
Rete Regionale di Monitoraggio e Valutazione della Qualità dell'Aria

Città Metropolitana di Bologna

Report dei dati 2022

Unità Specialistica di Sistemi Ambientali Aria-CEM:

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

Responsabile ad interim: Cristina Volta

Giugno 2023



Indice generale

INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
LA ZONIZZAZIONE DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA	4
LA RETE DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	5
CONDIZIONE METEOROLOGICA DEL TERRITORIO METROPOLITANO	5
Temperatura	6
Precipitazioni	7
Direzione e velocità del vento	8
Altezza di rimescolamento	10
Stabilità atmosferica	11
LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2022	13
BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO	15
OZONO	20
PARTICOLATO PM10	26
PARTICOLATO PM2.5	31
MONOSSIDO DI CARBONIO	35
BENZENE	38
ANALISI SUL PARTICOLATO	41
Idrocarburi Policiclici Aromatici	41
Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo	44
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	47

INQUADRAMENTO NORMATIVO

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

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

Il Decreto contiene inoltre le definizioni di:

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

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

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

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

LA ZONIZZAZIONE DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA

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

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

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

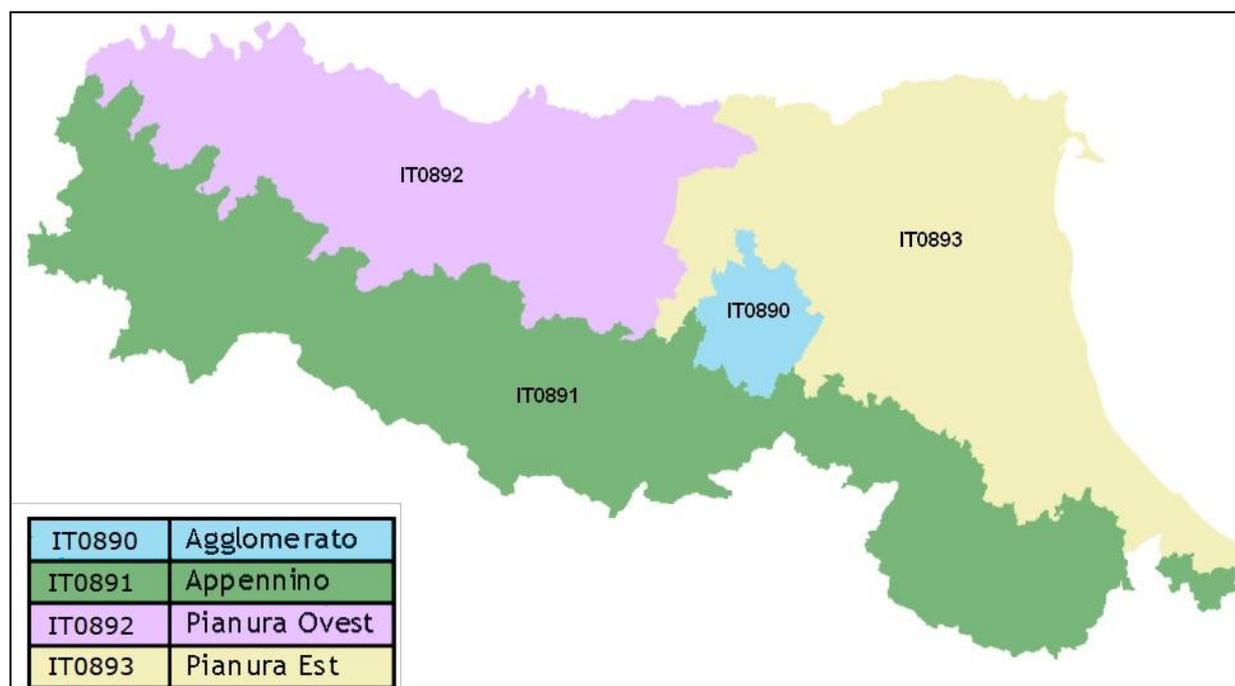


Figura 1 - Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011

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

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

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

LA RETE DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

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

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

Tabella 2 - Stazioni e parametri della rete di monitoraggio

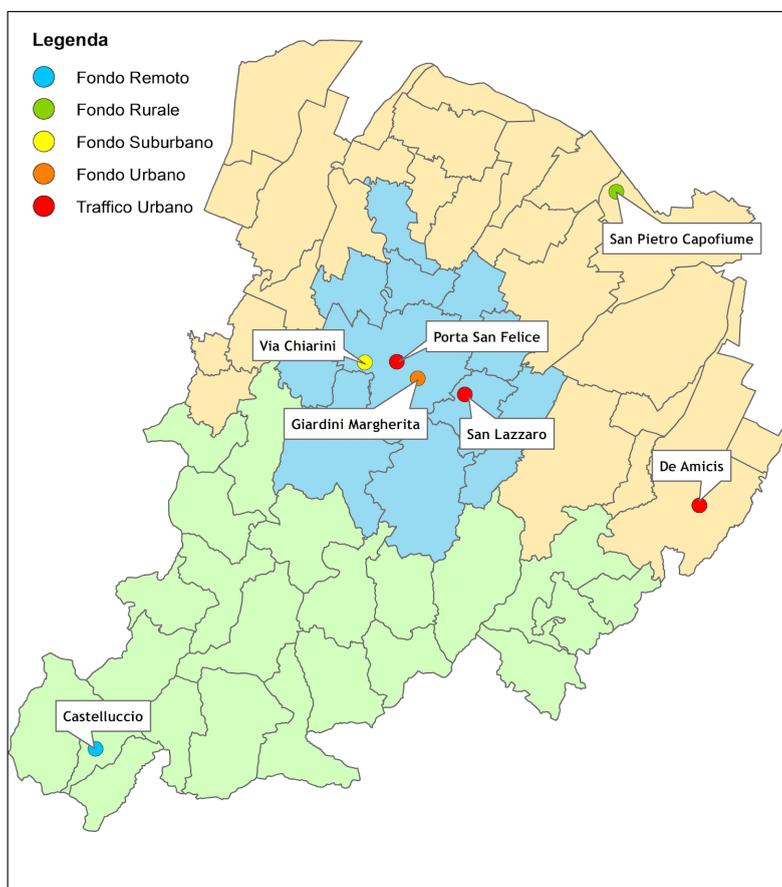


Figura 2 - Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria

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 2022) presso la stazione di San Pietro Capofiume. I dati della stazione Bologna Urbana presi a riferimento fino al 2021 non sono disponibili in quanto la stessa risulta a tutt'oggi in fase di ricollocazione e ristrutturazione.

