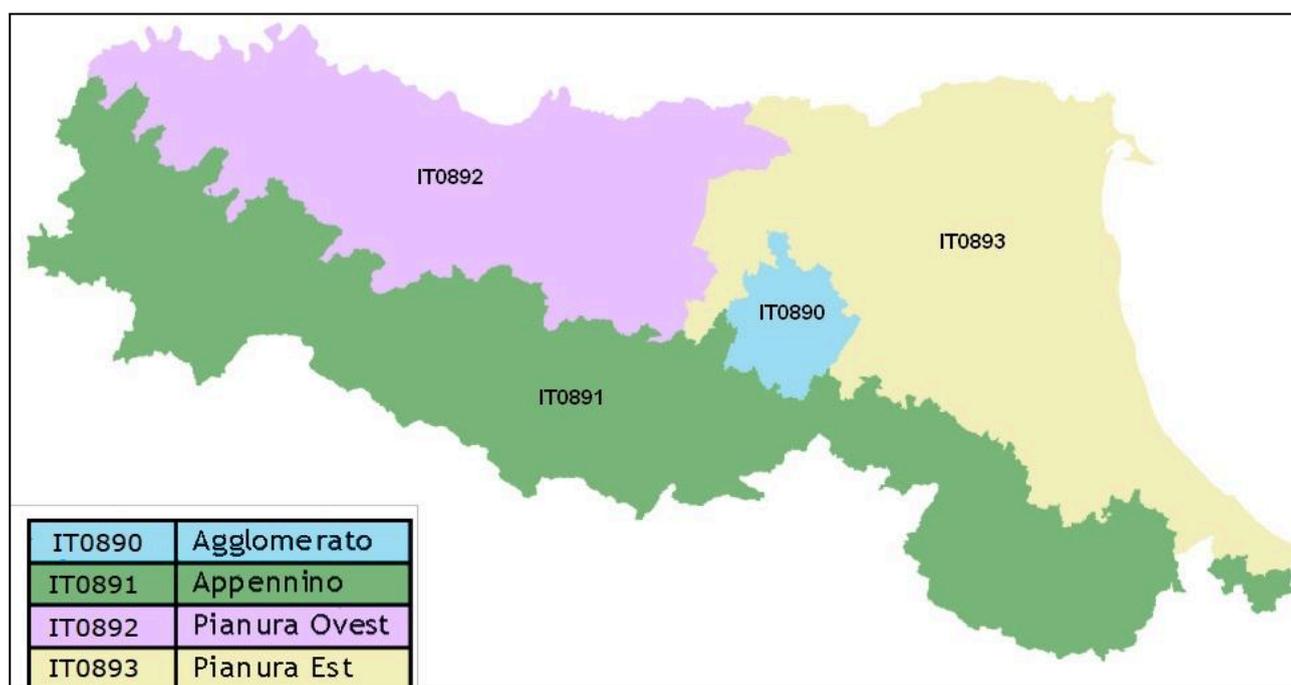


Figura 1 - Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011

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, 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.

ZONA	STAZIONE	TIPO	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub>	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

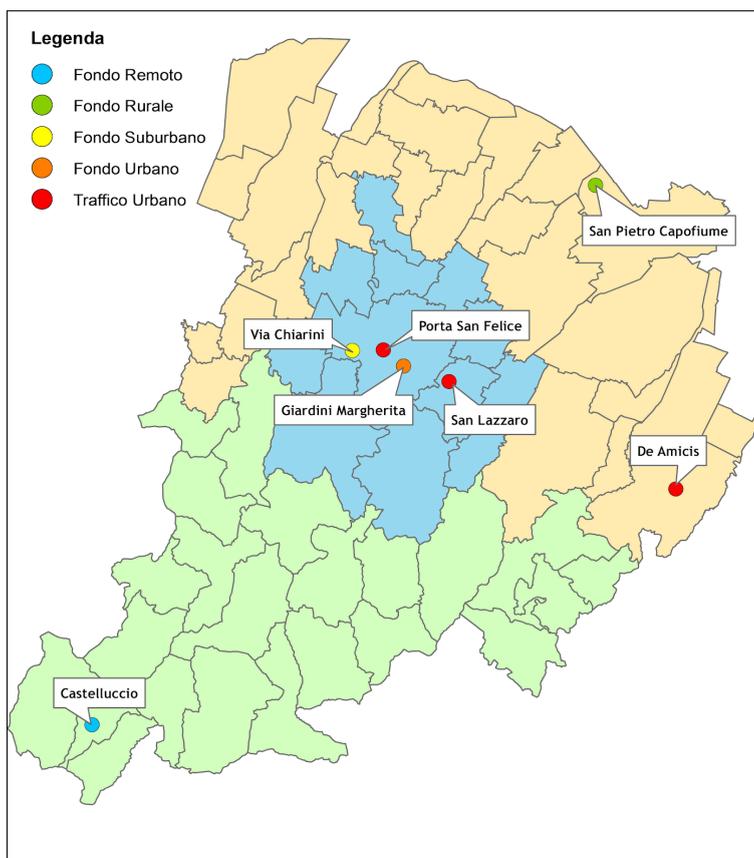


Figura 2 - Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria

## 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 2024) presso alcune stazioni meteo gestite da Arpa-SIMC, in particolare la stazione Bologna-Idrografico per temperatura e precipitazioni cumulate e Bologna-Torre Asinelli per il vento. I dati della stazione Bologna Urbana, presi a riferimento fino al 2021, non possiedono, per il 2024, la sufficiente copertura temporale dell'anno, dal momento che è stata riattivata solo a maggio 2024 inoltrato, dopo un lungo stop.

In particolare vengono esaminate le seguenti variabili:

- temperatura;
- precipitazioni;
- direzione e velocità del vento;

Per alcuni parametri è stato effettuato il confronto con i dati registrati nel 2023, sempre presso la medesima stazione e con il clima di riferimento relativo ai due periodi trentennali del 1961-1990 e 1991-2020 per la stazione di Bologna - Borgo Panigale.

Altri parametri coinvolti nella definizione delle condizioni meteorologiche che influenzano la diffusione degli inquinanti in aria (altezza di rimescolamento e classi di stabilità atmosferica) verranno trattati solo in linea generale dal momento che mancano dati elaborabili ai fini del presente report.

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 ai due periodi 1961-1990 e 1991-2020) delle temperature medie e gli scostamenti rispetto al 2023.

Il 2024 ha visto le temperature variare tra un minimo di circa -2°C, registrato a gennaio, e i 38°C di massima misurati in agosto.

In generale il 2024 è risultato sostanzialmente in linea con l'anno precedente, pur evidenziando un lieve aumento delle temperature medie nel periodo febbraio-agosto ed una riduzione delle stesse nel successivo autunno-inverno.

Complessivamente il 2024 è risultato un anno mediamente meno caldo del 2023, ma con temperature medie comunque sempre al di sopra del clima di riferimento, sia nei mesi estivi che

in quelli invernali. Il confronto coi trentenni 1961-1990 e 1991-2020 mostra temperature medie mensili nel complesso superiori al clima di riferimento per un valore medio annuale rispettivamente di oltre 3 e oltre 2 °C. Febbraio è stato il mese che ha visto il maggior scarto positivo rispetto alle serie climatiche suddette.

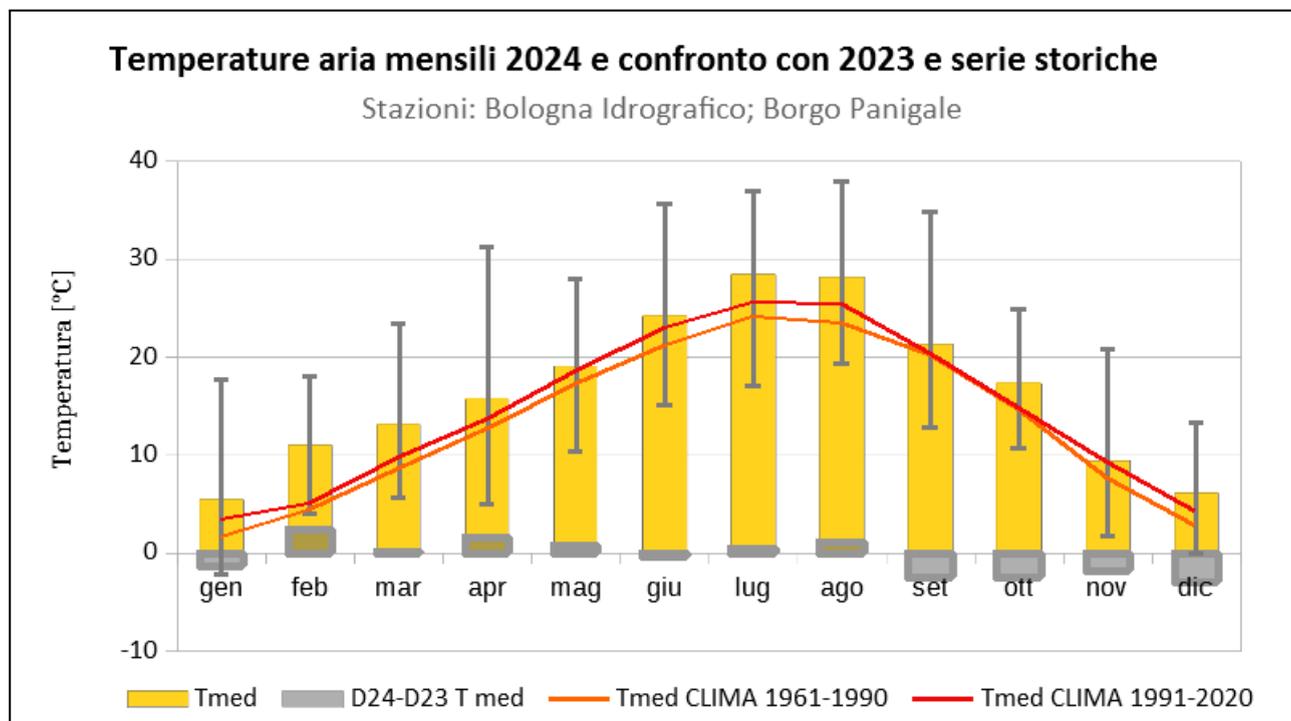


Figura 3 - San Pietro Capofiume: temperature mensili (°C)

## 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 2023.

Nell'anno in esame, il regime delle precipitazioni è stato caratterizzato dagli eventi estremi che hanno avuto luogo nel mese di ottobre 2024, quando la città di Bologna ha subito un'alluvione che ha coinvolto il centro città e le principali direttrici in direzione ovest. In particolare, a Bologna sono caduti più di 130 mm di pioggia in una sola giornata (il 19 ottobre), oltre il 10% del totale annuale che è stato di poco superiore a 1035 mm, con un significativo rialzo rispetto ai quasi 751 dell'anno precedente (+38%).

In generale tutto il periodo da agosto a dicembre (con l'eccezione di novembre) ha visto un significativo incremento delle precipitazioni, così come i mesi di gennaio, febbraio e aprile; in senso opposto, spicca la riduzione delle piogge cadute rispetto al mese di maggio 2023, che era a sua volta stato interessato da fenomeni alluvionali a livello regionale.

Il confronto con i riferimenti climatici dei periodi 1961-1990 e 1991-2020 evidenzia un importante incremento delle precipitazioni rispetto alle attese, che si manifesta con una primavera e una prima parte dell'estate più povere di precipitazioni, ma con la fine estate, l'autunno e l'inverno decisamente più "bagnati".

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).

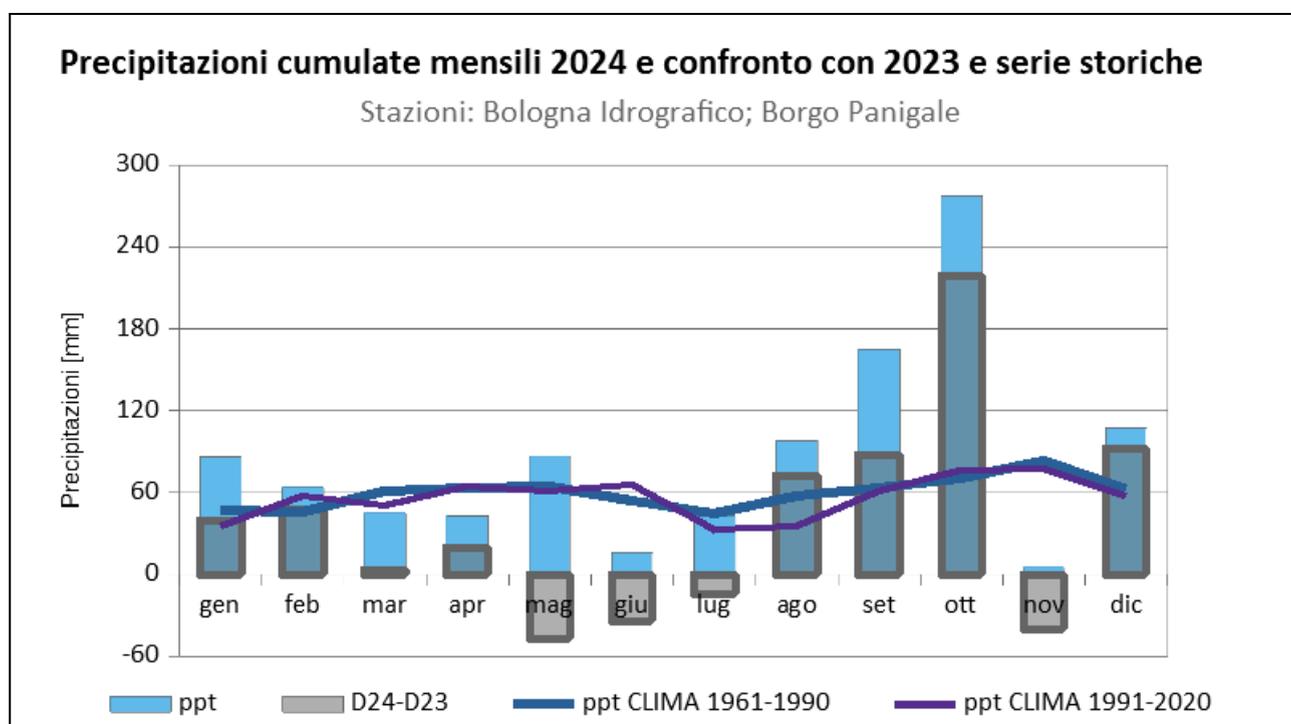


Figura 4 - San Pietro Capofiume: precipitazione cumulata mensile (mm)

### 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.

La rosa dei venti annuale riportata in Figura 5 fa riferimento ai dati raccolti presso la stazione meteo di Bologna posta sulla Torre Asinelli. Questa stazione presenta, rispetto alle altre centraline presenti nell'area urbana di Bologna, valori di velocità del vento tendenzialmente più elevati e valori della direzione che possono talvolta risentire della configurazione architettonica del centro di Bologna. Tuttavia, mancando la necessaria copertura sul periodo annuale dei dati forniti dalle altre stazioni urbane e considerando decentrata, ai fini della nostra trattazione, la stazione di San Pietro Capofiume (pur utilizzata lo scorso anno), si è deciso di presentare i dati della centralina della Torre Asinelli per dare un riferimento indicativo del regime anemometrico del 2024 nell'area di Bologna.

Il grafico in Figura 5 rappresenta la distribuzione in frequenza delle classi di velocità media oraria del vento (in m/s) per direzione di provenienza (in °) per il 2024. In generale si osserva una netta prevalenza nella provenienza dei venti dai quadranti occidentali con predominanza delle classi di intensità di una certa rilevanza (con valori tra i circa 3 e i circa 5 m/s). E' presente, seppur meno rilevante, anche una componente di venti provenienti dai quadranti orientale e sudorientale dai quali si sono registrati ma la maggior parte delle intensità maggiori si rilevano dalle direzioni ovest e sud-ovest.

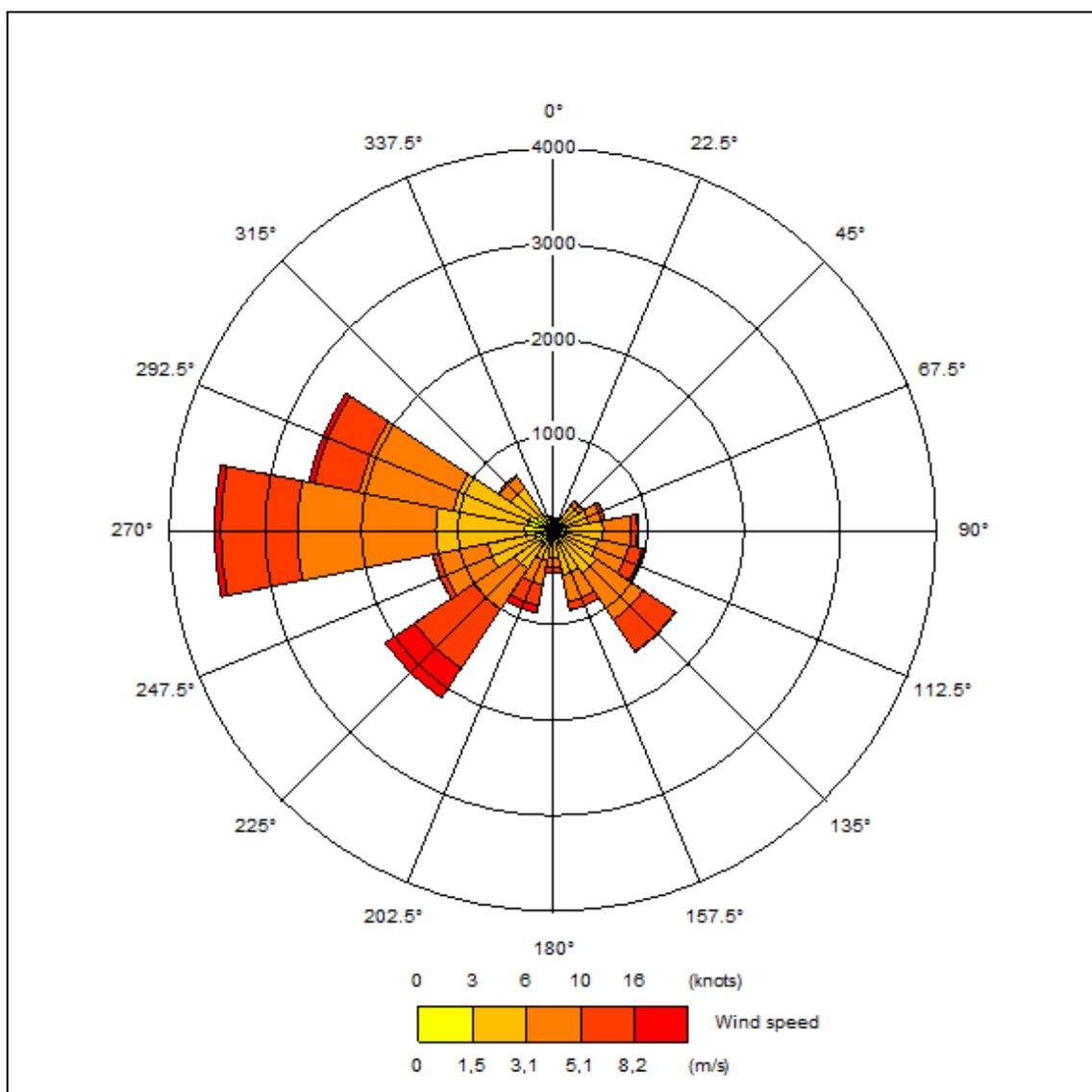


Figura 5 - Rosa dei venti per l'anno 2024 rilevata dalla stazione di Torre Asinelli a Bologna

In Figura 6 vengono riportati gli andamenti dei profili anemometrici elaborati su base stagionale relativi all'anno 2024. Tale rappresentazione permette di evidenziare le diverse caratteristiche stagionali del periodo in esame.

Nei mesi invernali (gen-feb-dic) è netta la prevalenza di venti provenienti dai quadranti Ovest e Nord Ovest con velocità più frequentemente comprese entro gli 8 m/s.

In primavera (mar-apr-mag) si osserva una distribuzione più varia della provenienza dei venti di cui le componenti principali risultano dalle direzioni Ovest, Sud Ovest (in maggior numero quelle più intense) e Sud Est, con una maggior presenza di classi di velocità più elevate, anche oltre gli 8 m/s.

Nei mesi estivi (giu-lug-ago) il quadro somiglia abbastanza a quello primaverile ma con una minore frequenza di venti da Sud Est e da Ovest; le velocità si mantengono elevate, anche se mediamente meno intense rispetto alla stagione precedente.

Infine, in autunno la distribuzione anemometrica dei venti torna ad assomigliare a quella dell'inverno, con una drastica contrazione dei venti dai quadranti meridionali, una netta preponderanza da Ovest e Nord Ovest e una generale riduzione delle intensità medie.

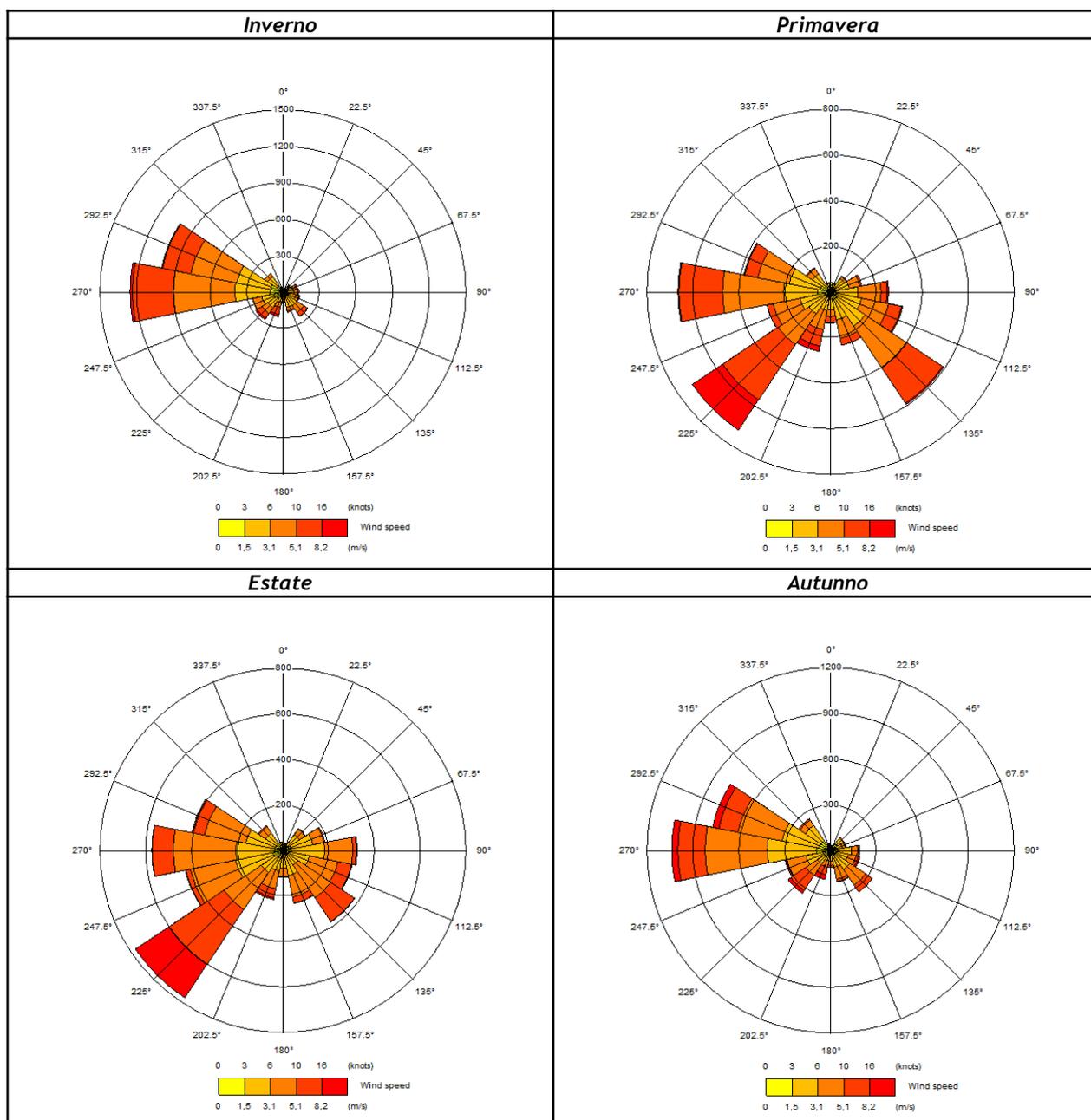


Figura 6 - Rose dei venti stagionali dell'anno 2024 rilevati dalla stazione di Torre Asinelli

La suddivisione dei dati di velocità del vento secondo la scala Beaufort (Tabella 3) evidenzia come valori compresi tra 1,5 e 5,5 m/s rimangano i più frequenti, rappresentando oltre il 65% delle occorrenze su base annuale.

Tra le varie classi, è prevalso nel 2024 il grado 2 “brezza leggera” (1,6-3,3 m/s); la seconda classe più frequente è stata la 3, quella della “brezza tesa”; il grado 1 “bava di vento” (0.3-1.5m/s) è risultato il terzo più frequente, con un numero di occorrenze confrontabile con quello del grado 4 “vento moderato”. Minori frequenze si sono osservate per le classi da 5 a 7. La velocità maggiore rilevata è stata di 17 m/s. Le calme di vento (velocità <0,2 m/s) sono state inferiori all'1%.

Termini descrittivi Grado Beaufort m/s	Calma 0 0.0 - 0.2	Bava di vento 1 0.3 - 1.5	Brezza leggera 2 1.6 - 3.3	Brezza tesa 3 3.4 - 5.4	Vento moderato 4 5.5 - 7.9	Vento teso 5 8.0 - 10.7	Vento fresco 6 10.8 - 13.8	Vento forte 7 13.9 - 17.1
GEN	0,9%	20,7%	39,0%	28,8%	9,6%	1,0%	0,1%	0,0%
FEB	1,1%	22,7%	41,0%	22,5%	9,6%	2,7%	0,4%	0,0%
MAR	0,9%	12,0%	36,2%	28,5%	18,3%	3,9%	0,3%	0,0%
APR	0,4%	10,3%	30,8%	29,7%	19,3%	8,3%	1,2%	0,0%
MAG	0,7%	12,5%	34,9%	32,0%	15,9%	4,0%	0,0%	0,0%
GIU	0,1%	8,2%	29,2%	30,9%	20,6%	9,4%	1,7%	0,0%
LUG	1,0%	11,6%	37,0%	33,8%	13,8%	2,5%	0,2%	0,0%
AGO	1,1%	15,1%	42,6%	32,4%	6,7%	1,9%	0,2%	0,0%
SET	0,9%	13,4%	33,0%	26,8%	19,2%	5,7%	0,8%	0,1%
OTT	0,8%	18,9%	42,6%	28,4%	7,0%	2,3%	0,1%	0,0%
NOV	1,3%	22,6%	39,8%	25,7%	6,7%	3,1%	0,7%	0,2%
DIC	1,2%	15,9%	28,4%	27,5%	23,7%	3,4%	0,0%	0,0%
ANNO 2024	<b>0,9%</b>	<b>15,3%</b>	<b>36,2%</b>	<b>29,0%</b>	<b>14,2%</b>	<b>4,0%</b>	<b>0,5%</b>	<b>0,0%</b>
frequenza %:		0,0%	0,1-10%	10,1-20%	20,1-30%	30,1-40%	40,1-50%	

Tabella 3 - Distribuzione delle velocità del vento secondo la scala Beaufort, anno 2024

### Altri parametri meteorologici di interesse

Nell'ambito degli indicatori meteorologici che hanno un'influenza più o meno diretta sulla determinazione dei livelli di concentrazione degli inquinanti e sulla loro eventuale diffusione, ricordiamo l'altezza di rimescolamento e la stabilità atmosferica.

L'altezza di rimescolamento misura lo spessore verticale dello strato che si trova tra il suolo e la zona di inversione termica, all'interno del quale hanno sede i principali moti turbolenti di origine sia termica (legati al riscaldamento della superficie terrestre) che meccanica (legati all'azione del vento) che alimentano la dispersione degli inquinanti in atmosfera.

In generale, un maggior spessore dello strato di rimescolamento indica un più efficace rimescolamento verticale dell'aria e di conseguenza una più alta probabilità di misurare minori concentrazioni degli inquinanti nello strato più vicino al suolo.

Soprattutto alle medie latitudini, l'altezza dello strato di rimescolamento è soggetta a variazioni giornaliere e stagionali, sia in funzione del ciclo radiativo del suolo sia delle condizioni meteorologiche dello strato d'aria coinvolto.

Tendenzialmente, nelle ore diurne le quote dell'altezza di rimescolamento vanno progressivamente innalzandosi 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 tra le 13 e le 15. Segue poi una diminuzione dei valori con l'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 200 m.

La stabilità atmosferica è un parametro che fornisce indicazioni circa il grado di turbolenza che caratterizza lo strato di rimescolamento e che, di conseguenza, favorisce l'individuazione delle condizioni favorevoli all'accumulo o alla dispersione delle sostanze inquinanti in aria.

Per valutare il livello di stabilità atmosferica 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 neutrali 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.

### **Eventi climatologici eccezionali nel 2024**

Nel corso del 2024 sono stati registrati alcuni eventi climatologici di carattere eccezionale che hanno in parte condizionato le risultanze dei dati osservati presso le varie stazioni di misura.

Col termine "eccezionale" si fa riferimento a quelle situazioni che esulano dalle tipiche dinamiche meteorologiche del bacino padano, connaturate anche alla sua orografia, come ad esempio l'instaurarsi di condizioni di blocco della ventilazione tra sistemi di masse d'aria ad alta quota o gli eventi di trasporto di sabbie desertiche e/o polveri provenienti da eruzioni vulcaniche o vasti incendi di foreste.

Relativamente all'ambito citato, nel 2024 si sono avuti due eventi di trasporto di sabbie sahariane:

- tra il 29 marzo ed il 1° aprile, con contributi ai livelli di particolato  $PM_{10}$  piuttosto rilevanti che hanno portato al raggiungimento di concentrazioni giornaliere oltre gli  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e fino ai  $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrati in quota a Castelluccio;
- tra il 19 ed il 21 giugno, ancora con un impatto sui valori di particolato  $PM_{10}$ , seppur molto più contenuto (fino ai  $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di Castelluccio) rispetto all'evento precedente;

e un fenomeno alluvionale piuttosto estremo che ha interessato proprio il territorio bolognese:

- il 19 ottobre sono caduti quasi 132 mm di pioggia che hanno prodotto allagamenti e danni in diverse zone della città con conseguente impatto, anche nei mesi a seguire, per la presenza di cantieri per la bonifica e i ripristini, sulla regolare fruizione della viabilità cittadina.

## LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2024

L'esame dei dati rilevati nell'anno 2024 dalle stazioni della rete di monitoraggio sul territorio provinciale di Bologna è stato affrontato considerando uno a uno i diversi inquinanti.

Per ognuno di questi, si sono presi in considerazione i valori limite e i 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 tabelle e specifici grafici;
- gli andamenti delle medie annuali degli ultimi 10 anni attraverso tabelle e relativi 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 7, 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 <sub>2</sub> ; O <sub>3</sub>	8 [µg/m <sup>3</sup> ]	CO	0,4 [mg/m <sup>3</sup> ]
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,1 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>x</sub>	3 [µg/m <sup>3</sup> ]

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

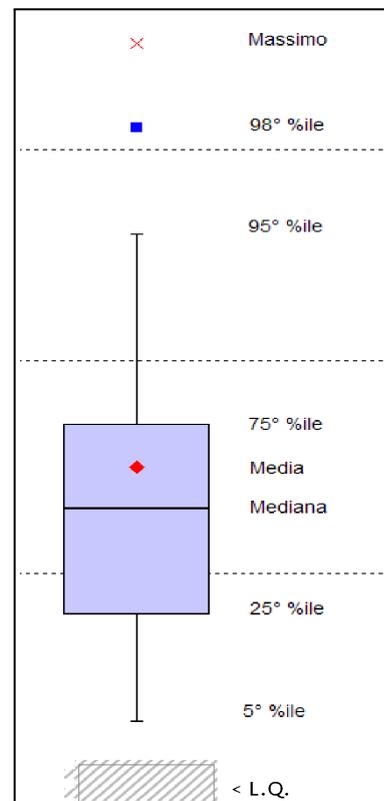


Figura 7 - Box-plot

Il box-plot (Figura 7) 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 al box rappresenta la mediana della distribuzione mentre i bordi estremi rappresentano il 25° ed il 75° percentile. Le linee che si allungano dai bordi della scatola (baffi) individuano gli intervalli fino ai valori del 5° e 95° percentile. Inoltre vengono evidenziati i punti relativi al valor medio, al 98° percentile e al valore massimo registrati (Figura 7).

Per gli inquinanti gassosi, quali NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, 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 dello stesso anno.

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 2024. Tutti gli analizzatori hanno raggiunto la copertura di almeno il 90% dei dati annuali previsti dalla normativa. Inoltre, sempre nella stessa tabella, vengono indicati i colori di riferimento con cui, nel seguito della relazione, saranno solitamente indicati i dati delle diverse stazioni

STAZIONE	Col.	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Bologna - Porta San Felice	■	99 %	100 %	99 %	99 %	-	93 %
Bologna - Giardini Margherita	■	99 %	-	95 %	97 %	100 %	-
Bologna - Chiarini	■	99 %	-	90 %	-	100 %	-
San Lazzaro di Savena	■	99 %	-	97 %	-	-	-
Imola - De Amicis	■	99 %	-	98 %	-	-	-
Molinella - San Pietro Capofiume	■	95 %	-	96 %	94 %	100%	-
Porretta Terme - Castelluccio	■	93 %	-	95 %	98 %	100%	-

Tabella 5 - Rendimenti % annuali degli analizzatori della rete - anno 2024

## 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 (NO<sub>2</sub>). 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 PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>.

### Come si originano

Il monossido di azoto (NO) si forma principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria (circa 78% N<sub>2</sub>) con l'ossigeno atmosferico in processi che avvengono ad elevata temperatura. Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) si forma prevalentemente dall'ossidazione del monossido di azoto (NO) e solo in parte viene emesso direttamente.

Le principali sorgenti di NO ed NO<sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> anno 2024 - Concentrazioni in µg/m <sup>3</sup>								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8723	<8	27	28	47	54	63	85
GIARDINI MARGHERITA	8733	<8	12	15	30	36	42	71
CHIARINI	8730	<8	13	16	31	36	43	63
SAN LAZZARO DI SAVENA	8691	<8	15	19	36	42	49	73
DE AMICIS	8732	<8	14	16	32	37	45	72
SAN PIETRO CAPOFIUME	8380	<8	8	10	20	24	29	57
CASTELLUCCIO	8196	<8	<8	<8	<8	<8	10	37
VALORE LIMITE		media annuale		40	µg/m <sup>3</sup>			

Tabella 6 - Biossido di azoto: Parametri statistici relativi all'anno 2024

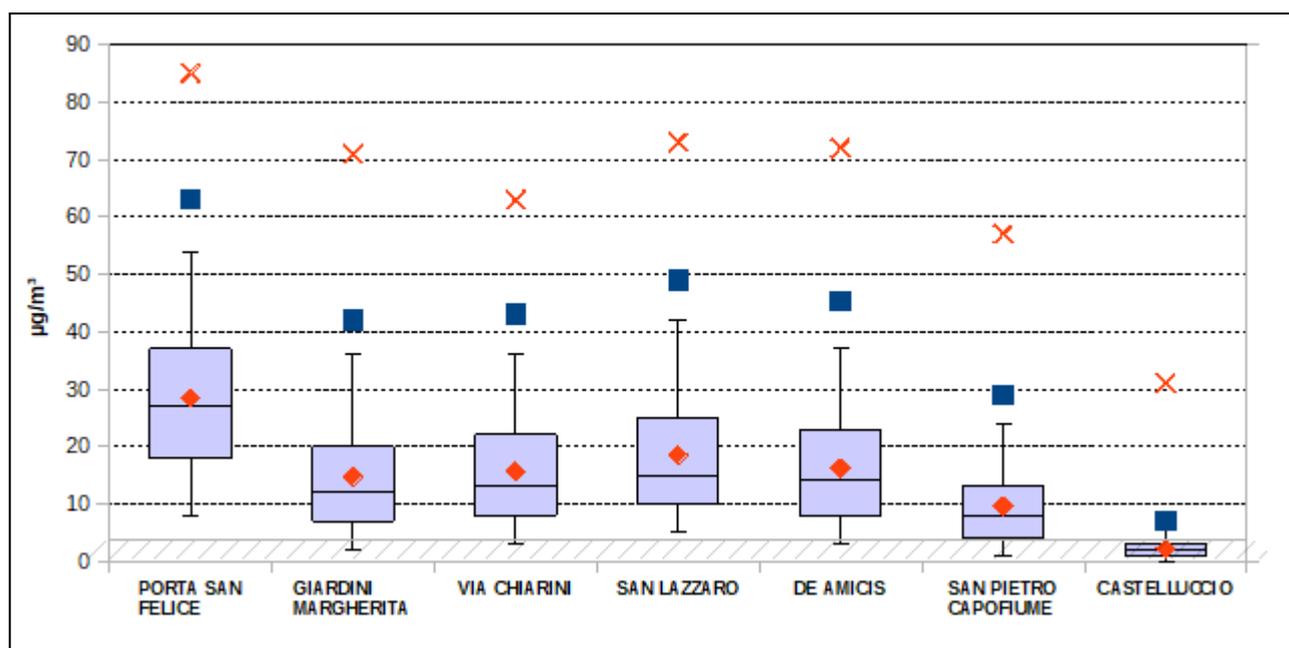


Figura 8 - NO<sub>2</sub> : Box Plot delle statistiche annuali 2024

Nel 2024 i livelli di concentrazione del biossido di azoto registrati dalle diverse centraline di monitoraggio presenti sul territorio bolognese (Tabella 6 e Figura 8) si sono mantenuti tutti al di sotto del valore limite previsto per la media annuale (pari a 40 µg/m<sup>3</sup>), anche nella stazione da traffico di Porta San Felice che, in anni passati, ha spesso presentato superamenti di tale soglia. 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 µg/m<sup>3</sup>, 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 µg/m<sup>3</sup>. Ciò conferma che, ormai, eventuali episodi di inquinamento acuto legati a concentrazioni orarie elevate di NO<sub>2</sub> non rappresentano più un elemento di criticità.

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) - Medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	43	46	35	32	24	21	33	26	15	14	26	26
GIARDINI MARGHERITA	28	24	15	10	9	< 8	8	8	11	13	20	23
CHIARINI	30	27	18	13	9	< 8	8	8	11	14	20	23
SAN LAZZARO DI SAVENA	32	29	16	14	13	11	13	12	12	16	25	30
IMOLA - DE AMICIS	27	26	17	14	12	8	8	8	11	16	24	26
SAN PIETRO CAPOFUME	19	13	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	8	< 8	< 8	14	17
CASTELLUCCIO	< 8	-	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8

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

Tabella 7 - NO<sub>2</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

L'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2024 (Tabella 7 e Figure 9 e 10) 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<sub>2</sub> 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.