In particolare vengono esaminate le seguenti variabili:

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

Per alcuni parametri è stato effettuato il confronto con il 2021 rielaborando i dati del nuovo riferimento e con il clima di riferimento relativo al trentennio 1961-1990 per la stazione di Bologna - Borgo Panigale.

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

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

Temperatura

In Figura 3 sono analizzati gli andamenti delle temperature minima, media e massima mensili (°C) per l'anno in esame; sono riportati inoltre i valori normali climatici delle temperature medie e gli scostamenti rispetto al 2021.

Il 2022 è stato complessivamente più caldo rispetto al 2021, con temperature quasi sempre sopra al clima di riferimento, sia nei mesi estivi che invernali.

Il confronto con il trentennio climatico 1961-1990, mostra temperature medie mensili nel complesso superiori alle attese registrando una media annuale di oltre 1°C rispetto al riferimento. In generale le anomalie sono state significative in tutti i mesi sia nelle minime sia nelle massime, queste ultime decisamente più elevate (da 4.5°C ad aprile fino a 10.8°C di novembre). Rilevanti le anomalie termiche di ottobre e dicembre, superiori alle attese di circa 2.6 e 3.3°C.

Mensilmente le temperature medie sono variate da un minimo di -5.4°C nel mese di marzo (rendendolo il più freddo degli ultimi 35 anni) ad un massimo di 37.6°C nel mese di luglio. Le minime sono scese al di sotto dei 0°C a gennaio, febbraio, marzo e dicembre. I mesi di febbraio e marzo sono risultati più freddi rispetto al 2021, con differenze negative rispettivamente di -1.0 e -1.4°C, mentre i restanti mesi sono risultati più caldi con picchi di +4.1°C a ottobre e +2.9°C a dicembre.

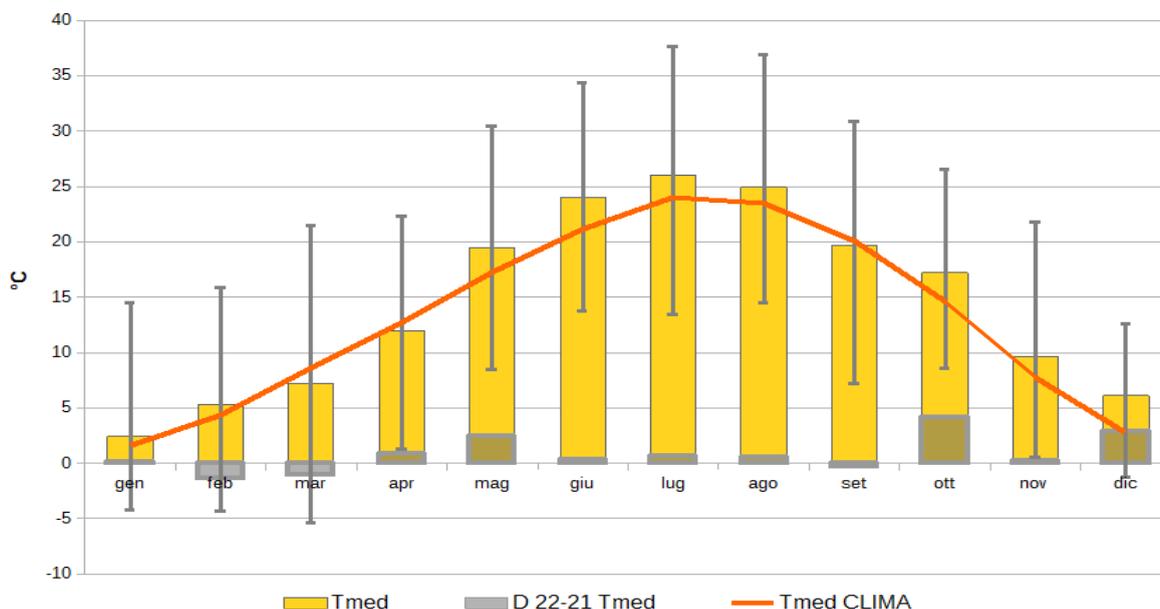


Figura 3 - San Pietro Capofiume: temperature mensili (°C)

Nel complesso l'estate 2022 è stata la seconda più calda dal 1961 dopo il 2003 e simile all'estate 2012, con un'anomalia stagionale di temperatura media di +2°C rispetto al clima 1961-1990. Il contributo maggiore a queste anomalie estive è da attribuire principalmente ai valori di temperatura massima.

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.

Le anomalie termiche illustrate al precedente paragrafo sono state accompagnate da un'intensa siccità, che si è protratta per gran parte dell'anno. Le precipitazioni totali annue sono state pari a circa 512 mm, il 27% in meno rispetto al riferimento climatico con anomalie positive registrate solo ad agosto (+16 mm rispetto al clima), a novembre (+9.4 mm rispetto al clima) e dicembre (+17 mm rispetto al clima). Va inoltre segnalato che a novembre circa due terzi delle piogge sono cadute nella sola giornata del 22 (63 mm su 92); a dicembre la quasi totalità delle precipitazioni è caduta nella prima metà del mese, mentre la seconda metà è stata dominata da condizioni di blocco atmosferico e assenza di precipitazioni. I mesi caratterizzati da minori precipitazioni sono stati ottobre (2.8 mm) seguito da febbraio (7.4 mm), con scarti dell'ordine del -96% e -83% rispetto alla norma.

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 2021. Il confronto con l'anno precedente mostra un incremento delle precipitazioni nel 2022.

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). Inoltre tale scelta si può ricondurre anche alla definizione di "giorno critico per l'accumulo di PM₁₀" elaborata da Arpa-Servizio Idro Meteo Clima.