L'andamento dei dati della stazione di Porta San Felice presenta elementi di un certo interesse e non sempre in linea con lo storico della stazione. In particolare, già dalla primavera si osserva una certa riduzione dei livelli di concentrazione nel sito, con l'eccezione dei mesi di luglio e agosto; mentre nel successivo periodo autunno-invernale, la flessione delle concentrazioni medie risulta ancora più marcata. Esclusi aspetti legati al funzionamento della strumentazione, si può supporre che l'azione di fattori esterni abbia contribuito alla riduzione dei livelli di NO<sub>2</sub> misurati. Il prosieguo del monitoraggio presso questa stazione darà indicazioni sulla stabilità di questo trend ed eventualmente sulle possibili motivazioni.

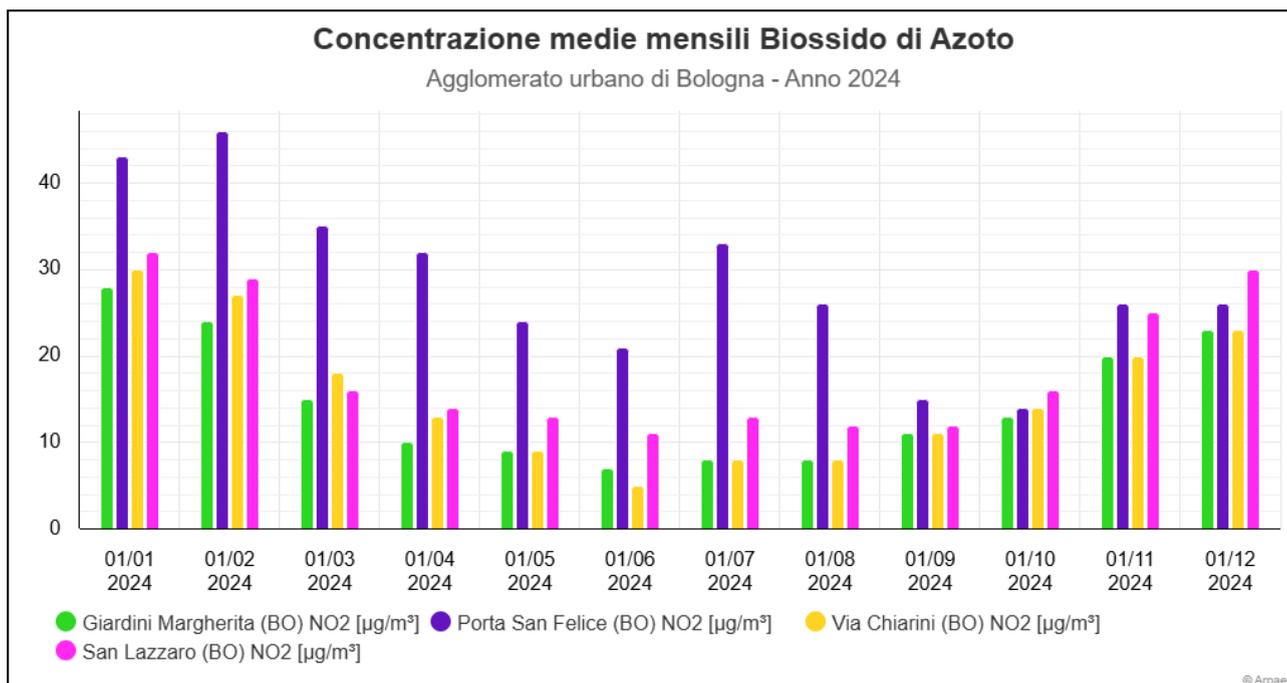


Figura 9 - Agglomerato - NO<sub>2</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

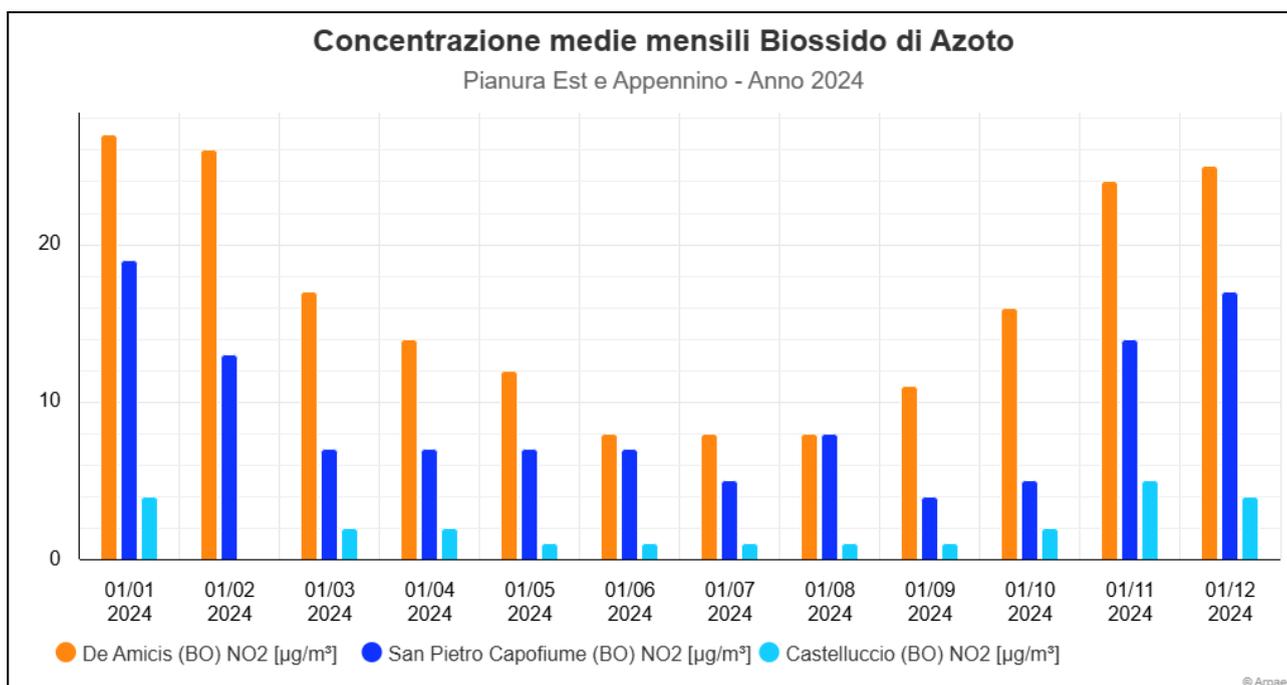


Figura 10 - Pianura e Appennino - NO<sub>2</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

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 11) e quella di fondo di Giardini Margherita (Figura 12). 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.

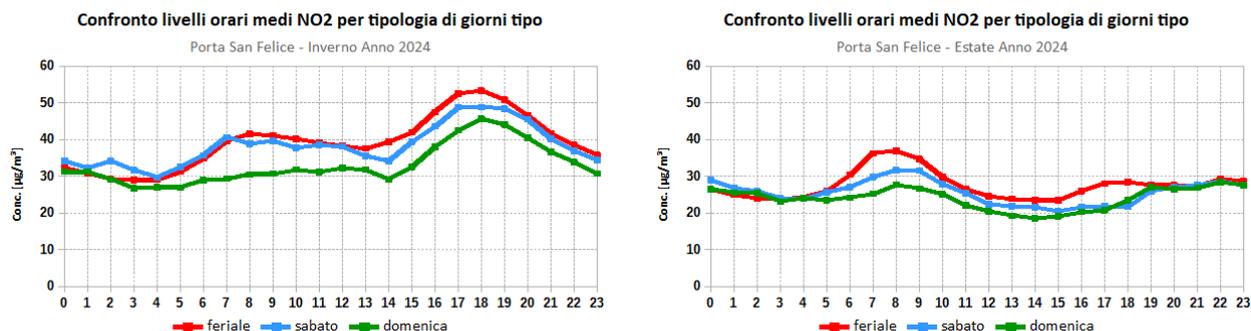


Figura 11 - Porta San Felice, NO<sub>2</sub>: Giorno tipo invernale ed estivo

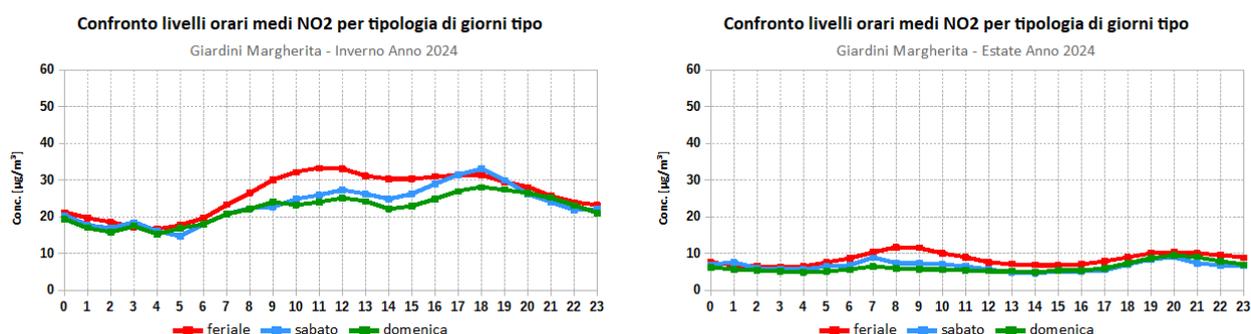


Figura 12 - Giardini Margherita, NO<sub>2</sub>: Giorno tipo invernale ed estivo

L'andamento delle concentrazioni del giorno tipo mostra una certa dipendenza dai flussi veicolari, osservabile in entrambe le stazioni e 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 NO<sub>2</sub>, sia per effetto delle diverse condizioni meteorologiche caratterizzate da maggiore trasporto e dispersione su uno strato più alto dell'atmosfera rispetto al periodo invernale.

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) – Medie annuali 2015 – 2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PORTA SAN FELICE	61	52	46	49	46	38	43	39	43	28
GIARDINI MARGHERITA	38	31	25	22	21	17	17	18	16	15
CHIARINI	26	26	20	23	25	20	19	16	16	16
SAN LAZZARO DI SAVENA	28	29	25	25	21	23	24	25	24	19
IMOLA - DE AMICIS	29	24	25	25	24	27	26	20	18	16
SAN PIETRO CAPOFUME	15	14	13	12	15	15	12	13	10	10
CASTELLUCCIO	<12	<12	<12	<12	<12	<8	<8	<8	<8	<8

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 8 - NO<sub>2</sub>: Andamento temporale delle medie annuali

In Tabella 8 e nella successiva Figura 13 sono riportati i valori delle medie annuali degli ultimi 10 anni (a partire dal 2015) 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 ed evidente, nel 2024, per i siti di Porta San Felice e San Lazzaro di Savena. Al di là di alcuni aspetti locali di cui si è detto (e da verificare in futuro) per la stazione da traffico di Bologna, si può comunque osservare che nell'ultimo quinquennio per i siti al di fuori dell'agglomerato di Bologna è ancora presente una tendenza alla riduzione dei valori di NO<sub>2</sub>, mentre nell'ambito dell'agglomerato urbano, tale tendenza sembra sostanzialmente limitata ai siti maggiormente esposti al contributo del traffico veicolare.

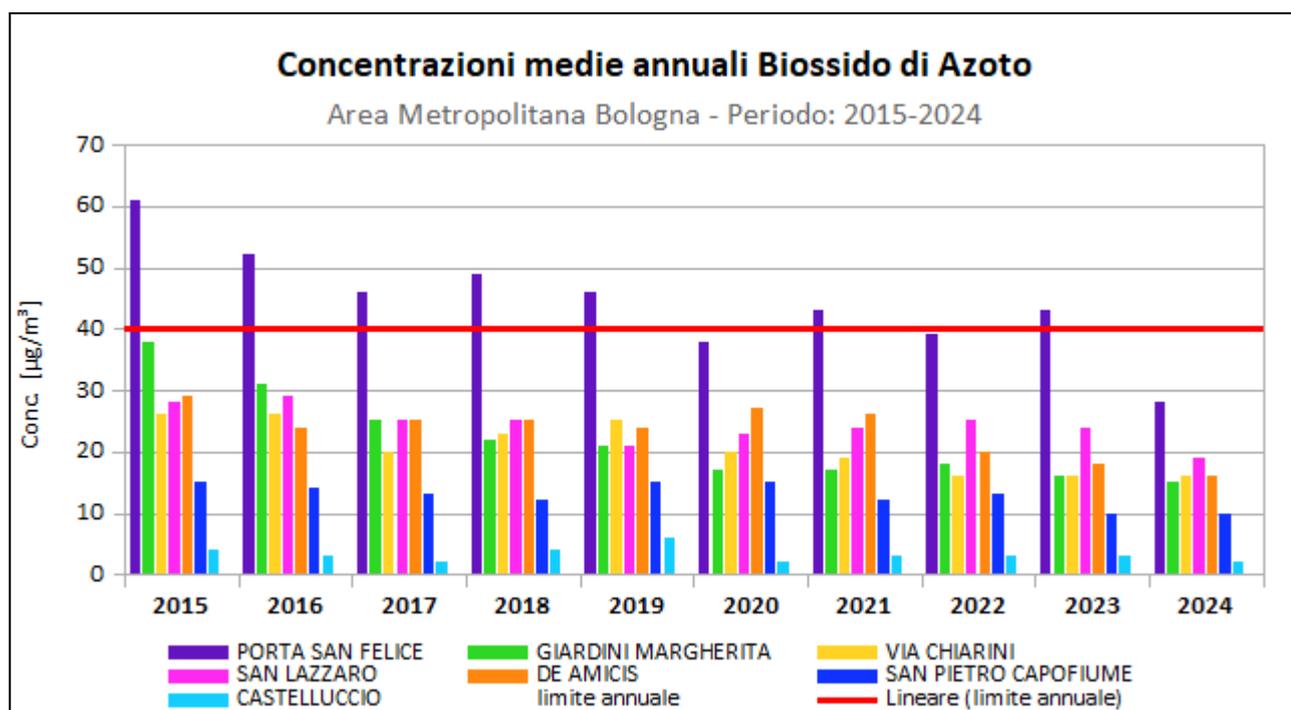


Figura 13 - NO<sub>2</sub> Confronto medie annuali 2015-2024

Il Decreto Legislativo del 13 agosto 2010 n.155 definisce inoltre il livello critico per la protezione della vegetazione per la concentrazione nell'aria ambiente di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), fissato in 30 µg/m<sup>3</sup> 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. Come si può osservare, in entrambi i casi il livello critico annuale fissato dalla normativa viene rispettato.

NO <sub>x</sub> anno 2024 – Concentrazioni in µg/m <sup>3</sup>		
Stazione	N. dati validi	MEDIA
SAN PIETRO CAPOFIUME	8380	14
CASTELLUCCIO	8196	< 8
<b>LIVELLO CRITICO</b>	<i>Media annuale</i>	<b>30 µg/m<sup>3</sup></b>

Tabella 9 - Protezione della Vegetazione: NO<sub>x</sub> Media annuale 2024

## 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 <sub>3</sub> anno 2024 - Concentrazioni in µg/m <sup>3</sup>								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	8719	< 8	40	47	96	113	131	181
VIA CHIARINI	8718	< 8	31	40	91	114	133	188
SAN PIETRO CAPOFUME	8655	< 8	44	49	99	115	130	172
CASTELLUCCIO	8715	< 8	47	48	68	74	80	116

Tabella 10 - Ozono: Parametri statistici - anno 2024

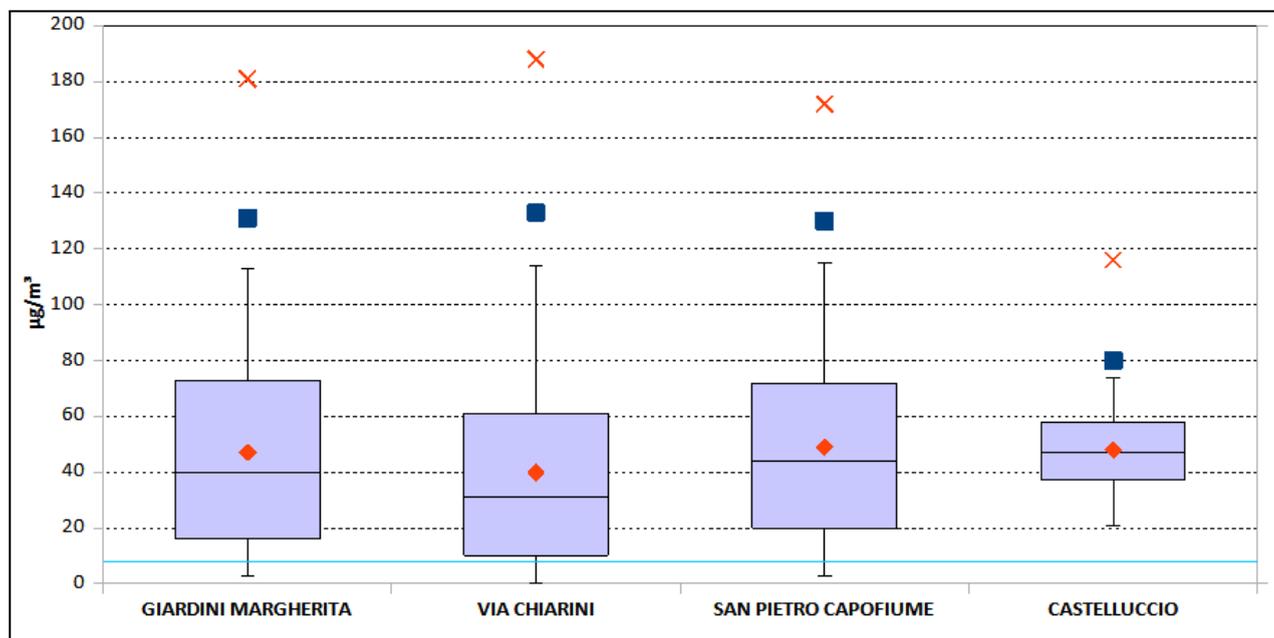


Figura 14 - O<sub>3</sub> : Box Plot delle statistiche annuali 2024

L'analisi statistica (Tabella 10) e il box plot (Figura 14) 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. Tale distribuzione indica un andamento delle concentrazioni mediamente più

costante durante l'anno rispetto al resto della rete, probabilmente a causa dell'ubicazione del sito.

Dall'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2024 (Figura 15 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 e un rapido calo nel passaggio estate-inverno. A Castelluccio, stazione dell'Appennino, i valori di O<sub>3</sub> 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.