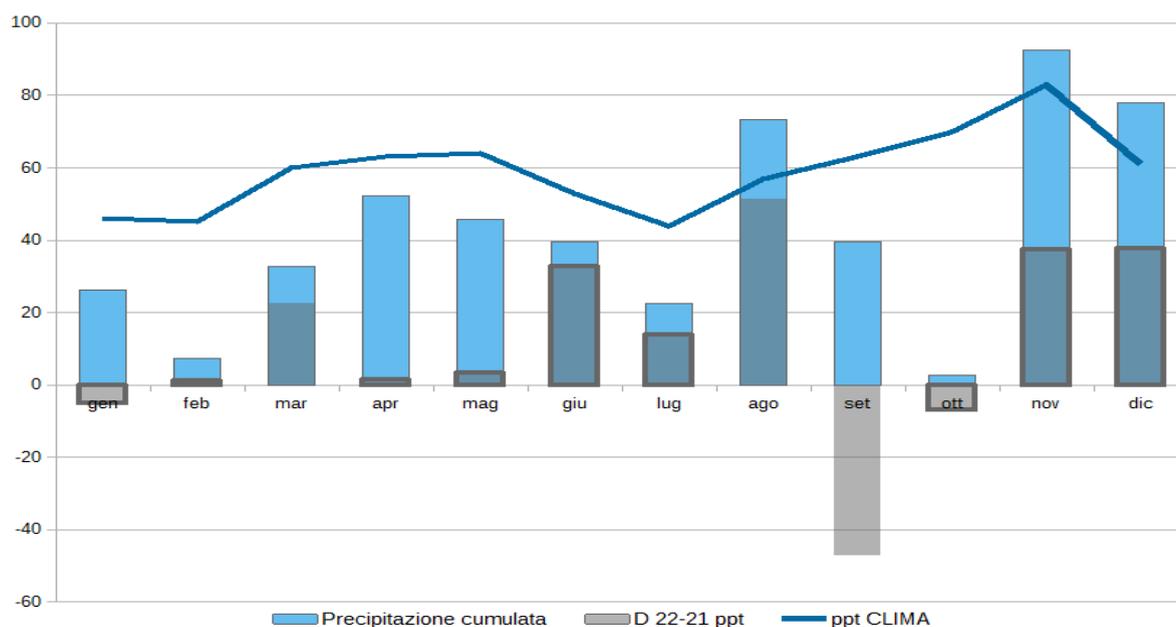


Figura 4 - San Pietro Capofiume: precipitazione cumulata mensile (mm)

Direzione e velocità del vento

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

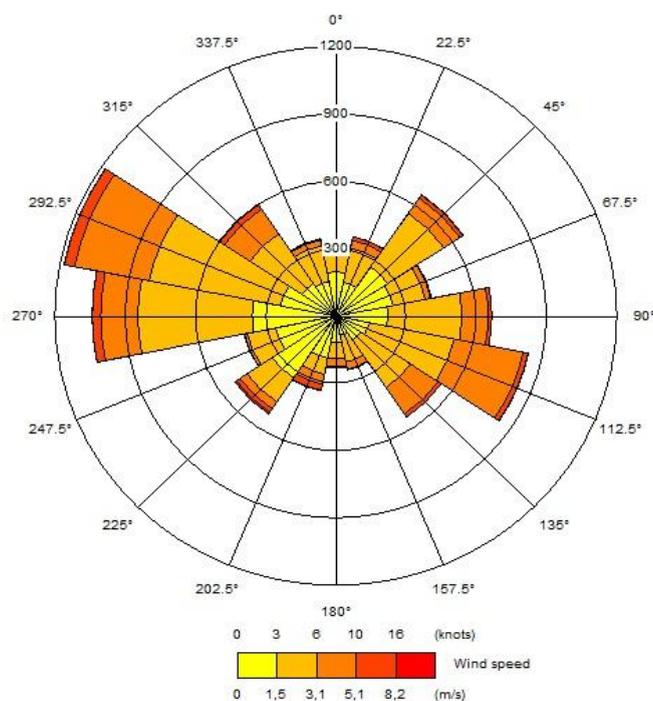


Figura 5 - San Pietro Capofiume: rosa dei venti, anno 2022

La rosa dei venti annuale riportata in Figura 5 costituisce la rappresentazione della distribuzione in frequenza delle classi di velocità media oraria del vento (m/s) per direzione di provenienza (°N) per il 2022. Si osserva una netta prevalenza delle classi di intensità relativamente modesta (con valori fino a 3m/s) con direzioni principali su base annuale nei quadranti nord occidentali e sud orientali. Le velocità maggiori provengono da Ovest Nord Ovest.