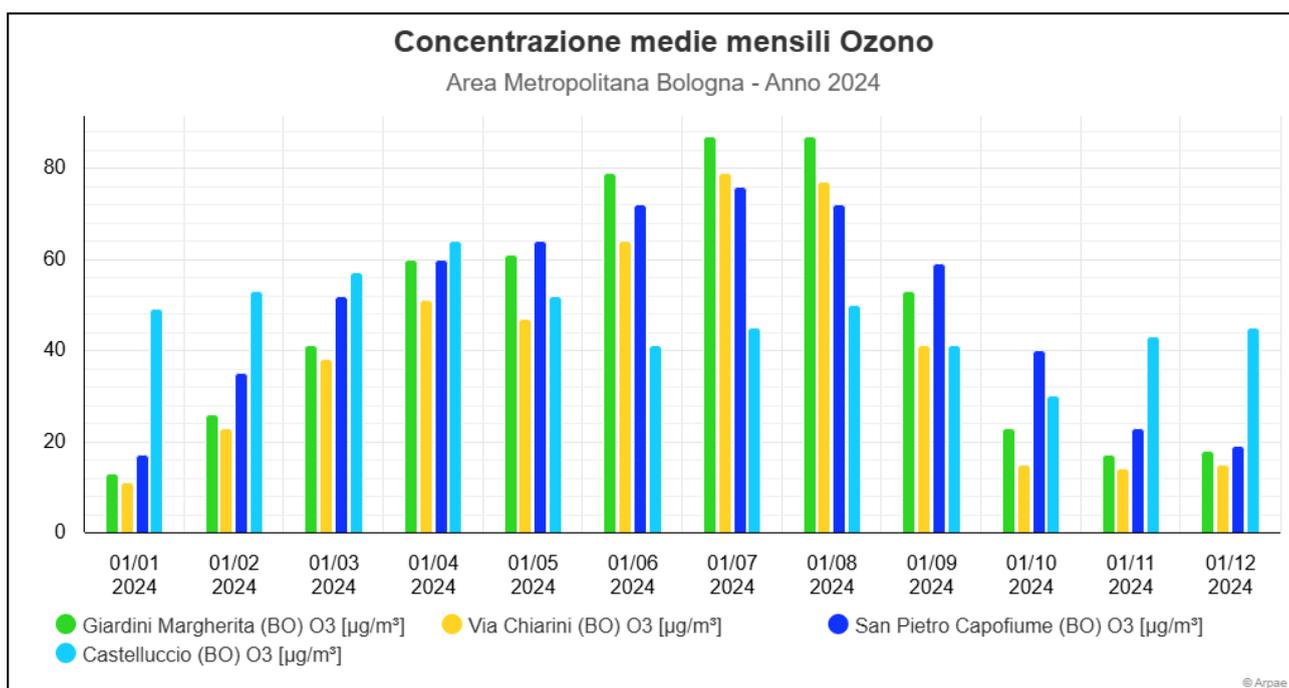


Figura 15 - O<sub>3</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) - Medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	13	26	41	60	61	79	87	87	53	23	17	18
VIA CHIARINI	11	23	38	51	47	64	79	77	41	15	14	15
SAN PIETRO CAPOFIUME	17	35	52	60	64	72	76	72	59	40	23	19
CASTELLUCCIO	49	53	57	64	52	41	45	50	41	30	43	45

Tabella 11 - O<sub>3</sub> 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/m<sup>3</sup> di ozono misurato in aria come media oraria;
- la "soglia di allarme" pari a 240 µg/m<sup>3</sup> 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 <sub>3</sub> anno 2024 - Numero ore di superamento soglia di informazione (180 µg/m <sup>3</sup> )													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2024
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
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

Relativamente alla soglia di allarme (240 µg/m<sup>3</sup>) 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/m<sup>3</sup> da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni<sup>1</sup>.

In Tabella 13 è riportato il numero di superamenti del valore obiettivo per l'anno 2024, 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 <sub>3</sub> anno 2024 - Numero giorni di superamento valore obiettivo (120 µg/m <sup>3</sup> )		
Stazione	<i>media su 3 anni</i>	
GIARDINI MARGHERITA	48	
VIA CHIARINI	46	
SAN PIETRO CAPOFIUME	50	
CASTELLUCCIO	0	
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.

<sup>1</sup> 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 <sub>3</sub> anno 2024 - Numero giorni di superamento obiettivo a lungo termine (120 µg/m <sup>3</sup> )													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2024
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	4	14	21	1	0	0	0	40
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	4	17	18	2	0	0	0	41
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	0	2	6	12	16	2	0	0	0	38
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 16) 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 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 eliminata per reazione con gli ossidi di azoto, solitamente maggiormente presenti 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.

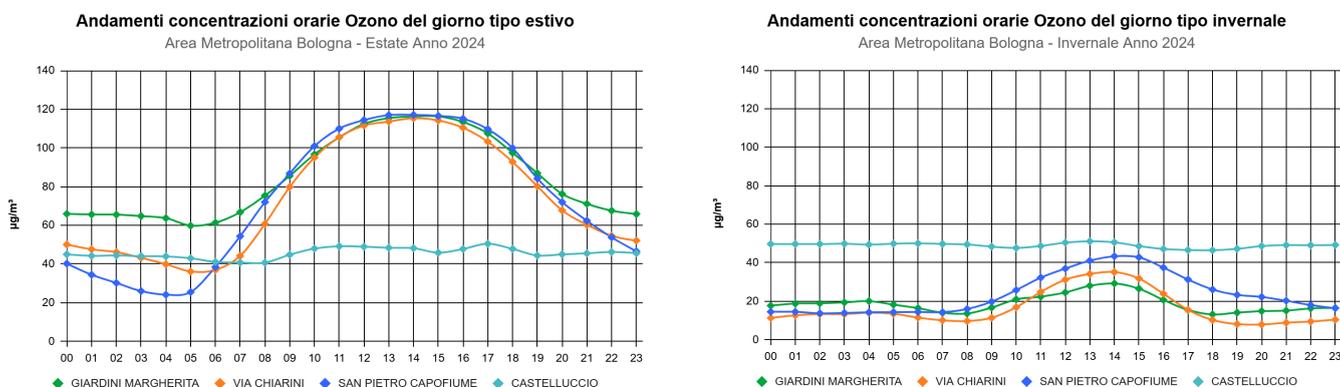


Figura 16 - Ozono: Giorno tipo estivo ed invernale 2024

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 a 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 2024 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).

O <sub>3</sub> anno 2024 - Valori AOT40 (concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ )			
Stazione	n.dat validi	AOT stimato	media ultimi 5 anni
VIA CHIARINI	1100	17589	22195
SAN PIETRO CAPOFIUME	1070	21891	26300
CASTELLUCCIO	1094	109	2113
RIFERIMENTI NORMATIVI	90% dati orari nel periodo di tempo definito per il calcolo	Obiettivo a lungo termine 6000	Valore obiettivo 18000

 > del valore limite

Tabella 15 - Protezione della Vegetazione: AOT40

In Tabella 16 e Tabella 17 sono riportate le serie storiche dal 2015 al 2024 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.

O <sub>3</sub> soglia di informazione - Numero ore di superamento media oraria ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 2015-2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
GIARDINI MARGHERITA	7	9	15	0	18	0	0	7	2	1
VIA CHIARINI	35	9	29	0	25	6	0	5	0	2
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	4	0	0	2	0	3	0	0	0
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0

 numero di mesi estivi validi < 5

Tabella 16 - O<sub>3</sub>: Andamento temporale dei superamenti della soglia di informazione

O <sub>3</sub> obiettivo a lungo termine - Numero giorni di superamento max media oraria 8h (120 µg/m <sup>3</sup> ) 2015-2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
GIARDINI MARGHERITA	40	45	52	39	59	33	34	56	49	40
VIA CHIARINI	55	46	51	39	60	34	42	54	44	41
SAN PIETRO CAPOFIUME	36	45	15	45	51	26	52	71	40	38
CASTELLUCCIO	14	1	11	0	5	0	8	0	0	0

■ numero di mesi estivi validi < 5

Tabella 17 - O<sub>3</sub>: Andamento temporale dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine

In Figura 17 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. Come nei tre anni precedenti, anche nel 2024 alla variazione del numero di giorni potenzialmente critici è corrisposta una variazione dello stesso segno delle medie annuali e del numero di superamenti della soglia obiettivo a lungo termine, almeno per le stazioni urbane e della pianura bolognese.

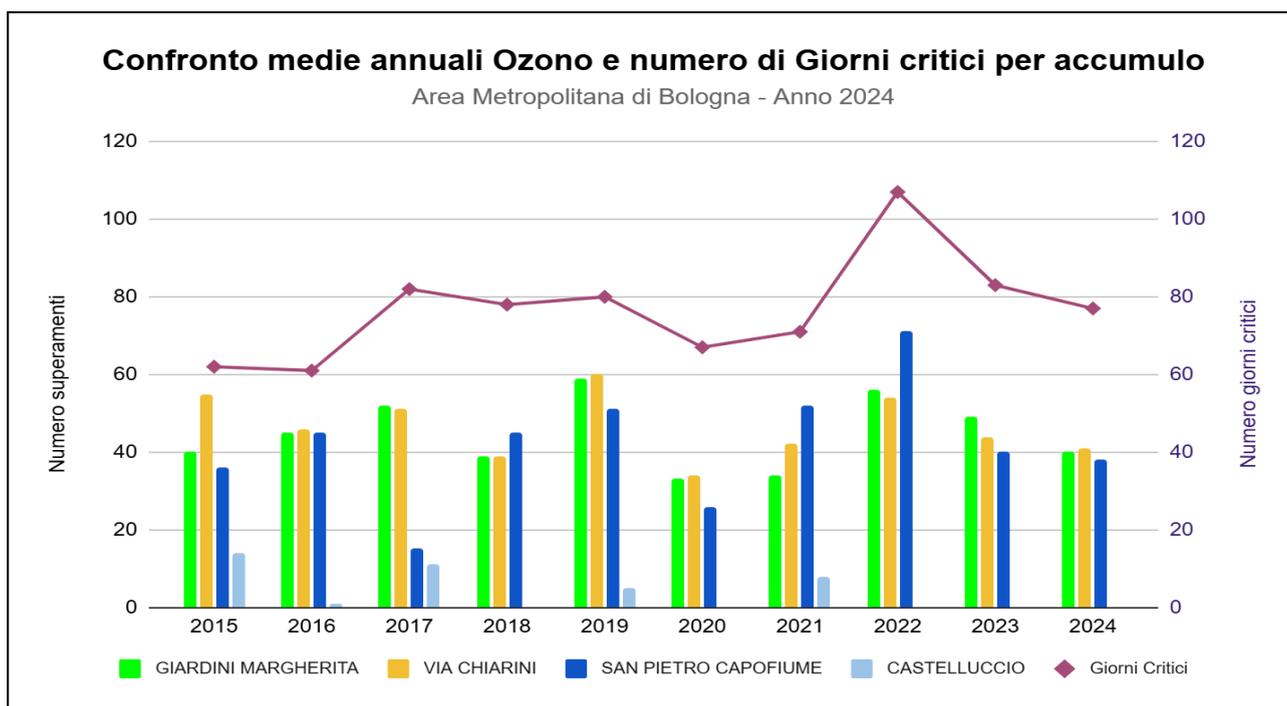


Figura 17 - O<sub>3</sub> Confronto superamenti obiettivo a lungo termine e numero stimato di giorni critici

## 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 2024 – Concentrazioni in mg/m <sup>3</sup>								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8746	<0,4	0,4	0,5	0,9	1,1	1,3	2,5

Tabella 18 - Monossido di carbonio: Parametri statistici - anno 2024

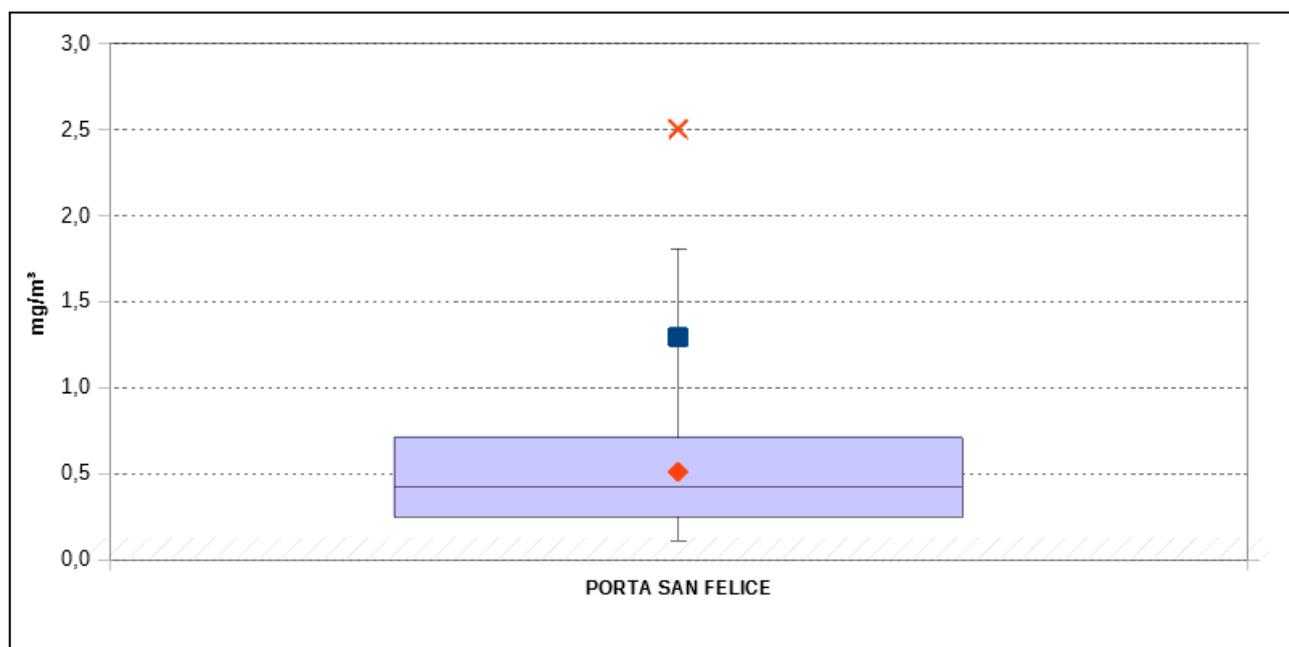


Figura 18 - CO : Box Plot delle statistiche annuali 2023

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/m<sup>3</sup> come massima concentrazione media giornaliera su 8 ore, fissato dalla normativa, non è stato superato da diversi anni, così come accaduto anche nel 2024; 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 19 e Tabella 19) 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/m<sup>3</sup>).

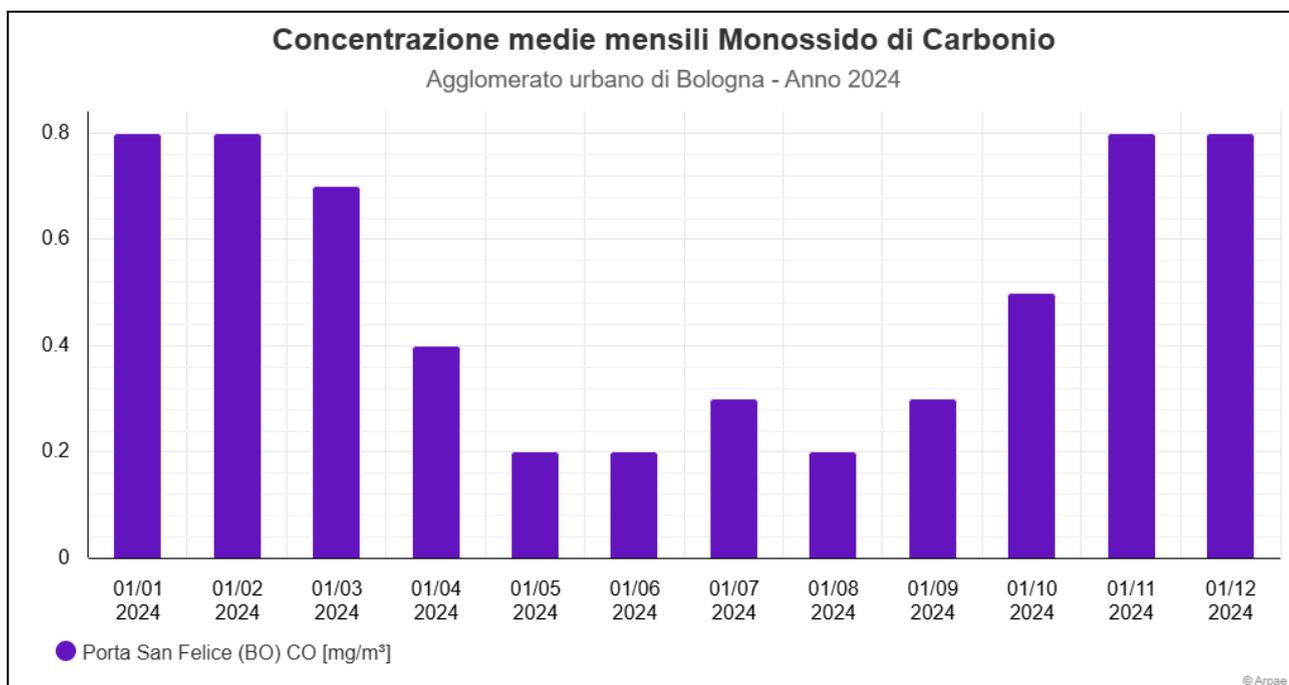


Figura 19 - CO Concentrazioni medie mensili 2024

CO (mg/m <sup>3</sup> ) – medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,8	0,8	0,7	0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,5	0,8	0,8

Tabella 19 - CO Concentrazioni medie mensili 2024

Il grafico riportato nella successiva Figura 20 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.

Come si evince dalla Tabella 20 e dalla Figura 21, i valori medi annuali nel periodo 2015-2024 non presentano eccessive variazioni e si collocano intorno a una media molto lontana dal limite legislativo, analogamente a quanto rilevato su tutto il territorio regionale.