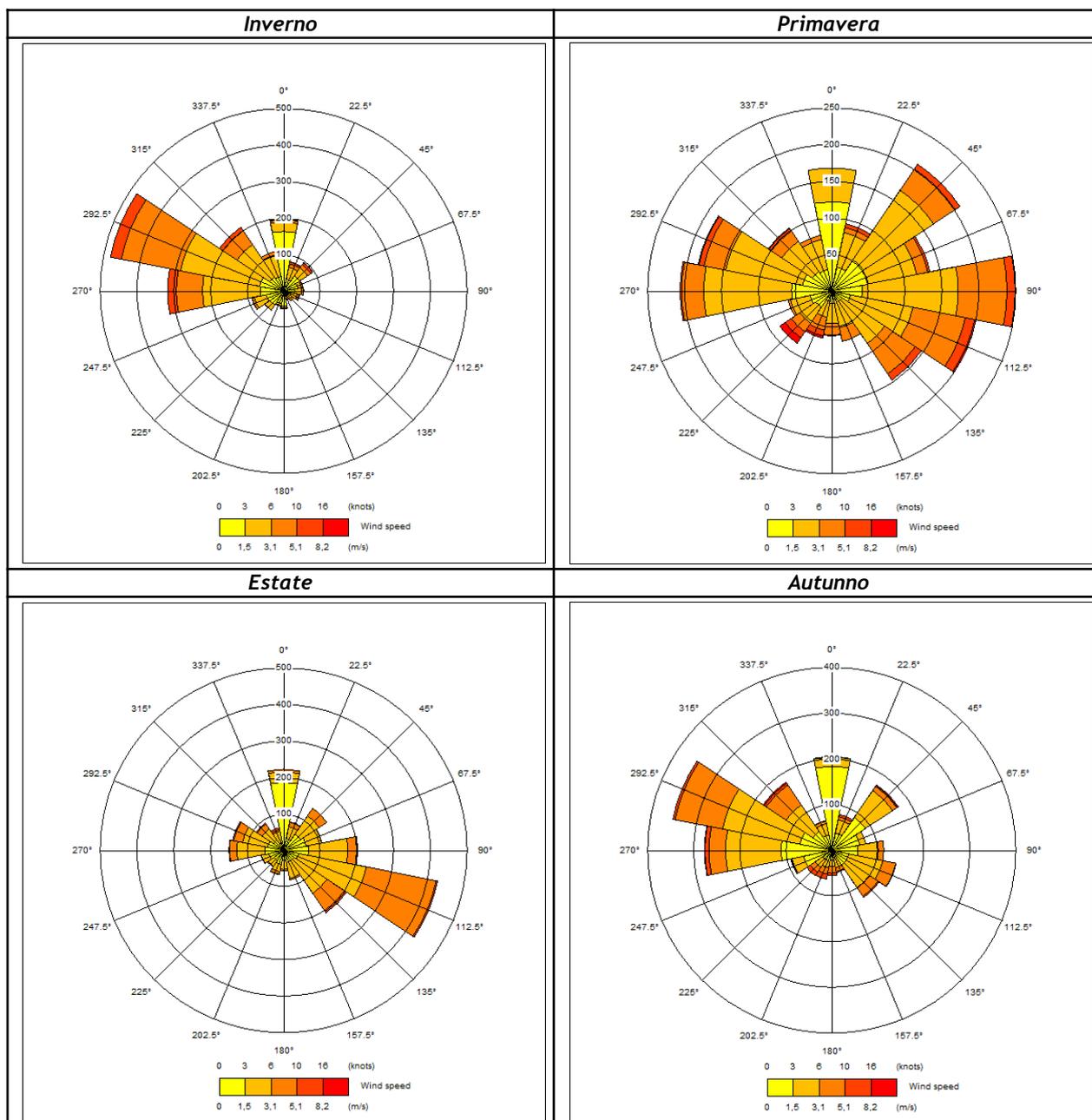


Figura 6 - San Pietro Capofiume: rose dei venti stagionali 2022

In Figura 6 vengono riportati gli andamenti dei profili anemometrici elaborati su base stagionale relativi all'anno 2022. Tale rappresentazione permette di evidenziare le diverse caratteristiche stagionali del periodo in esame. Nei mesi invernali (gen-feb-dic) prevalgono le direzioni tra Ovest e Nord Ovest e le velocità sono più frequentemente comprese entro i 3 m/s, seppur non manchino componenti di vento con velocità fino a 10.9 m/s.

In primavera (mar-apr-mag) si osserva una distribuzione più uniforme nella provenienza dei venti di cui le componenti principali risultano attestare da Est Nord Est e Ovest Nord Ovest e una maggior presenza di classi di velocità più elevate. Aumentano inoltre le componenti del primo quadrante con velocità comprese nell'intervallo 3 - 5 m/s.

Nei mesi estivi (giu-lug-ago) si contraggono notevolmente le direzioni del primo e quarto quadrante e i venti si dispongono principalmente dai quadranti sud occidentali a velocità mediamente più basse. Si osserva una dominante da Sud Est che diminuisce in autunno (set-ott-nov) a favore di una direttrice da Ovest e Nord Ovest e un incremento delle calme di vento.

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

Tra le varie classi, è prevalso nel 2022 il grado 2 "brezza leggera" (1,6-3,3 m/s), mentre il grado 1 "bava di vento" (0.3-1.5m/s) frequente in tutti i mesi ha presentato una occorrenza maggiore nel mese di ottobre. Data la posizione della stazione meteo ubicata in ambito rurale, quindi non influenzata dalla "geografia urbana", risultano popolate anche classi di vento superiori a 8 m/s fino al grado 6 (vento fresco) nei mesi invernali e autunnali, con punte decisamente positive ad aprile per il grado 5 (vento teso).

Il maggior numero di "calme" (<0,2 m/s) si è registrato nel mese di ottobre, ma risultano positivi anche gennaio, agosto e dicembre.

Termini descrittivi	Calma	Bava di vento	Brezza leggera	Brezza tesa	Vento moderato	Vento teso	Vento fresco	Vento forte	(omissis)
Grado Beaufort	0	1	2	3	4	5	6	7	...
m/s	0.0 - 0.2	0.3 - 1.5	1.6 - 3.3	3.4 - 5.4	5.5 - 7.9	8.0 - 10.7	10.8 - 13.8	13.9 - 17.1	...
GEN	0,3%	35,0%	46,7%	14,6%	3,2%	0,3%	0,0%	0,0%	...
FEB	0,0%	40,0%	43,9%	10,7%	5,1%	0,0%	0,2%	0,0%	...
MAR	0,1%	29,8%	56,1%	13,2%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	...
APR	0,0%	23,2%	45,5%	23,5%	5,1%	2,6%	0,0%	0,0%	...
MAG	0,0%	32,7%	55,4%	10,3%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	...
GIU	0,0%	43,1%	44,2%	12,5%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	...
LUG	0,0%	35,9%	48,4%	15,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	...
AGO	0,5%	34,8%	47,3%	15,6%	1,8%	0,0%	0,0%	0,0%	...
SET	0,1%	38,8%	44,7%	12,9%	3,1%	0,1%	0,1%	0,0%	...
OTT	1,1%	55,9%	34,4%	7,5%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	...
NOV	0,0%	35,2%	45,7%	15,6%	2,3%	1,0%	0,1%	0,0%	...
DIC	0,4%	42,0%	39,1%	16,3%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	...
ANNO	0,2%	37,2%	46,0%	14,1%	2,1%	0,3%	0,0%	0,0%	...

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

Tabella 3 - Distribuzione delle velocità del vento secondo la scala Beaufort, anno 2022

Altezza di rimescolamento

Lo strato di rimescolamento si estende dal suolo alla zona di inversione termica ed è lo strato all'interno del quale i moti turbolenti di origine sia termica (legati al riscaldamento della superficie) che meccanica (legati all'azione del vento) pilotano la dispersione degli inquinanti. In linea generale un maggiore spessore di tale strato indicherà un più efficace rimescolamento in verticale e quindi una minore concentrazione misurata al suolo.

L'altezza dello strato di rimescolamento è soggetta a variazioni giornaliere e stagionali, dipendendo dal ciclo radiativo del suolo e dalle condizioni meteorologiche. In Figura 7 sono

riportati gli andamenti medi sulle 24 ore dell'altezza di rimescolamento (m) tipici delle varie stagioni.