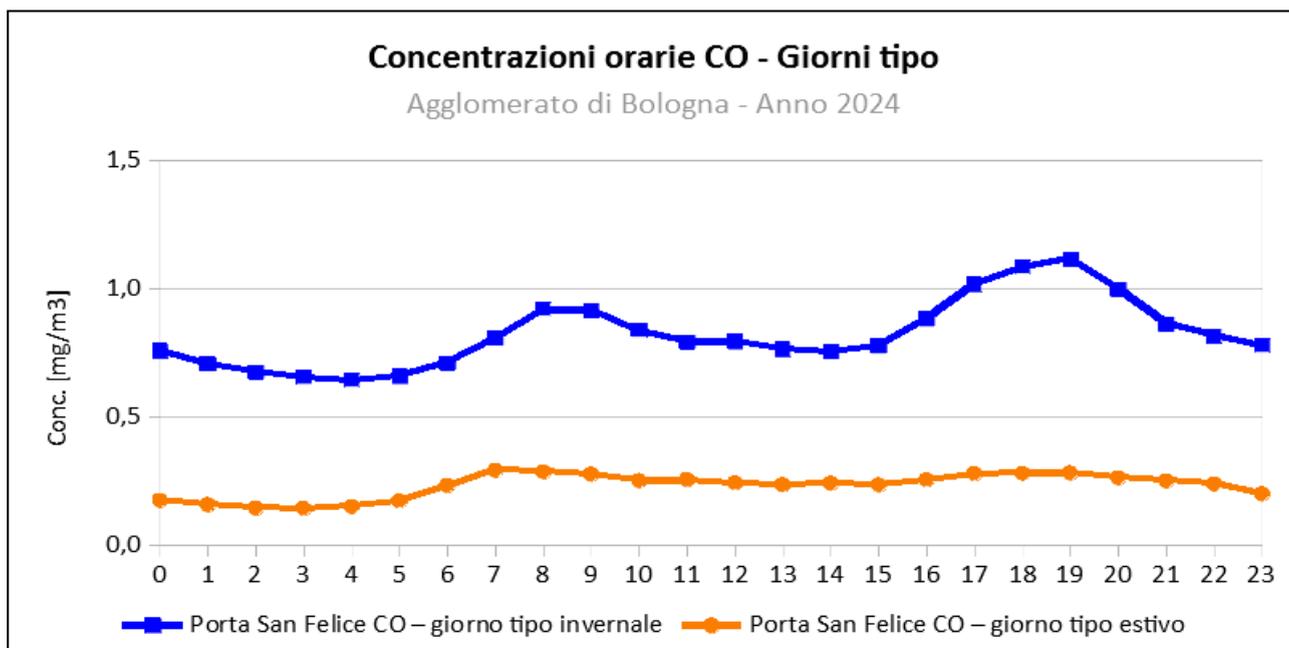


Figura 20 - Stazione da traffico, CO: giorno tipo invernale ed estivo

CO (mg/m3) – medie annuali 2015-2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PORTA SAN FELICE	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5

Tabella 20 - CO confronto medie annuali 2015-2024

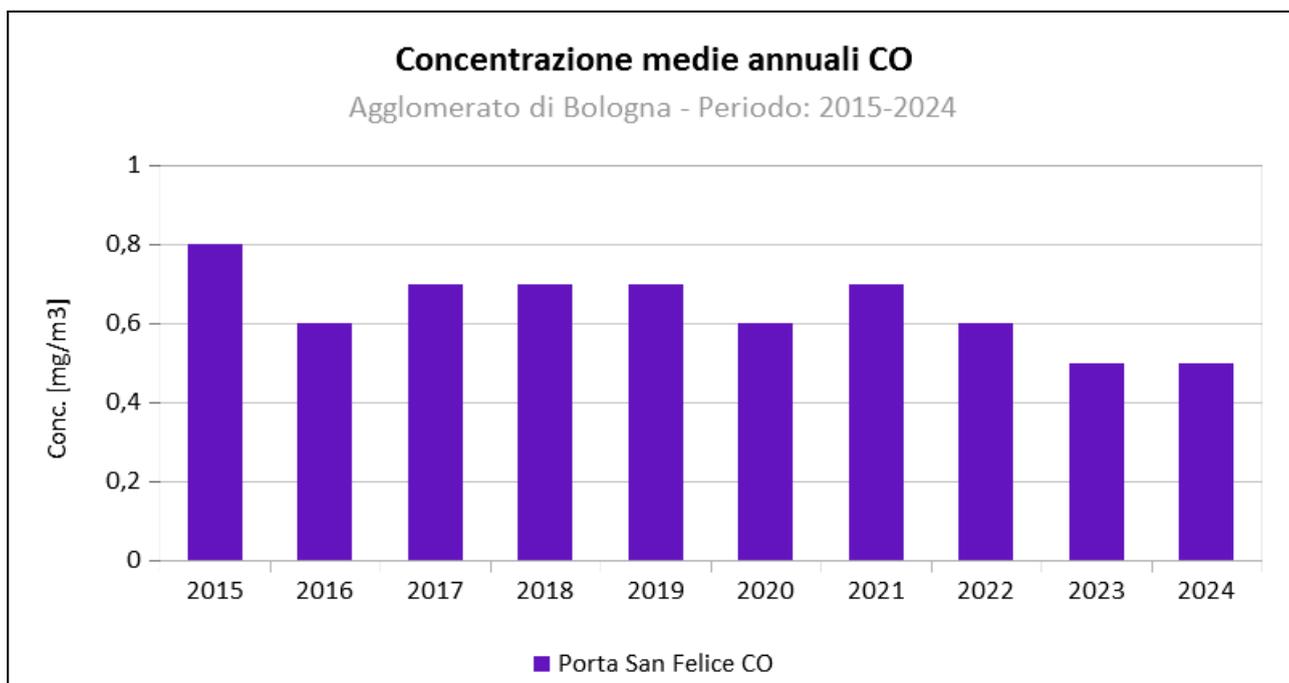


Figura 21 - CO Andamento temporale delle medie annuali

## 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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> anno 2024 – Concentrazioni in µg/m <sup>3</sup>								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8143	< 0,1	0,8	1,0	1,9	2,4	3,0	6,1
<b>VALORE LIMITE</b>	<b>Media annuale</b>			<b>5,0</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>			

Tabella 21 - Benzene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge - anno 2024

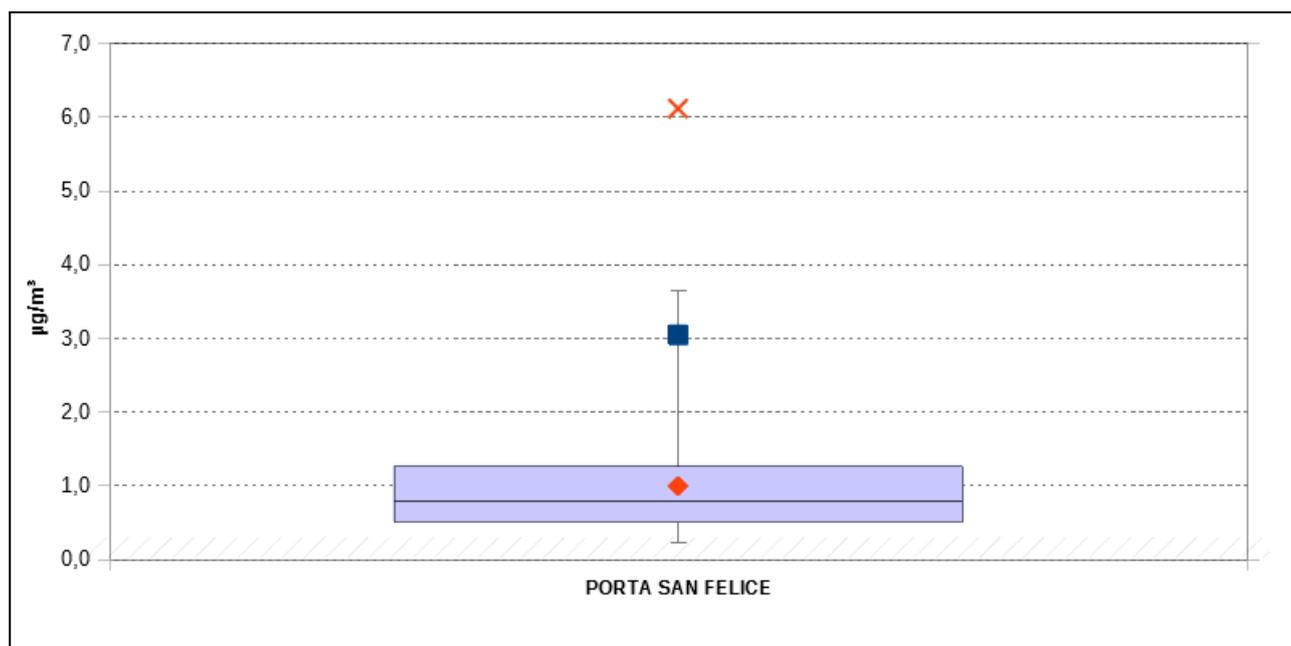


Figura 22 - C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> : Box Plot delle statistiche annuali 2024

Come presentato in Tabella 21, il valore medio annuale misurato presso la stazione da traffico di Porta San Felice risulta significativamente inferiore al valore limite di 5 µg/m<sup>3</sup>. La distribuzione statistica (Figura 22) presenta valori entro il 98° percentile inferiori al limite annuale.

In Tabella 22 e Figura 23 è riportato l'andamento della concentrazione media mensile. Le concentrazioni più elevate si osservano nei mesi invernali, con il valore massimo di 1,8 µg/m<sup>3</sup> registrato a gennaio.

C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) – medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	1,8	-	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,8	1,0	1,5	1,6

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

Tabella 22 - C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

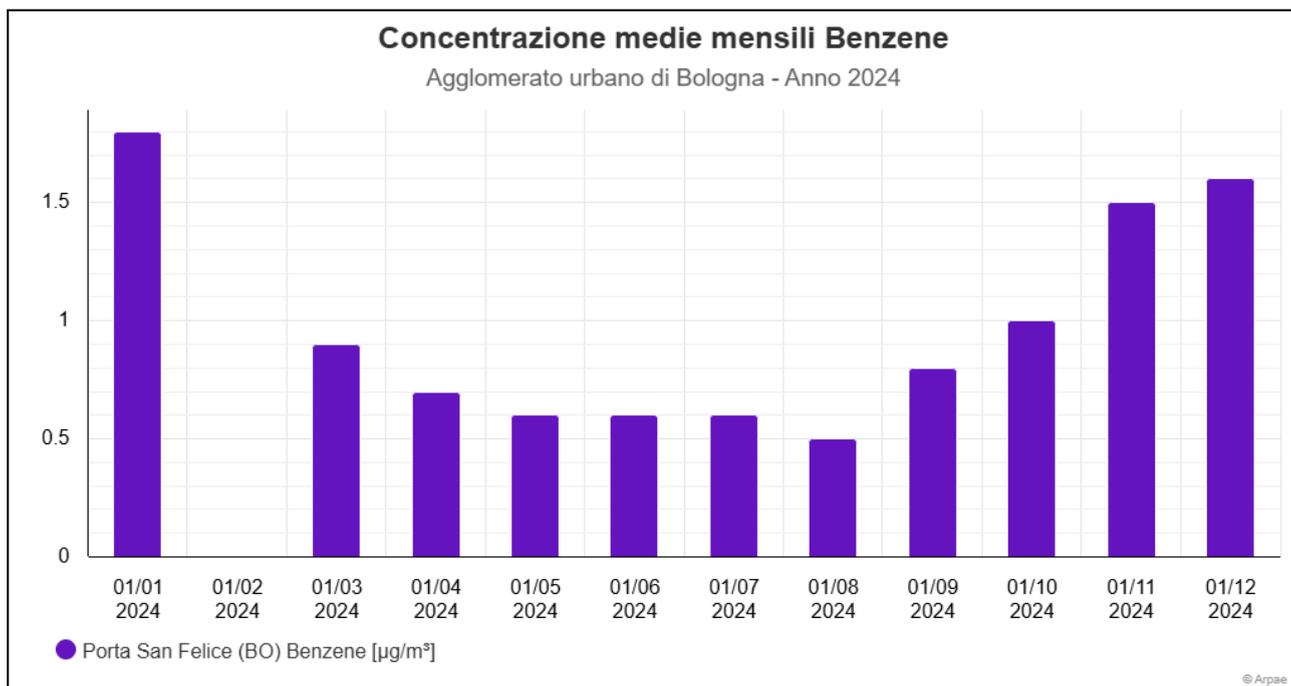


Figura 23 - C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

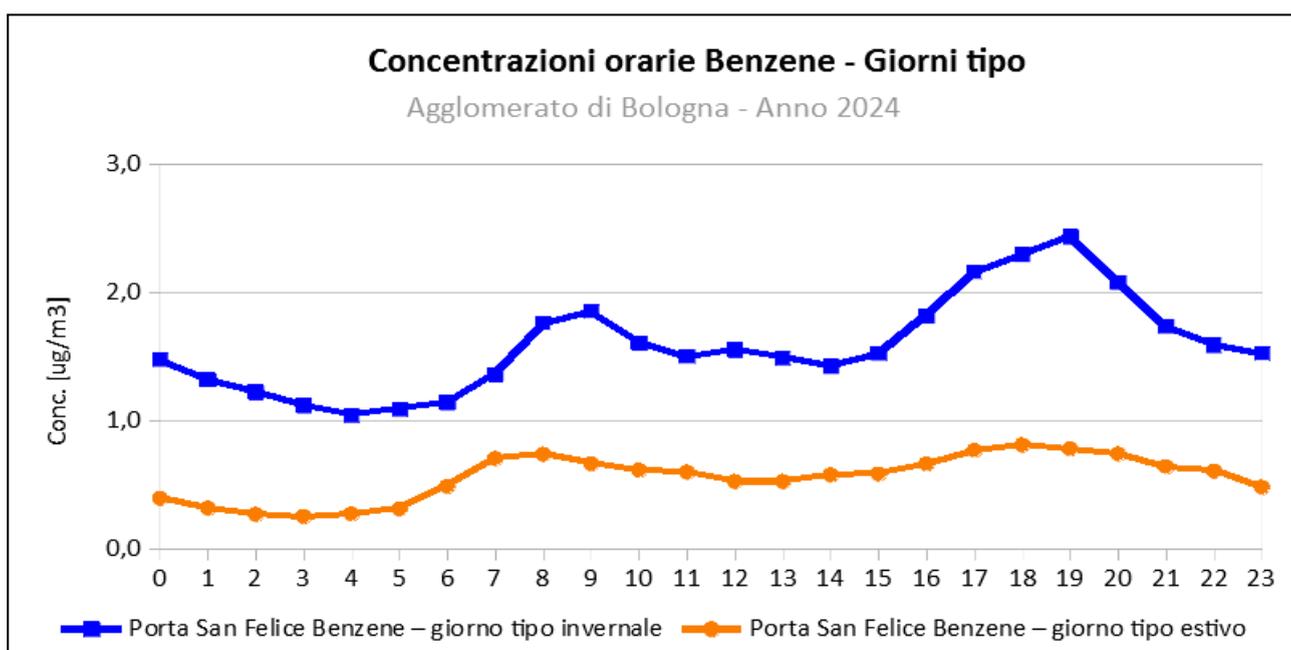


Figura 24 - Stazione da traffico, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>: giorno tipo invernale ed estivo

Il grafico in Figura 24 illustra il giorno tipo invernale e quello estivo per il benzene. Gli andamenti evidenziano, nel periodo invernale, massimi orari che risultano più marcati nelle ore di punta del traffico, sia in periodo diurno che serale. In estate i valori diminuiscono, presentando un andamento più costante durante l'arco della giornata.

Il grafico rappresentato in Figura 25 invece, assieme ai dati riportati in Tabella 23, mostra l'andamento temporale delle concentrazioni medie annuali nel decennio 2015-2024.

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

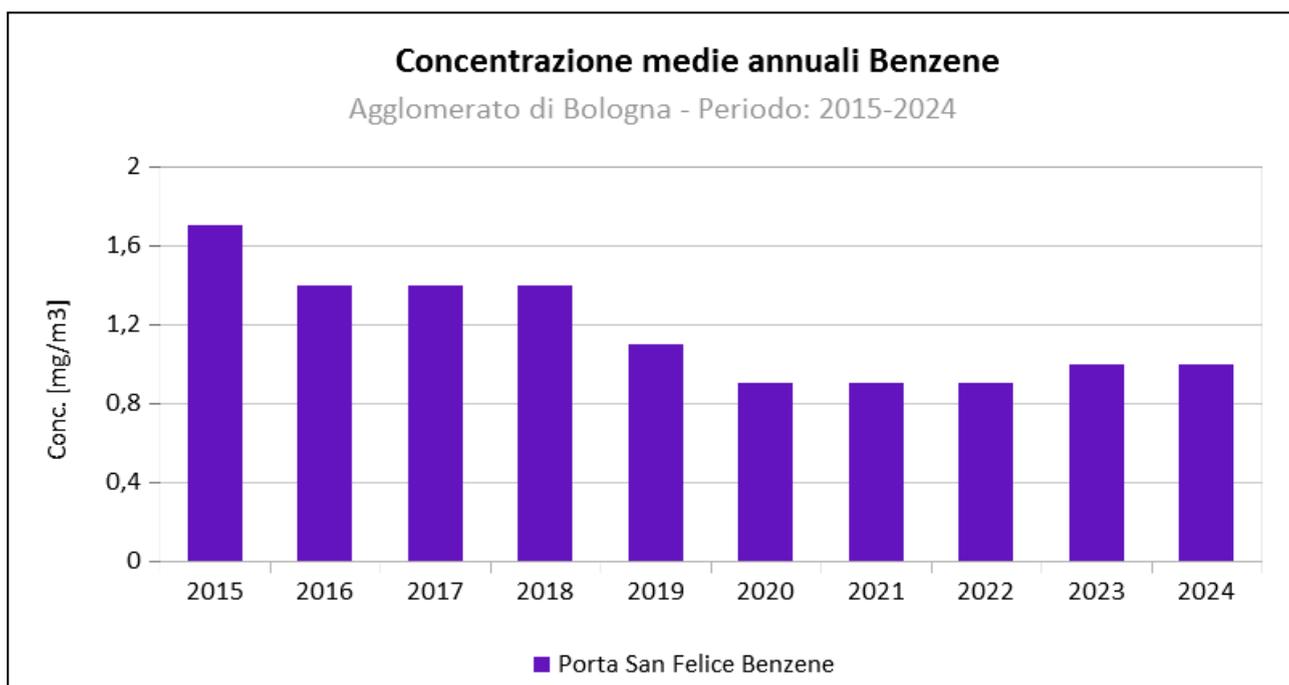


Figura 25 - C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> Confronto medie annuali 2015-2024

C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) - Medie Annuali 2015 - 2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PORTA SAN FELICE	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 23 - C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>: Andamento temporale delle medie annuali

## 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 PM<sub>10</sub> 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; esso è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio e, quindi, avere effetti negativi sulla salute.

### Come si origina

Il particolato PM<sub>10</sub> è in parte emesso direttamente dalle sorgenti (PM<sub>10</sub> primario) e in parte si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM<sub>10</sub> secondario). Inoltre il PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub>, come gli ossidi di zolfo e di azoto, i COV (Composti Organici Volatili) e l'ammoniaca.

PM <sub>10</sub> anno 2024 - Concentrazioni in µg/m <sup>3</sup>								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	363	<3	21	25	45	54	75	129
GIARDINI MARGHERITA	348	3	19	22	39	47	68	113
CHIARINI	329	<3	15	20	38	47	68	124
SAN LAZZARO DI SAVENA	355	<3	20	24	43	53	69	127
IMOLA - DE AMICIS	359	<3	20	24	43	50	69	130
SAN PIETRO CAPOFIUME	352	<3	19	23	43	51	60	86
CASTELLUCCIO	347	<3	8	10	16	18	29	168
VALORE LIMITE		media annuale		40	µg/m <sup>3</sup>			

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

Tabella 24 - Particolato PM<sub>10</sub>: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

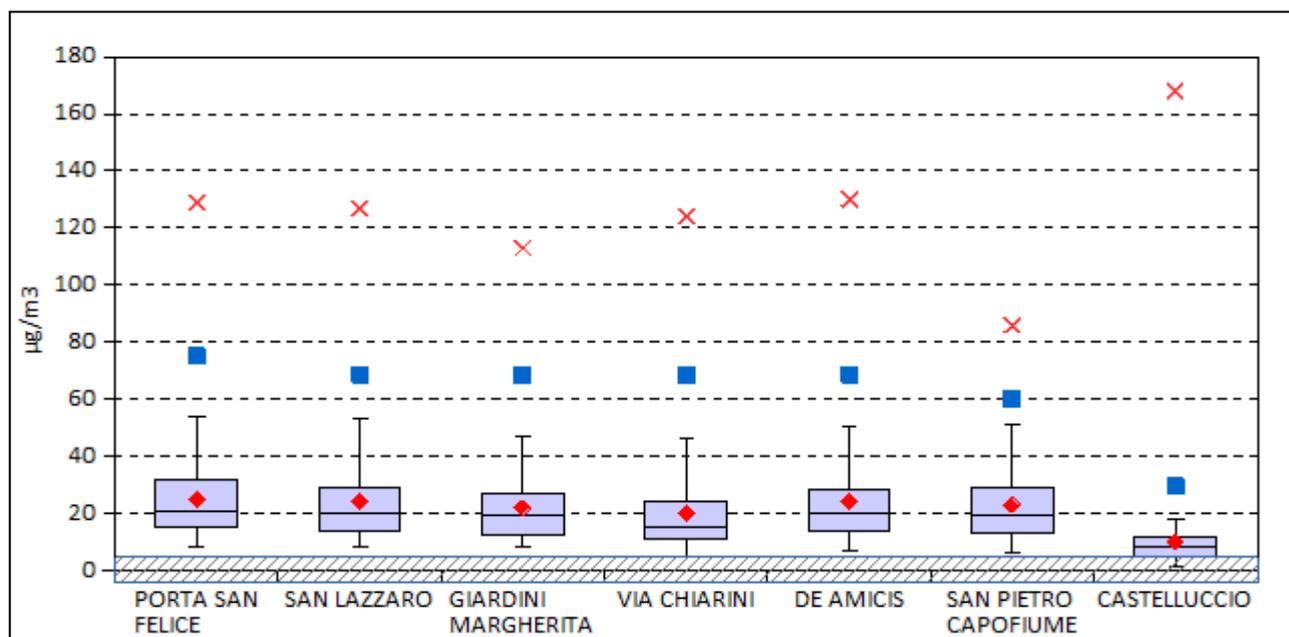


Figura 26 - PM10 : Box Plot delle statistiche annuali 2024

La statistica presente in Tabella 24 mostra che nel 2024 le concentrazioni medie annuali non hanno superato il valore limite di 40 µg/m<sup>3</sup> 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 poche unità.