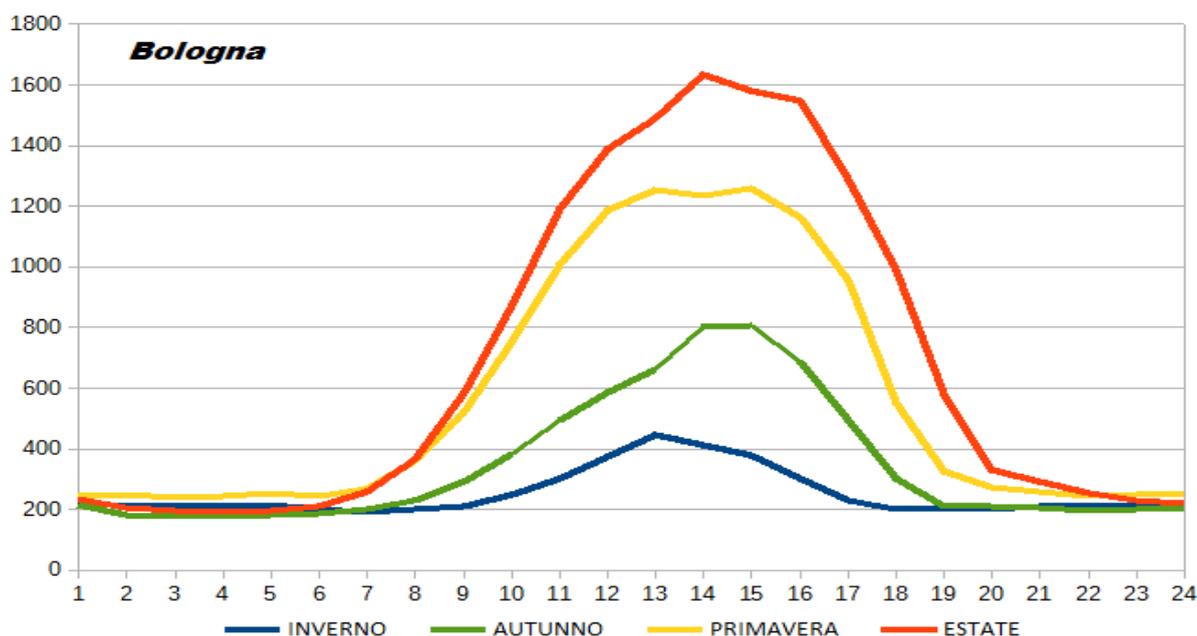


Figura 7 - Bologna: altezza di rimescolamento (m), giorno tipo stagionale

Si osserva un innalzamento a partire dalle prime ore del mattino (più tardi e più gradualmente in inverno, più rapidamente in estate) fino a raggiungere il valore massimo nel pomeriggio, nella fascia oraria dalle 13 alle 15. Segue una diminuzione all'approssimarsi delle ore serali (molto più rapida e più tardi 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 arriva al massimo fino a circa 450 m nei mesi invernali e a valori oltre i 1600 m in estate, in concomitanza con la maggiore occorrenza di condizioni instabili. I valori notturni sono confrontabili nelle varie stagioni (attorno a 200m).

Stabilità atmosferica

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

Viene solitamente utilizzata una classificazione semplificata di tipo qualitativo, detta 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 stabile.

Tendenzialmente si osserva la presenza di condizioni stabili (classe F) 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 persiste 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 caratterizzano solo le prime ore del mattino e si re-instaurano la sera.

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

LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2022

L'esame dei dati rilevati nell'anno 2022 dalle stazioni della rete di monitoraggio sul territorio provinciale di Bologna, è stato affrontato riferendosi ai valori limite e valori obiettivo definiti dalla normativa nazionale vigente, utilizzando tabelle ed elaborati grafici relativi sia al periodo di osservazione sia agli andamenti temporali almeno degli ultimi dieci anni.

Per ogni inquinante monitorato sono riportati:

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

Nella tabella riassuntiva iniziale sono indicati in arancione i superamenti del valore limite annuale e in grigio i casi con una percentuale di dati validi su base annua inferiore al 90% (valore minimo richiesto dalla normativa per la rappresentatività dei dati). 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 che può essere misurata).

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

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

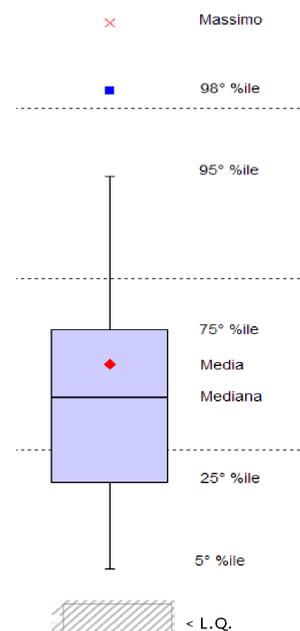


Figura 8 - Box-plot

Per gli inquinanti quali NO₂, O₃, C₆H₆ sono mostrati i grafici inerenti gli 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, ed ha lo scopo di evidenziare i comportamenti ricorrenti; si ottiene mediando i valori di concentrazione rilevati alla medesima ora nel periodo considerato

(tutti gli orari sono indicati in ora solare). Nella distinzione tra giorni tipo estivi e invernali, se non diversamente specificato, la stagione estiva è stata rappresentata mediante i dati dei mesi di giugno, luglio e agosto, mentre la stagione invernale è stata rappresentata dai dati dei mesi di gennaio, febbraio e dicembre.

Per ciascun inquinante è inoltre riportata la serie storica dei valori medi annuali a partire dal 2013.

Per PM_{10} e O_3 , parametri maggiormente soggetti a superamenti dei limiti normativi, è stato confrontato l'andamento negli anni del numero di giorni critici (favorevoli all'accumulo degli inquinanti al suolo) con quello degli effettivi superamenti del valore obiettivo per la media oraria (per O_3) o del valore limite per la media giornaliera (per PM_{10}).

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 4 viene riportata per ciascuna stazione e ciascun analizzatore l'efficienza percentuale raggiunta nel 2022. Tutti gli analizzatori hanno raggiunto la copertura di almeno il 90% dei dati annuali previsti dalla normativa.