A sua volta il box plot di Figura 26 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 (tale andamento è in parte interpretabile 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 a quelli delle altre postazioni della rete. Interessante notare come i valori massimi registrati nell'anno sulle varie stazioni corrispondano al periodo interessato all'evento di trasporto delle sabbie sahariane tra fine marzo e inizio aprile.

Nella seguente Tabella 25 sono riepilogati i dati relativi alle medie mensili per l'anno 2024. Come si può notare ci sono stati alcuni problemi, in particolare sulla postazione di via Chiarini, che hanno comportato una non sufficiente copertura di dati per alcune delle mensilità; tuttavia, nel complesso, è stato possibile garantire il rispetto del valore previsto dalla normativa per soddisfare la copertura di dati per le statistiche annuali.

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) - Medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	39	38	26	20	15	18	19	19	17	26	38	30
GIARDINI MARGHERITA	34	31	22	16	12	16	18	18	16	22	35	24
CHIARINI	35	30	21	15	11	16	14	16	13	19	-	-
SAN LAZZARO DI SAVENA	38	39	26	18	14	15	18	20	16	23	36	26
IMOLA - DE AMICIS	36	37	23	16	14	17	20	20	17	23	35	23
SAN PIETRO CAPOFUME	31	33	19	15	14	18	19	19	14	21	37	30
CASTELLUCCIO	6	8	18	10	8	-	12	12	9	9	9	4

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

Tabella 25 - PM10 Concentrazioni medie mensili 2024

Come si può osservare dall'analisi dei grafici corrispondenti alla precedente tabella, le medie mensili delle stazioni di misura, sia dell'Agglomerato (Figura 27), che della Pianura (Figura 28), 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.

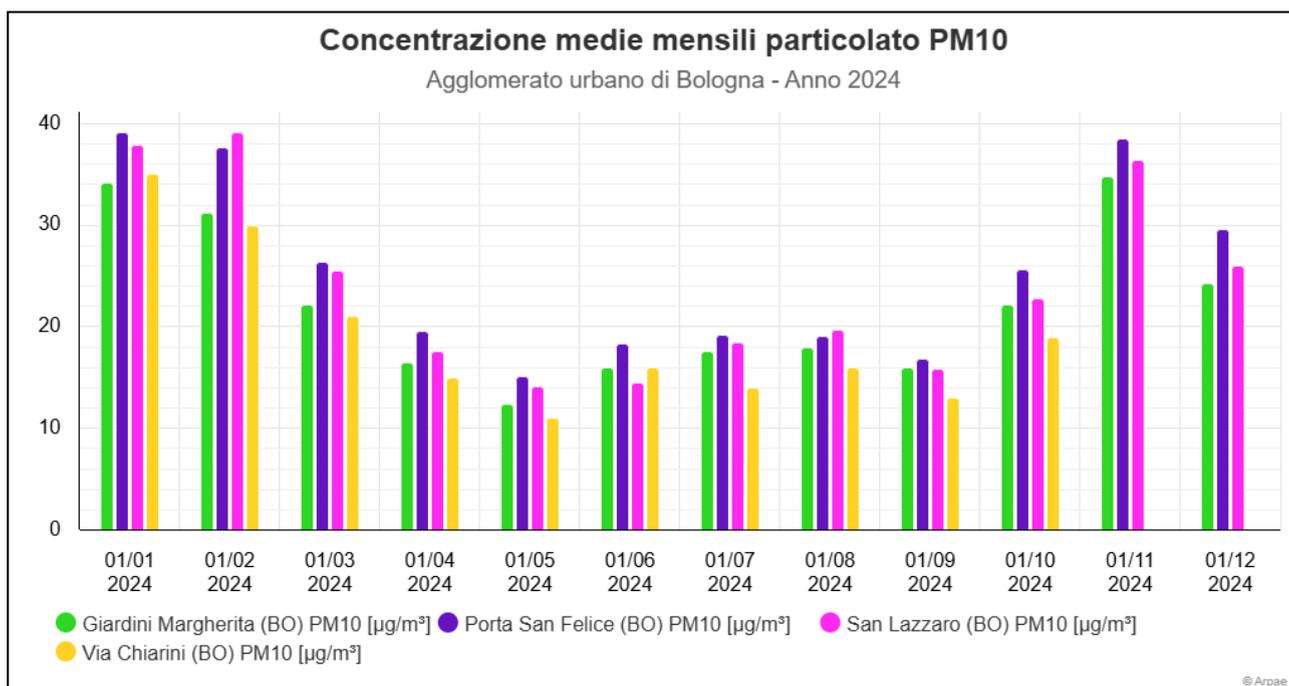


Figura 27 - Agglomerato - PM<sub>10</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

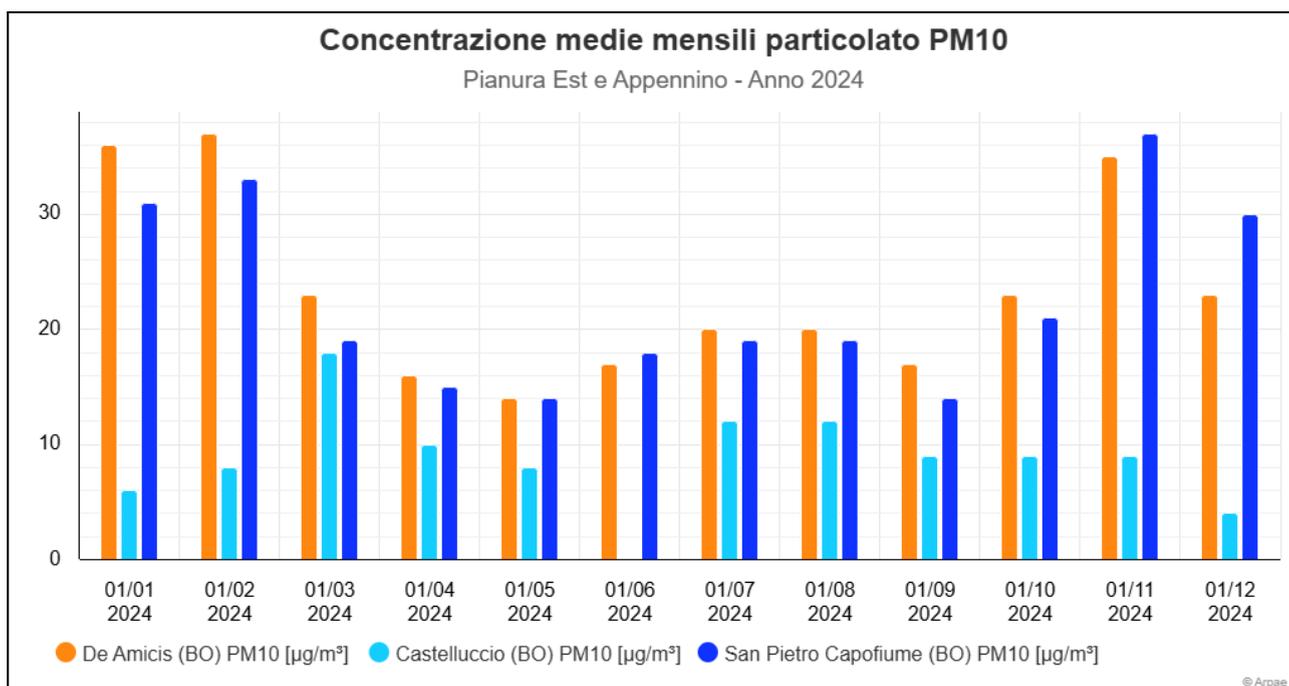


Figura 28 - Pianura e Appennino - PM<sub>10</sub> Concentrazioni medie mensili 2024

Il numero dei giorni di superamento del valore limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'anno 2024 è riportato in Tabella 26 suddiviso su base mensile. Il numero annuale massimo di 35 giorni di superamento, consentito dalla normativa, non è stato superato in nessuna delle centraline di monitoraggio. Facendo un confronto con i dati relativi al 2023 si osserva che il 2024 ha visto un lieve rialzo dei livelli delle concentrazioni medie annuali su quasi tutte le stazioni delle rete, nonché un aumento ancora più netto (e su tutti i siti di monitoraggio) del numero di giorni in cui si è registrato il superamento del limite giornaliero per il PM<sub>10</sub>.

PM <sub>10</sub> anno 2024 - numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m <sup>3</sup> )													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2024
PORTA SAN FELICE	7	7	2	1	0	0	0	0	0	2	5	2	26
GIARDINI MARGHERITA	3	4	2	1	0	0	0	0	0	1	4	0	15
CHIARINI	4	4	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	14
S.LAZZARO DI SAVENA	7	7	2	1	0	0	0	0	0	1	3	1	22
IMOLA - DE AMICIS	5	7	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	18
S.PIETRO CAPOFIUME	3	8	2	0	0	0	0	0	0	1	4	1	19
CASTELLUCCIO	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4

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

Tabella 26 - PM<sub>10</sub> : Superamenti del valore limite giornaliero - anno 2024

Prendendo in considerazione le serie storiche degli ultimi dieci anni degli indicatori annuali per il PM<sub>10</sub>, si osserva che i valori delle concentrazioni medie annuali relative al 2024, al netto del lieve incremento riscontrato rispetto all'anno precedente, si inseriscono all'interno di un quadro che, da ormai un quinquennio, caratterizza la situazione del particolato PM<sub>10</sub> all'interno del territorio bolognese, con livelli di concentrazione delle medie annuali che si confermano, ancora una volta, saldamente al di sotto dei 30 µg/m<sup>3</sup> per tutti i siti di indagine (Figura 29 e Tabella 27). Per quello che riguarda il numero di superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup> registrati in un anno, il confronto allargato all'ultimo decennio sembra evidenziare una debole tendenza alla riduzione sul lungo periodo, di tale indicatore, anche se non sempre con andamento univoco (Figura 30 e Tabella 28).

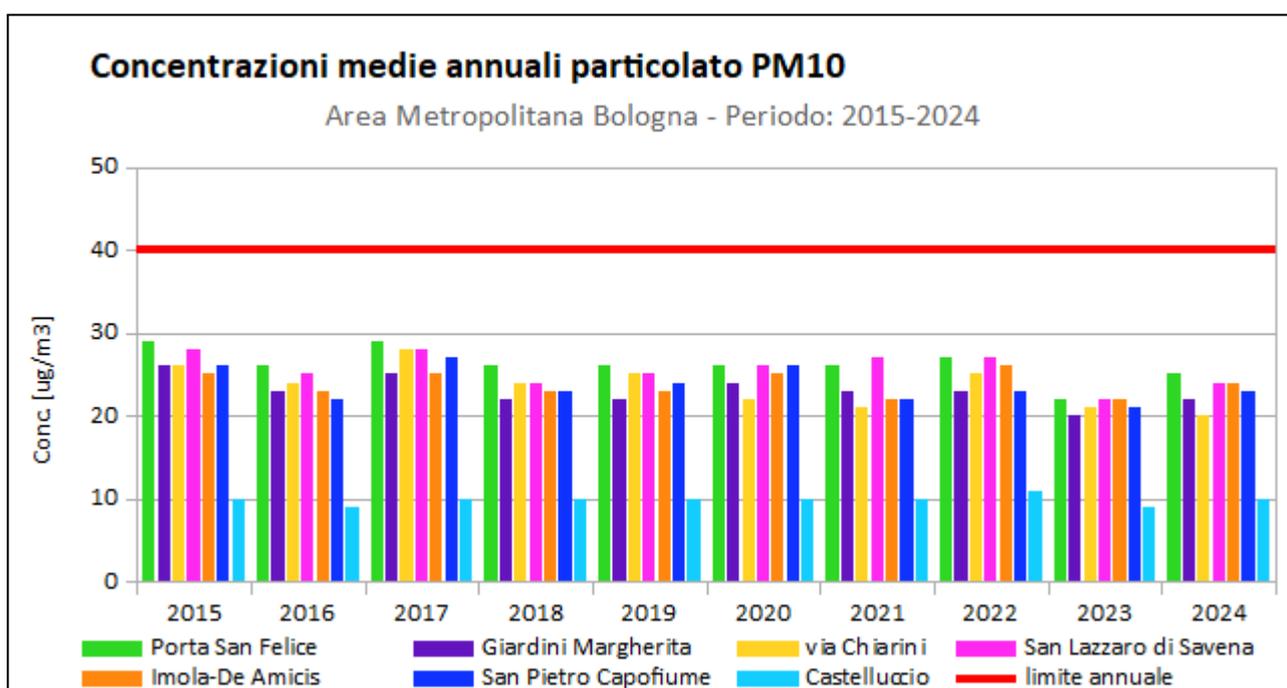


Figura 29 - PM<sub>10</sub> Andamento delle medie annuali 2015-2024

PM <sub>10</sub> ( µg/m <sup>3</sup> ) - Medie annuali 2015 – 2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PORTA SAN FELICE	29	26	29	26	26	26	26	27	22	25
GIARDINI MARGHERITA	26	23	25	22	22	24	23	23	20	22
CHIARINI	26	24	28	24	25	22	21	25	21	20
SAN LAZZARO DI SAVENA	28	25	28	24	25	26	27	27	22	24
IMOLA - DE AMICIS	25	23	25	23	23	25	22	26	22	24
SAN PIETRO CAPOFIUME	26	22	27	23	24	26	22	23	21	23
CASTELLUCCIO	10	9	10	10	10	10	10	11	9	10

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

Tabella 27 - PM<sub>10</sub>: Andamento temporale delle medie annuali

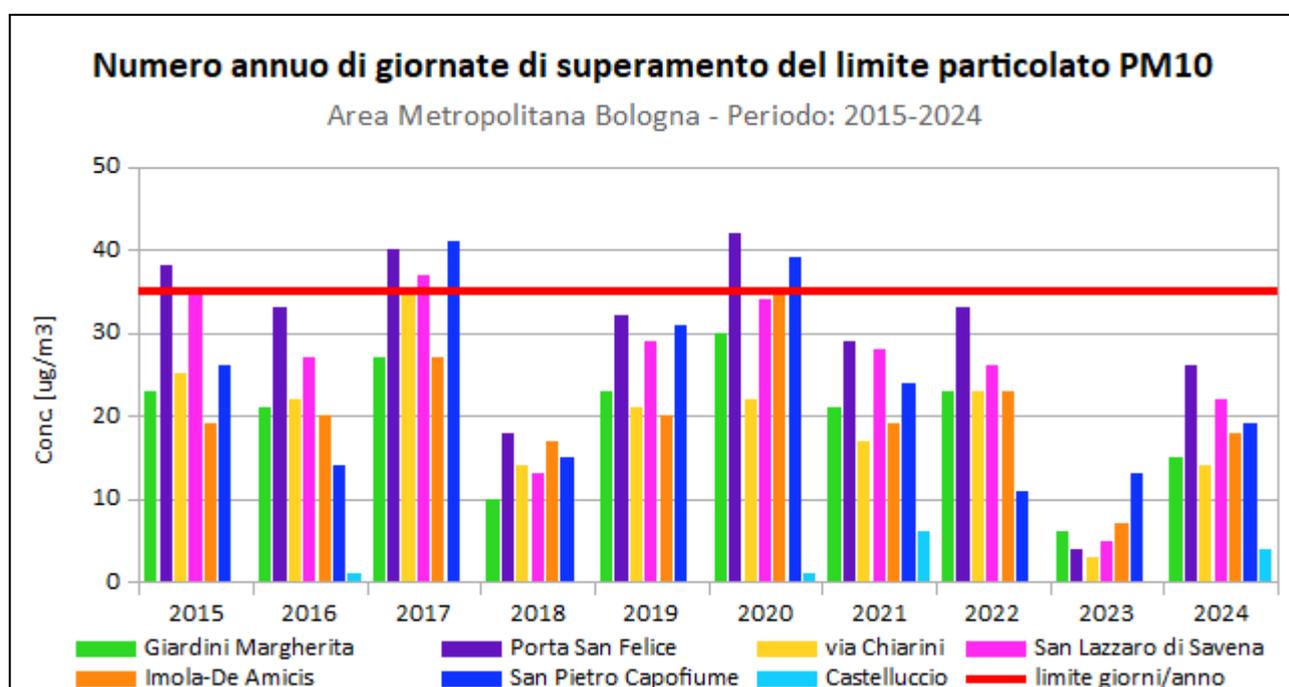


Figura 30 - PM<sub>10</sub> Confronto superamenti annuali del limite giornaliero 50 µg/m<sup>3</sup> periodo 2014-2023

PM <sub>10</sub> - numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m <sup>3</sup> ) 2015 – 2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PORTA SAN FELICE	38	33	40	18	32	42	29	33	4	26
GIARDINI MARGHERITA	23	21	27	10	23	30	21	23	3	15
CHIARINI	25	22	35	14	21	22	17	23	5	14
SAN LAZZARO DI SAVENA	35	27	37	13	29	34	28	26	6	22
IMOLA - DE AMICIS	19	20	27	17	20	35	19	23	7	18
SAN PIETRO CAPOFIUME	26	14	41	15	31	39	24	11	13	19
CASTELLUCCIO	0	1	0	0	0	1	6	0	0	4

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

Tabella 28 - PM<sub>10</sub>: Andamento temporale dei superamenti del valore limite giornaliero

## 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 <sub>2.5</sub> anno 2024 - Concentrazioni in $\mu g/m^3$								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	363	<3	10	14	30	38	51	74
GIARDINI MARGHERITA	355	<3	10	14	31	38	52	77
SAN PIETRO CAPOFUME	343	<3	11	15	32	41	52	66
CASTELLUCCIO	360	<3	<3	5	9	10	13	47
VALORE LIMITE		media annuale		25	$\mu g/m^3$			

Tabella 29 - Particolato  $PM_{2.5}$ : Parametri statistici

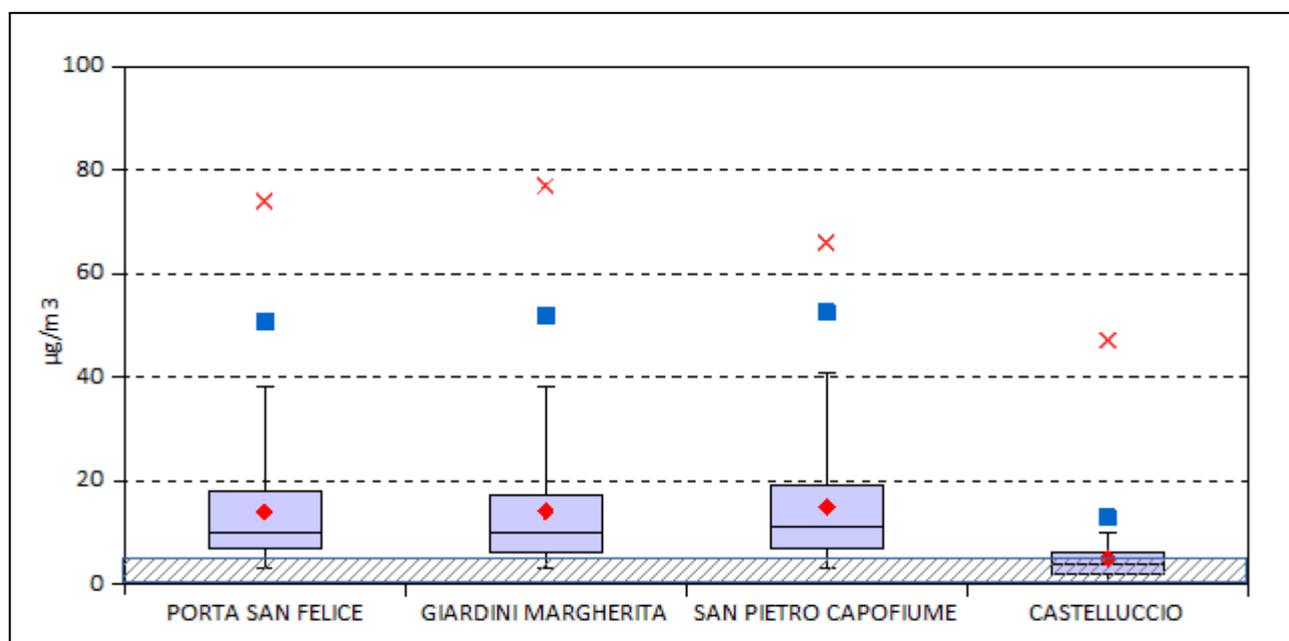


Figura 31 -  $PM_{2.5}$  : Box Plot delle statistiche annuali 2024

Le concentrazioni medie annue per il particolato  $PM_{2.5}$  risultano, nel 2024, nettamente inferiori sia rispetto al valore limite di  $25 \mu g/m^3$  che al valore limite indicativo di  $20 \mu g/m^3$  (che avrebbe dovuto entrare in vigore dal 1° gennaio 2020) per tutte le postazioni presenti sul territorio metropolitano.

In Figura 31 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  $PM_{10}$  anche per le  $PM_{2.5}$  la stazione di Castelluccio ha un comportamento a sé stante.

In Figura 32 e Tabella 30 vengono riportate le medie mensili dei valori di concentrazione del particolato  $PM_{2.5}$  per l'anno 2024, che presentano il caratteristico andamento stagionale con valori più elevati in autunno e in inverno.

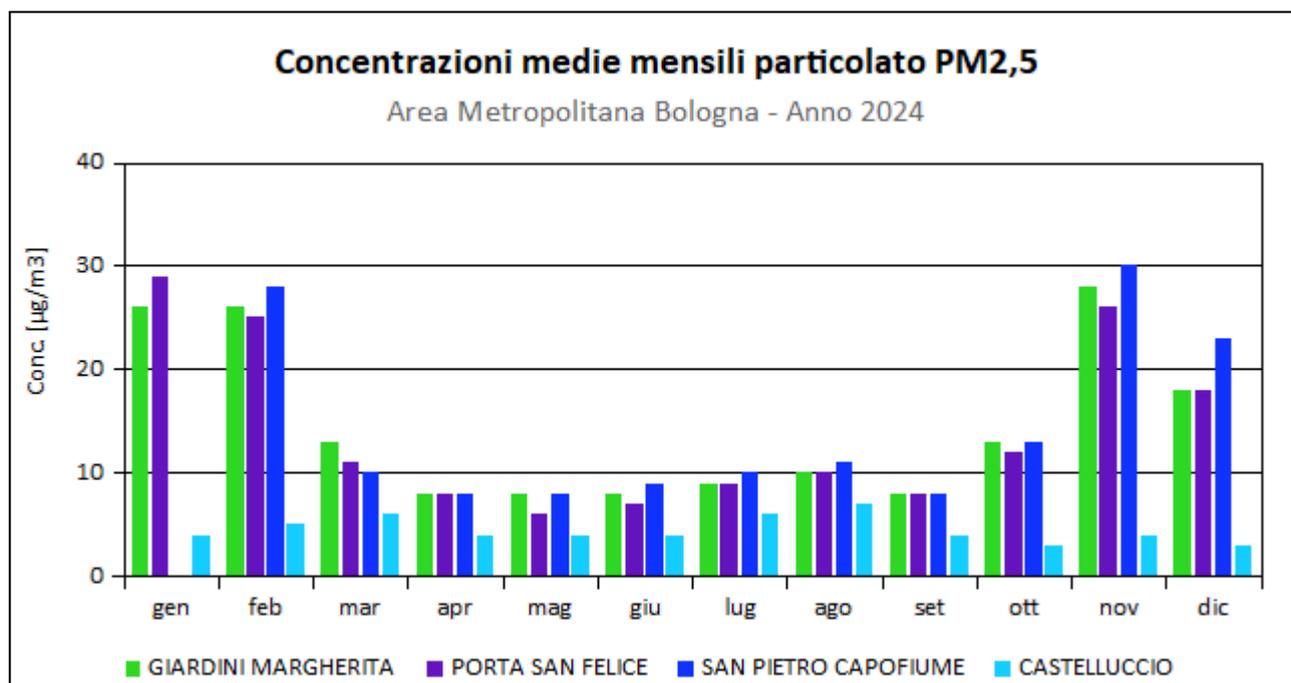


Figura 32 -  $PM_{2.5}$ : Andamento temporale delle medie mensili - anno 2024

PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) - Medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	26	26	13	8	8	8	9	10	8	13	28	18
PORTA SAN FELICE	29	25	11	8	6	7	9	10	8	12	26	18
SAN PIETRO CAPOFIUME	-	28	10	8	8	9	10	11	8	13	30	23
CASTELLUCCIO	4	5	6	4	4	4	6	7	4	3	4	3

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

Tabella 30 -  $PM_{2.5}$  Concentrazioni medie mensili 2024

Un altro aspetto interessante è il confronto tra i valori medi mensili di  $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ , 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.

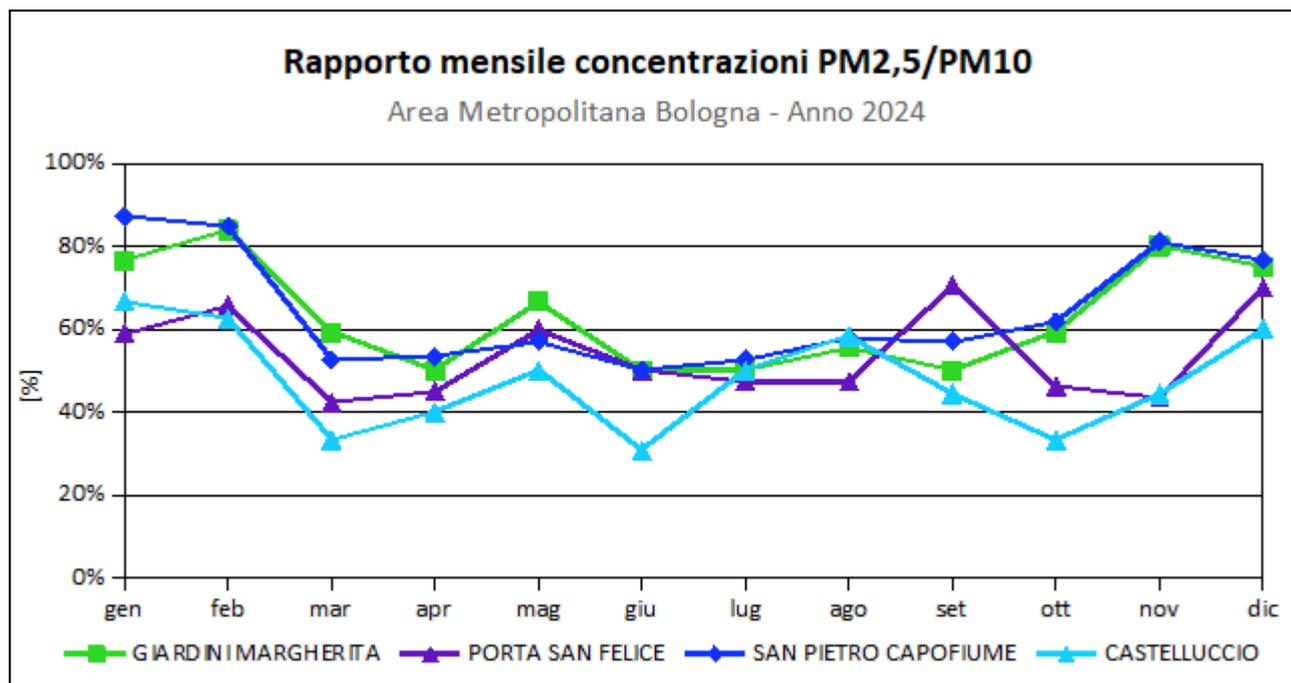


Figura 33 - Rapporto PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> : medie mensili 2024

Come mostrato dal grafico in Figura 33, tendenzialmente i minimi annuali si trovano in primavera-estate, quando aumentano i fenomeni di sospensione e di trasporto a lunga distanza di particelle per la frazione grossolana. Al contrario, i massimi si osservano normalmente 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.

In generale i dati per il 2024 presentano una minore variabilità nei valori mensili rispetto all'anno precedente e anche rispetto alla tipologia di sito. Ad esempio, per le stazioni di fondo di Giardini Margherita e San Pietro Capofiume gli andamenti sono piuttosto simili e oscillano tra valori confrontabili (50%-84% per la stazione urbana di Bologna, 50%-87% per quella di San Pietro Capofiume), con la frazione di PM<sub>2,5</sub> che mediamente rappresenta una parte preponderante del particolato PM<sub>10</sub>. Presso la stazione di fondo appenninica (Castelluccio), il rapporto PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> evidenzia una minor presenza della frazione inalabile (PM<sub>2,5</sub>), con valori compresi tra 31% e 67%, anche se vengono confermati gli andamenti mensili osservati sugli altri due siti di fondo. Infine, per il sito da traffico urbano (Porta San Felice), si osservano alcuni andamenti in controtendenza rispetto ai siti di fondo (in particolare nel periodo tra luglio e novembre) ed un intervallo di valori del rapporto PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> compresi tra 42% e 71% in cui la frazione più fine risulta meno presente rispetto a quanto accade nei siti di fondo di Giardini Margherita e San Pietro Capofiume.

In Figura 34 ed in Tabella 31 si riportano le serie storiche delle medie annuali di PM<sub>2,5</sub> per le stazioni in cui il monitoraggio di tale inquinante è ormai da tempo attivo.

Come si può osservare, il PM<sub>2,5</sub> presenta, nel corso degli anni, un andamento meno vario rispetto a quello del PM<sub>10</sub> anche se tendenzialmente in lieve diminuzione nel lungo periodo.

Il rispetto del valore limite annuale (25 µg/m<sup>3</sup>) è ormai consolidato a partire dal 2008 e, dal 2014, tutte le stazioni registrano una media annuale inferiore o pari a 20 µg/m<sup>3</sup>.

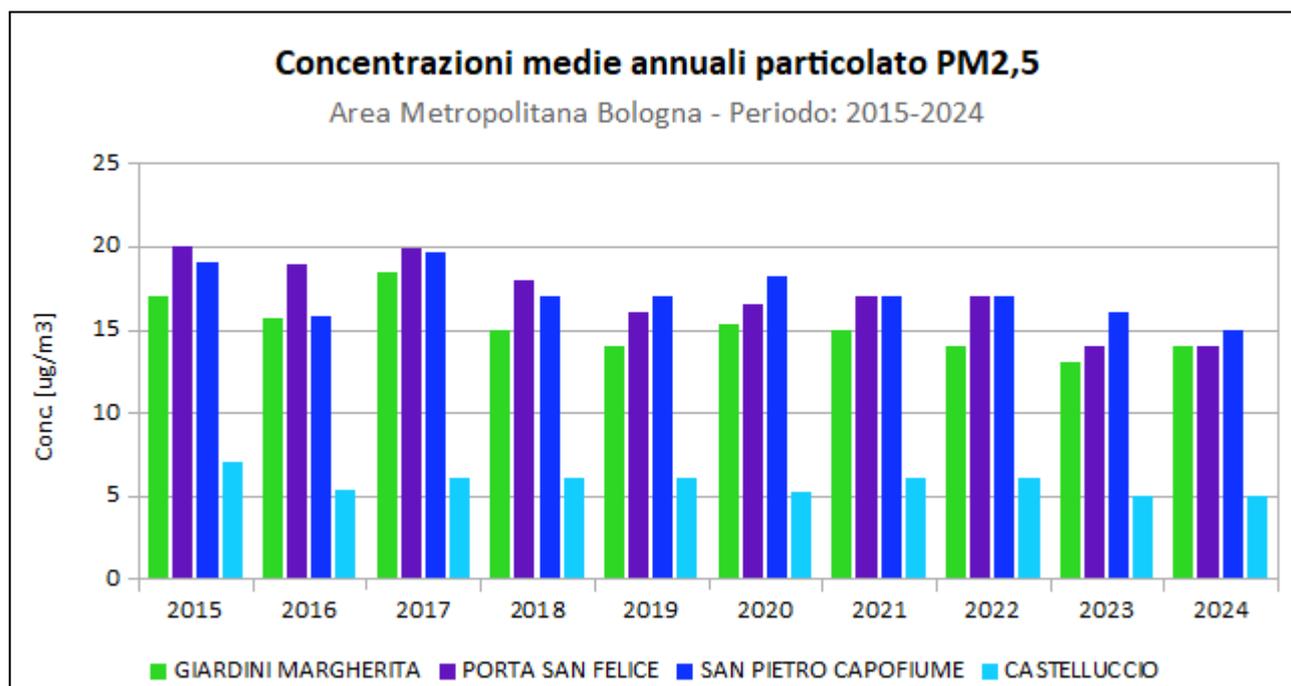


Figura 34 - PM<sub>2,5</sub> Confronto medie annuali 2015-2024

PM <sub>2,5</sub> ( µg/m <sup>3</sup> ) - Medie annuali 2015 – 2024										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PORTA SAN FELICE	20	19	20	18	16	17	17	17	14	14
GIARDINI MARGHERITA	17	16	18	15	14	15	15	14	13	14
SAN PIETRO CAPOFIUME	19	16	20	17	17	18	17	17	16	15
CASTELLUCCIO	7	5	6	6	6	5	6	6	5	5

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 31 - PM<sub>2,5</sub>: Andamento temporale delle medie annuali

## ANALISI SUL PARTICOLATO

Il particolato PM<sub>10</sub>, 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 metalli.

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<sub>10</sub>, calcolato come media su un anno civile, è pari ad 1 ng/m<sup>3</sup>.

Il D.Lgs. 155/2010 indica inoltre per arsenico, cadmio e nichel i valori obiettivo rispettivamente di 6 ng/m<sup>3</sup>, di 5 ng/m<sup>3</sup> e di 20 ng/m<sup>3</sup> e per il piombo il valore limite di 0.5 µg/m<sup>3</sup>, 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 piro sintesi ha origine durante il processo di combustione.

In Tabella 35 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 dei dati, emerge come i valori medi annuali di benzo(a)pirene per il 2024 risultino di un ordine di grandezza inferiori al limite normativo.

Benzo(a)pirene anno 2023 - Concentrazioni in ng/m <sup>3</sup>								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	12	0,010	0,054	<b>0,112</b>	0,328	0,367	0,385	0,397
PORTA SAN FELICE	12	0,015	0,079	<b>0,162</b>	0,471	0,497	0,502	0,506
S. PIETRO CAPOFIUME	12	0,010	0,050	<b>0,203</b>	0,616	0,682	0,719	0,743
LIMITE NORMATIVO		media annuale		1,0	ng/m <sup>3</sup>			

Tabella 35 - Benzo(a)Pirene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

Benzo(a)Pirene (ng/m <sup>3</sup> ) – medie mensili anno 2024												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	0,397	0,137	0,067	0,029	0,010	0,063	0,044	0,011	0,012	0,034	0,193	0,343
PORTA SAN FELICE	0,506	0,239	0,103	0,049	0,027	0,015	0,082	0,018	0,032	0,075	0,313	0,489
S. PIETRO CAPOFIUME	0,632	0,348	0,068	0,030	0,013	0,012	0,063	0,013	0,010	0,037	0,467	0,743

Tabella 36 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2024 (ng/m<sup>3</sup>)

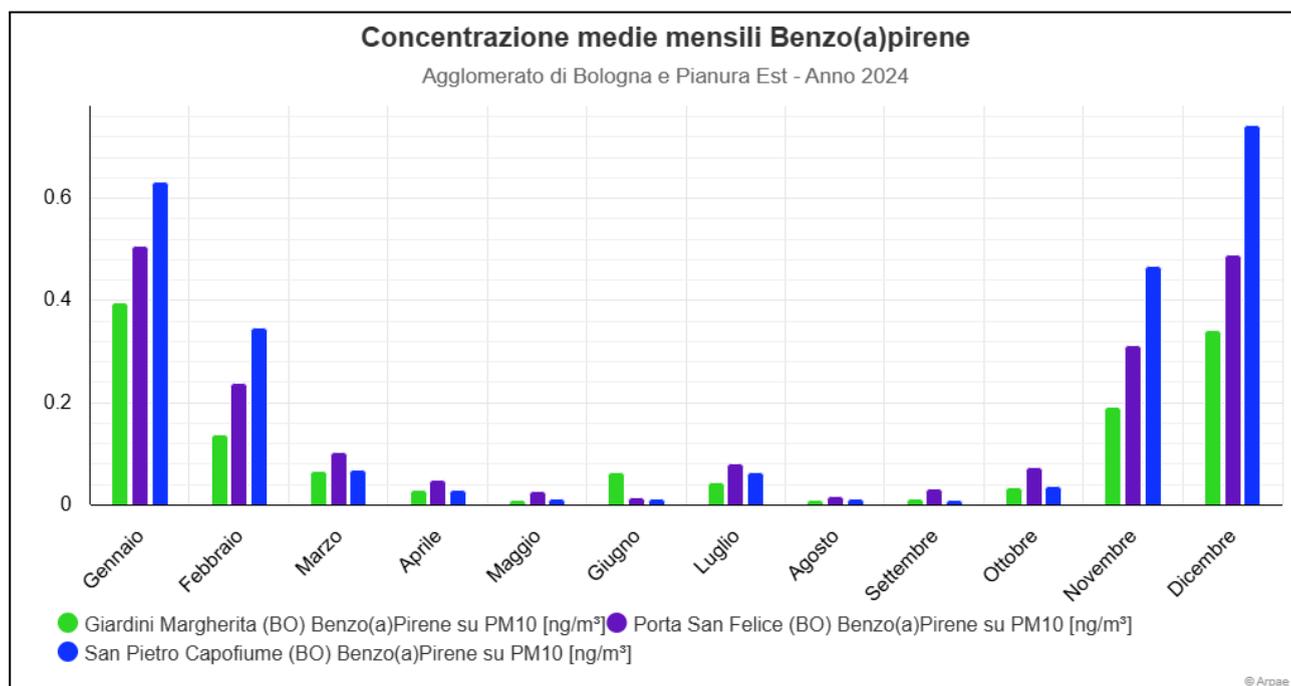


Figura 35 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2024 (ng/m<sup>3</sup>)

In Tabella 36 e nel successivo grafico di Figura 35 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 2024, dei diversi IPA di interesse sanitario, individuati dalla normativa (Tabella 37 e Figura 36). 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 di 1 ng/m<sup>3</sup>, valore obiettivo fissato per il benzo (a)pirene.