STAZIONE	NO_2	CO	PM_{10}	$PM_{2,5}$	O_3	C_6H_6
Bologna - Porta San Felice	99,6%		98,1%	98,6%	-	
San Lazzaro di Savena	98,9%	-	92,9%	-	-	-
Bologna - Giardini Margherita	98,4%	-	97,5%	97,8	100%	-
Bologna - Chiarini	99,1%	-	98,9%	-	100%	-
Imola - De Amicis	98,3%	-	96,4%	-	-	-
Molinella - San Pietro Capofiume	96,0%	-	97,0%	97,0	100%	-
Porretta Terme - Castelluccio	91,9%	-	93,2%	95,1	100%	-

Tabella 4 - Rendimenti % annuali degli analizzatori della rete - anno 2022

BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO

Cosa sono

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

Come si originano

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

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

NO ₂ anno 2022 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8721	<8	37	39	66	75	86	121
GIARDINI MARGHERITA	8622	<8	15	18	38	43	48	69
CHIARINI	8685	<8	13	16	33	38	45	78
SAN LAZZARO DI SAVENA	8667	<8	22	25	45	54	65	103
DE AMICIS	8611	<8	17	20	38	45	53	84
SAN PIETRO CAPOFUME	8409	<8	11	13	28	32	37	67
CASTELLUCCIO	8050	<8	<8	<8	<8	9	12	26
VALORE LIMITE		media annuale		40	µg/m ³			

Tabella 5 - Biossido di azoto: Parametri statistici relativi all'anno 2022

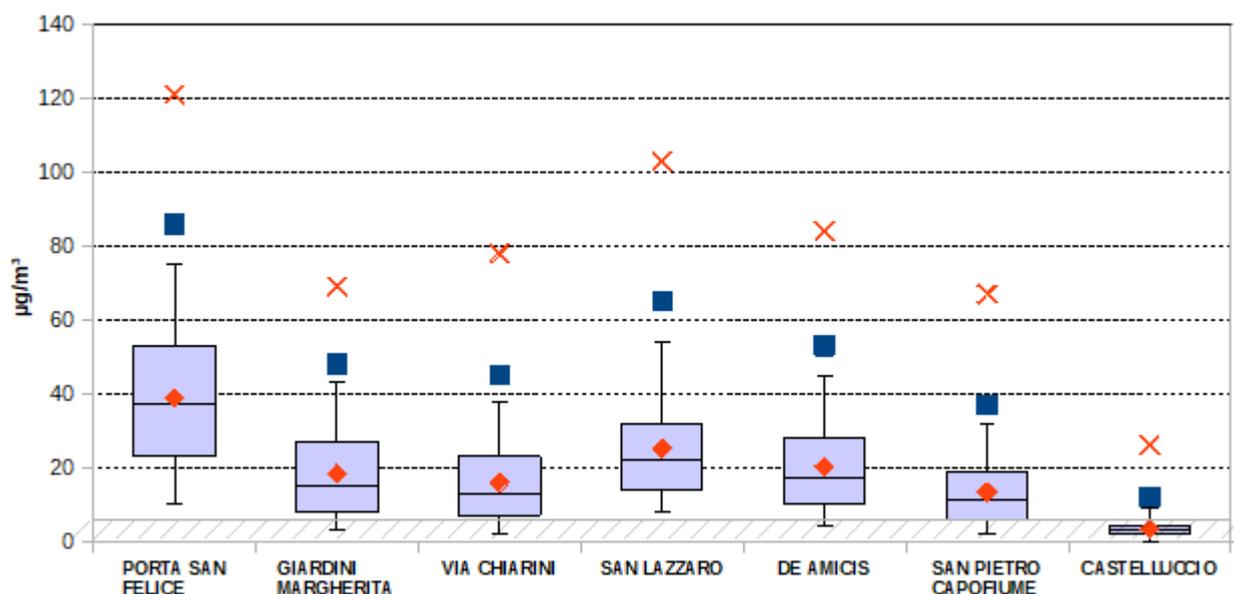


Figura 9 - NO₂ : Box Plot delle statistiche annuali 2022

Nel 2022, per la prima volta da quando esiste la rete di monitoraggio e in un anno in cui non si sono manifestate emergenze tali da portare l'adozione di misure straordinarie per la popolazione (come invece avvenne ad esempio nel 2020 per il contenimento del virus Sars-CoV2), su tutte le stazioni dell'area metropolitana di Bologna, compresa la stazione da traffico di Porta San Felice, è stato rispettato il valore limite annuale previsto dalla normativa e pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabella 5).

Come si può osservare dal grafico in Figura 11, tutte le stazioni presentano distribuzioni statistiche dei dati non troppo dissimile tra loro, con le eccezioni di Porta San Felice (stazione urbana da traffico, quindi maggiormente soggetta a importanti oscillazioni nei valori di concentrazione legate al contributo del flusso veicolare) e Castelluccio; quest'ultima, situata in un sito remoto sull'Appennino, presenta spesso concentrazioni orarie al di sotto del limite di quantificazione per il biossido di azoto, da cui risulta una dispersione dei valori molto più contenuta.

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

L'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2022 (Tabella 6 e Figure 10 e 11) permette di evidenziare, sia per le stazioni dell'Agglomerato che per quelle della Pianura, la presenza di un andamento legato alla stagionalità: si osserva infatti un incremento dei valori nei mesi più freddi dell'anno, quando tipicamente l' NO_2 raggiunge le concentrazioni più elevate anche a causa del funzionamento degli impianti di riscaldamento che ne incrementano la sintesi; mentre nei mesi più caldi, il biossido di azoto viene non solo disperso più efficacemente dalle correnti ascensionali ma viene anche rimosso dall'atmosfera per l'instaurarsi di reazioni fotochimiche concorrenti che risultano favorite dalla maggiore intensità delle radiazioni ultraviolette e che portano alla formazione di altri composti che entrano in gioco nei processi di formazione di ozono nella troposfera.

Per quanto concerne le stazioni dell'Agglomerato, i valori medi mensili più elevati di biossido di azoto sono stati registrati dalla stazione di Porta San Felice, in particolare nel mese di gennaio.

NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	62	57	53	30	26	25	26	20	31	40	50	51
GIARDINI MARGHERITA	33	28	23	13	11	10	9	9	10	15	28	33
CHIARINI	31	24	19	8	9	9	9	9	11	16	21	25
SAN LAZZARO DI SAVENA	45	39	36	22	18	17	16	14	17	23	27	28
IMOLA - DE AMICIS	32	28	26	17	13	12	11	12	14	19	28	31
SAN PIETRO CAPOFIUME	28	18	15	< 8	9	11	< 8	< 8	< 8	10	19	22
CASTELLUCCIO	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 6 - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2022

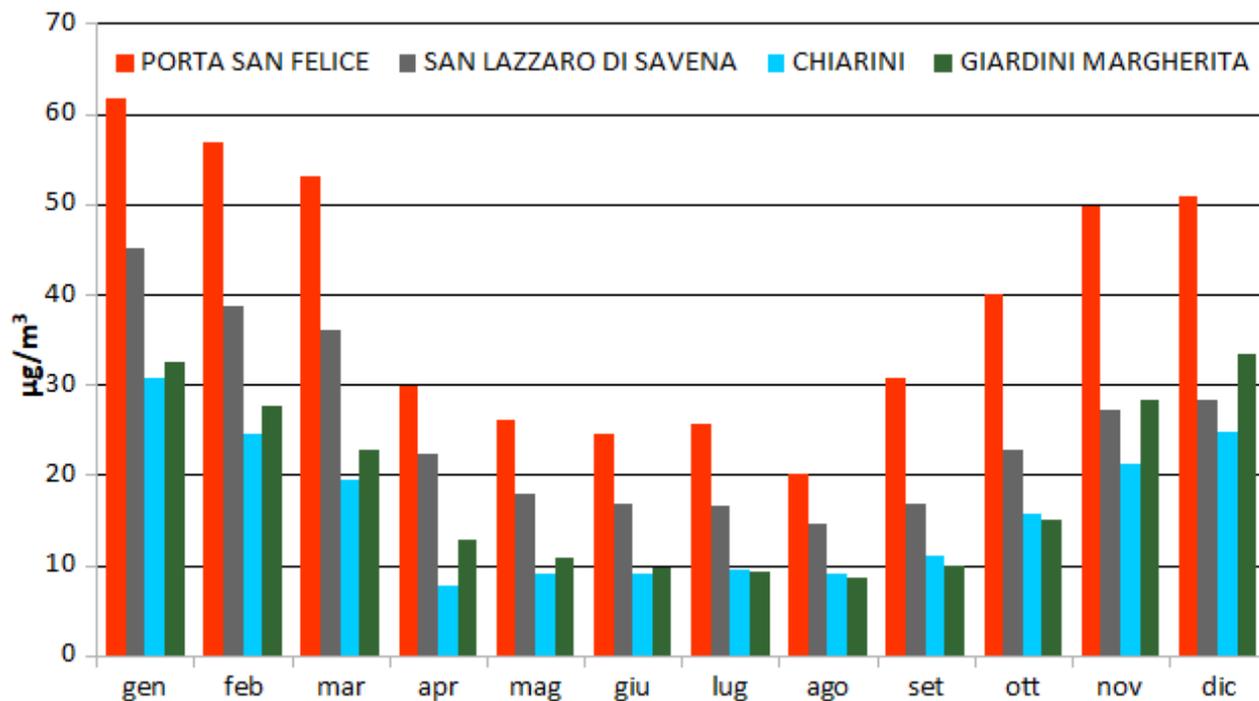


Figura 10 - Agglomerato - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2022

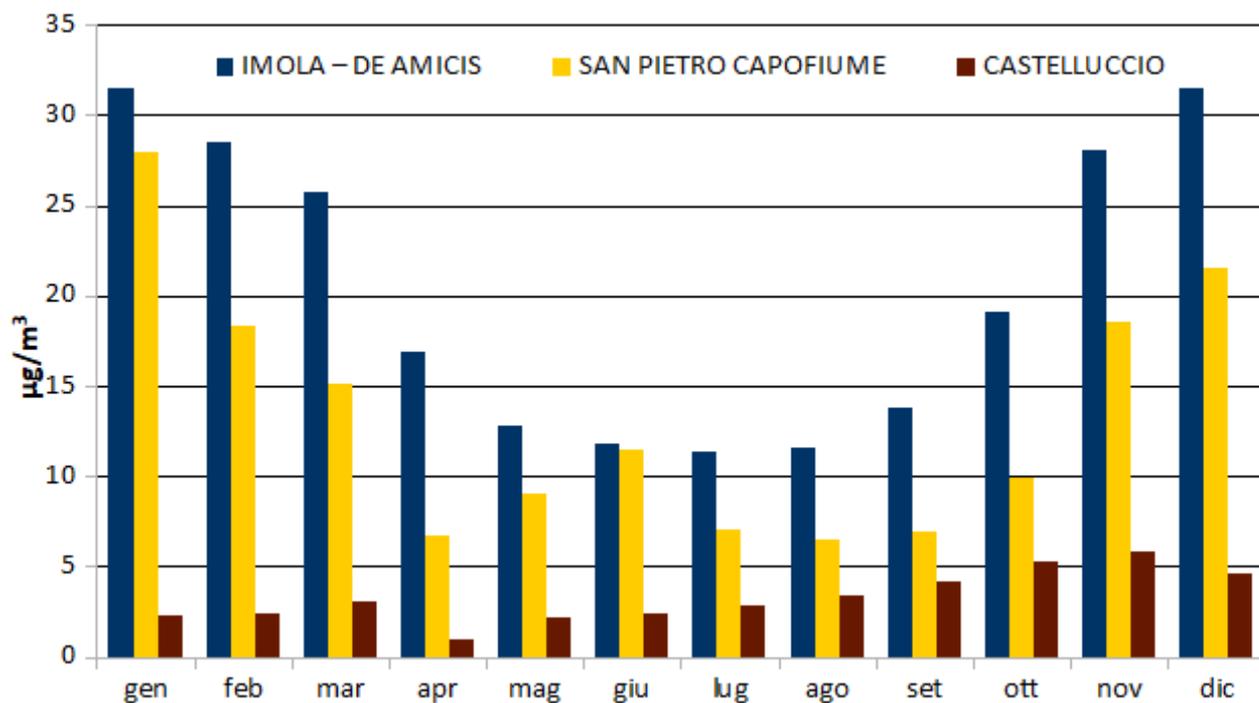
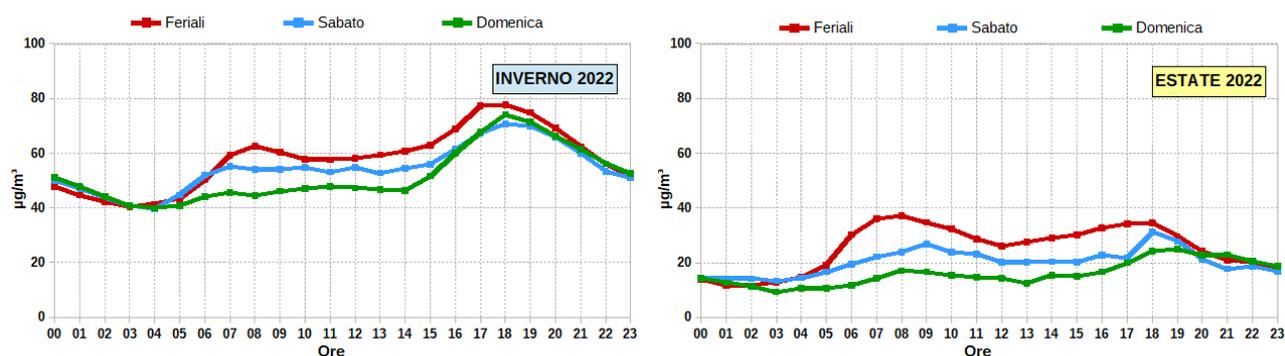
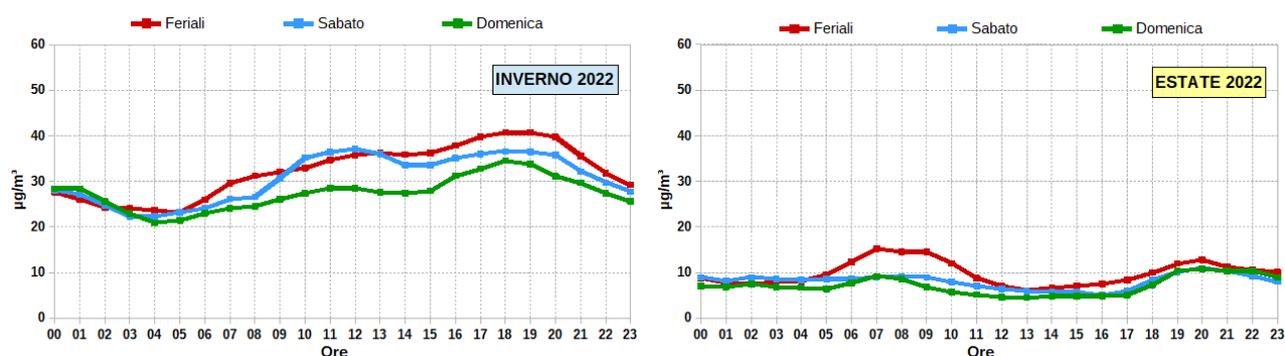