IPA di interesse sanitario (D.Lgs 155/2010) [ng/m <sup>3</sup> ] – medie anno 2024						
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
GIARDINI MARGHERITA	0,112	0,046	0,271	0,083	0,175	0,020
PORTA SAN FELICE	0,162	0,099	0,359	0,093	0,213	0,027
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,203	0,119	0,453	0,124	0,278	0,039

Tabella 37 - IPA: Concentrazioni medie annuali IPA di interesse sanitario (ng/m<sup>3</sup>) 2024

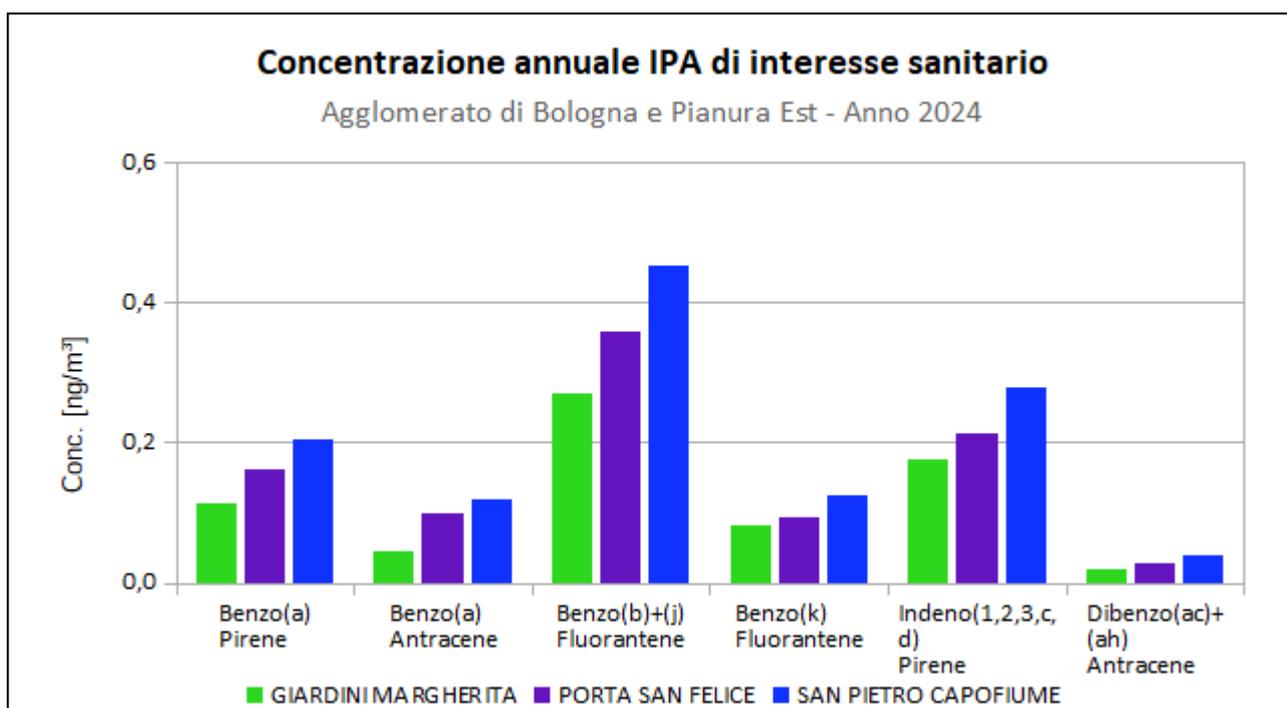


Figura 36 - IPA: Concentrazioni medie annuali IPA di interesse sanitario (ng/m<sup>3</sup>) 2024

Infine, in Tabella 38 e in Figura 37 sono riportate le serie delle medie annuali del Benzo(a)pirene, espresse in ng/m<sup>3</sup>, relative agli ultimi 10 anni (dal 2015 al 2024). 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 2015-2024 in ng/m <sup>3</sup>										
Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
GIARDINI MARGHERITA	0,18	0,13	0,15	0,11	0,13	0,12	0,10	0,12	0,09	0,11
PORTA SAN FELICE	0,11	0,22	0,20	0,18	0,17	0,17	0,15	0,20	0,14	0,16
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,08	0,20	0,29	0,19	0,21	0,18	0,13	0,20	0,17	0,20

Tabella 38 - Benzo(a)Pirene: Andamento temporale delle medie annuali

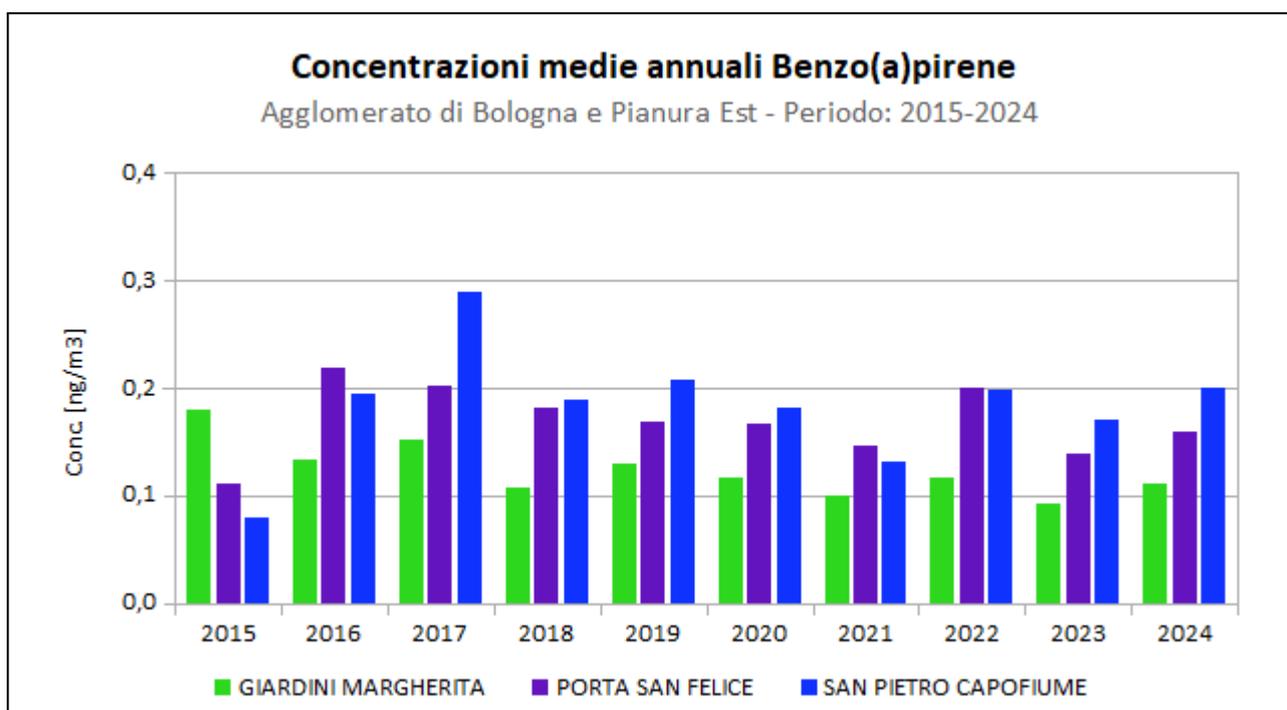


Figura 37 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie annuali dal 2015 al 2024 (ng/m<sup>3</sup>)

## 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 39 e in Figura 38, i valori di concentrazione media mensile, per l'anno 2024, rilevati sul particolato PM<sub>10</sub> di Giardini Margherita relativi ad Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo.

Giardini Margherita – Concentrazioni medie mensili anno 2024 (ng/m <sup>3</sup> )												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
<b>Arsenico</b>	4,404	0,213	0,199	0,199	0,199	0,245	0,193	0,193	0,230	0,214	0,500	0,193
<b>Cadmio</b>	0,669	0,088	0,040	0,040	0,040	0,049	0,038	0,038	0,046	0,043	0,126	0,038
<b>Nichel</b>	0,854	0,854	0,797	0,706	0,797	0,982	0,772	0,772	1,784	0,854	0,797	0,772
<b>Piombo</b>	9,200	3,635	1,827	1,611	1,449	1,495	1,231	1,270	1,801	2,227	3,967	2,495

Tabella 39 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento medie mensili anno 2024

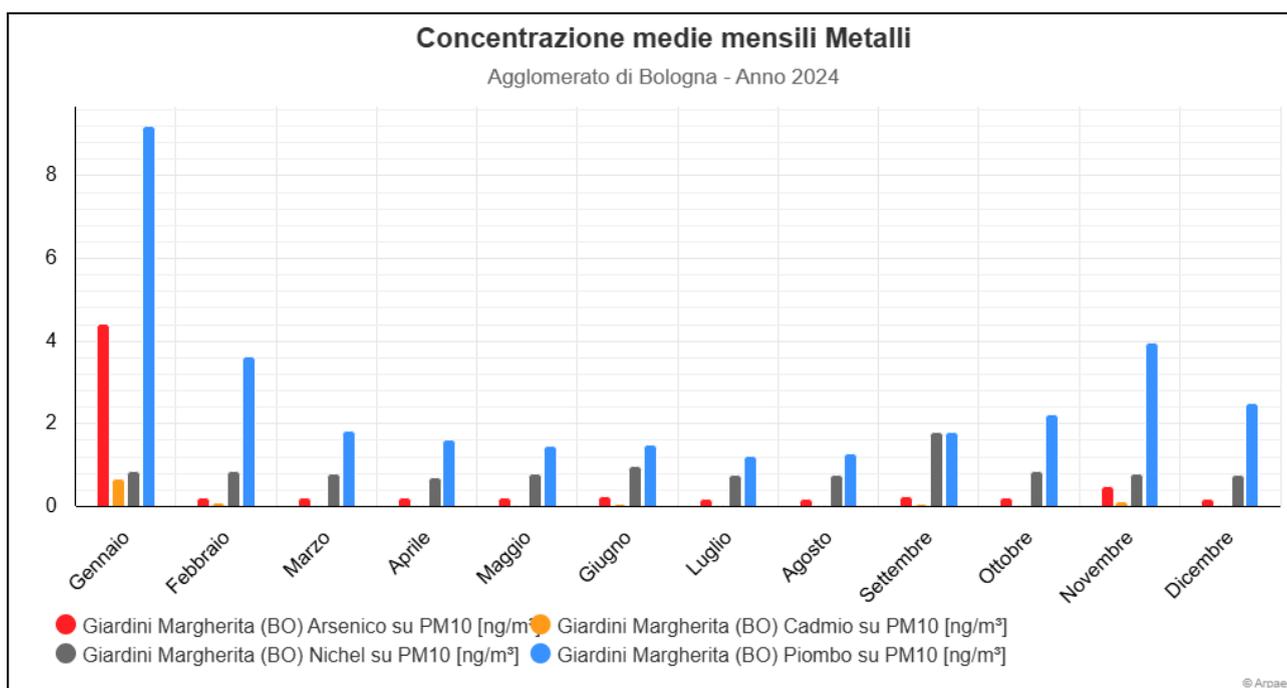


Figura 38 - Metalli: Concentrazioni medie mensili (ng/m<sup>3</sup>) - Giardini Margherita 2024

L'analisi dei grafici permette di osservare un'influenza della stagionalità nei livelli di concentrazione misurati, con una tendenza a una maggior presenza dei vari metalli nel periodo invernale, in particolare per quel che concerne il piombo. Per gli altri metalli occorre considerare che non sempre sono state raggiunte concentrazioni superiori al limite di quantificazione, pertanto il valore graficato è stato posto convenzionalmente pari a LQ/2. 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 40 e Figura 39 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 2015-2024 (ng/m <sup>3</sup> )											
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Valore obiettivo
<b>Arsenico</b>	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,6	<b>6</b>
<b>Cadmio</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<b>5</b>
<b>Nichel</b>	1,0	1,5	1,6	1,3	3,0	0,8	0,8	1,1	1,0	0,9	<b>20</b>
											Valore limite
<b>Piombo</b>	4,0	4,4	4,3	2,8	3,1	2,4	2,5	2,5	2,2	2,7	<b>500</b>

Tabella 40 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento temporale delle medie annuali (ng/m<sup>3</sup>)

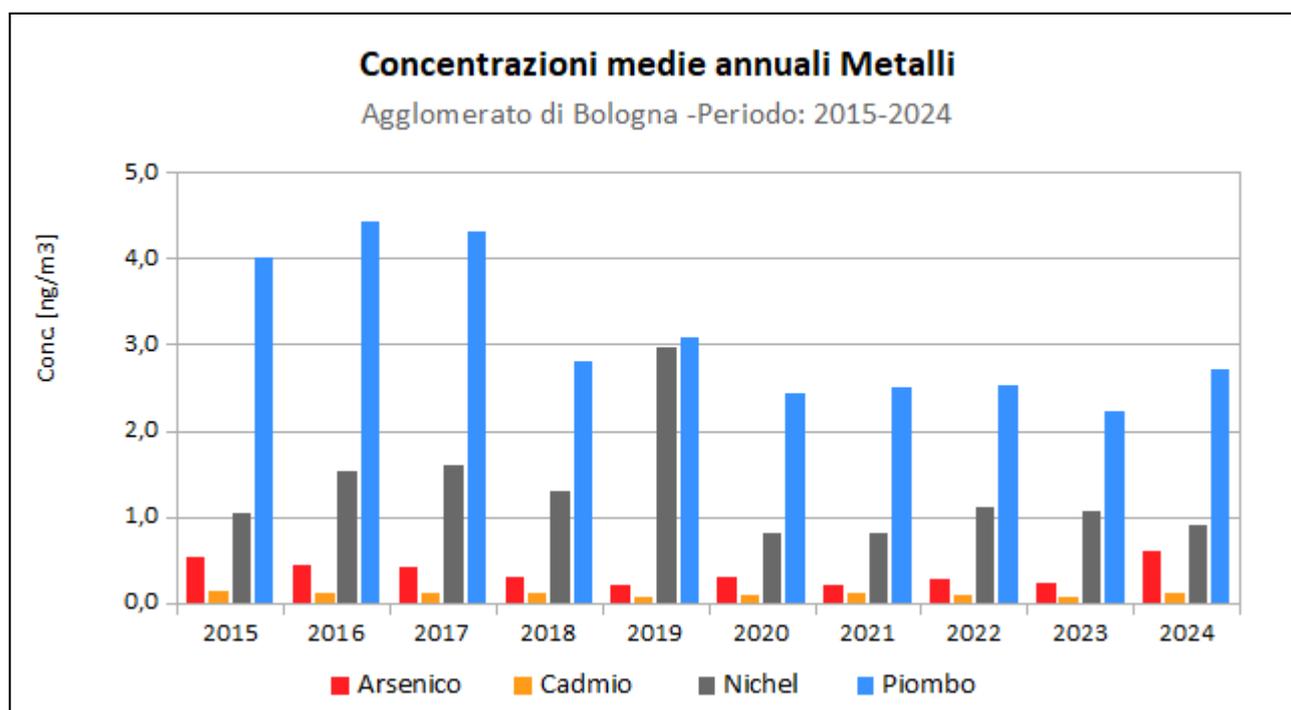


Figura 39 - Metalli: Concentrazioni medie annuali (ng/m<sup>3</sup>) dal 2015 al 2024

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per quanto riguarda gli aspetti meteorologici, nell'area del territorio bolognese il 2024 è stato caratterizzato dall'alluvione del 19 ottobre che ha colpito parte della città con importanti conseguenze anche a livello sociale e infrastrutturale.

In generale l'anno trascorso ha evidenziato un aumento delle precipitazioni soprattutto nei mesi autunnali e invernali, con un incremento del 75% rispetto al 2023 e ben al di sopra dei livelli di riferimento climatici delle serie trentennali. Al contrario, per quanto riguarda le temperature dell'aria, il 2024 ha visto un complessivo abbassamento dei valori, con decrementi rispetto al 2023 che si sono concentrati maggiormente nei mesi autunnali e invernali, mentre primavera ed estate sono risultate lievemente più calde rispetto all'anno precedente. Anche per il 2024 le temperature complessive sono risultate comunque superiori a quelle delle serie climatologiche a 30 anni, confermando il trend di crescita delle temperature già in corso da decenni. In generale i dati confermano ancora una volta il consolidarsi, per l'area bolognese, di un clima più secco e caldo, caratterizzato da temperature più alte nei mesi più caldi e un regime delle precipitazioni che tende a favorire la presenza di eventi a carattere alluvionale (maggio 2023, ottobre 2024).

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 2024 sono stati rispettati tutti i principali limiti normativi vigenti sugli indicatori per i diversi inquinanti, con le uniche eccezioni del valore di AOT40 e del numero di superamenti annui del limite obiettivo a lungo termine per l'ozono, anche se i valori registrati nel 2024 risultano comunque in diminuzione rispetto a quelli dell'anno precedente.

Per il biossido di azoto, il limite annuale ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è stato rispettato su tutte le stazioni della rete, con una sostanziale conferma dei valori per le stazioni di fondo presenti nell'abitato di Bologna e una netta riduzione dei livelli sulle restanti stazioni, soprattutto presso quelle maggiormente impattate dal traffico veicolare. In particolare sulla stazione da traffico urbana di Porta San Felice, storicamente l'unica a presentare spesso il superamento del limite annuale, si evidenzia una forte riduzione dei livelli di concentrazione di  $\text{NO}_2$ . Il prosieguo del monitoraggio presso questa stazione darà indicazioni sulla stabilità di questo trend ed eventualmente sulle possibili motivazioni.

Come negli anni precedenti, anche nel 2024 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  $\text{NO}_2$  non rappresentano più un elemento di criticità.

Anche il valore limite applicabile agli ossidi di azoto  $\text{NO}_x$  per la protezione della vegetazione risulta rispettato presso le centraline dove è possibile stimarlo (San Pietro Capofiume e Castelluccio).

Con riferimento al particolato  $\text{PM}_{10}$ , rispetto all'anno precedente, nel 2024 si è registrato un incremento delle concentrazioni medie annuali su quasi tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio presenti nel territorio bolognese, con valori che risultano però sostanzialmente in linea con quelli dei tre anni precedenti. In tutti i casi comunque, le medie annuali di  $\text{PM}_{10}$  risultano ben al di sotto del limite normativo previsto ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

A propria volta, il numero complessivo di giorni di superamento del valore limite giornaliero ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ha visto un netto incremento in tutte le stazioni. In tutti i casi è stato comunque rispettato il limite normativo consentito di 35 giornate.

Le concentrazioni medie annuali di  $PM_{2,5}$  sono rimaste sostanzialmente in linea con quelle osservate nel 2023 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 dell'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 2024 il numero di superamenti è stato di tre ore complessive: una registrata nella stazione di fondo urbana di Giardini Margherita e due nella stazione di fondo suburbano di via Chiarini.

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 50 volte/anno presso la stazione di San Pietro Capofiume a Molinella.

Per quanto riguarda il parametro AOT40 relativo alla protezione della vegetazione, anche nel 2024, come negli anni precedenti, risulta superato il valore obiettivo su 5 anni nelle stazioni di Chiarini e San Pietro Capofiume.

Per quanto concerne gli altri inquinanti monitorati, si osserva una sostanziale conferma dei livelli dell'anno precedente, in particolare per monossido di carbonio, benzene, cadmio e nichel, mentre per benzo(a)pirene, arsenico e piombo le medie annuali del 2024 risultano più alte rispetto a quelle dell'anno precedente.

In ogni caso comunque, tutti i limiti normativi previsti sono abbondantemente rispettati.