Figura 11 - Pianura e Appennino - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2022

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


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

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

L'andamento delle concentrazioni del giorno tipo mostra una certa dipendenza dai flussi veicolari, osservabile in entrambe le stazioni seppur molto più accentuata per Porta San Felice. Le concentrazioni più elevate infatti, si registrano in corrispondenza delle ore di punta del traffico (dalle 7 alle 9 e dalle 17 alle 19). In estate si osservano le concentrazioni minime nelle ore centrali delle giornate estive, sia per effetto delle reazioni fotochimiche, 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 ₂ (µg/m ³) – Medie annuali 2013 – 2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PORTA SAN FELICE	54	54	61	52	46	49	46	38	43	39
SAN LAZZARO DI SAVENA	39	26	28	29	25	25	21	23	24	25
GIARDINI MARGHERITA	25	38	38	31	25	22	21	17	17	18
CHIARINI	24	26	26	26	20	23	25	20	19	16
IMOLA - DE AMICIS	27	25	29	24	25	25	24	27	26	20
SAN PIETRO CAPOFUME	15	14	15	14	13	12	15	15	12	13
CASTELLUCCIO	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<8	<8	<8

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

 Tabella 7 - NO₂: Andamento temporale delle medie annuali

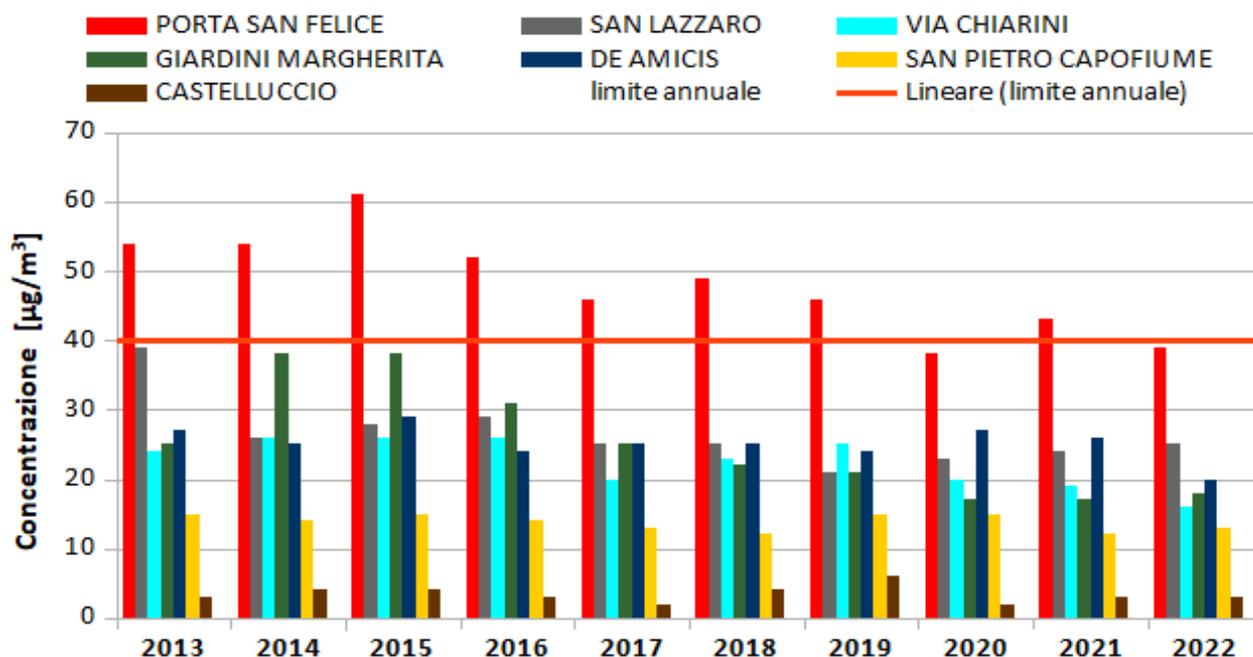


Figura 14 - NO₂ Confronto medie annuali 2013-2022

In Tabella 7 e nella successiva Figura 14 sono riportati i valori delle medie annuali rilevate a partire dal 2013 e per le quali siano presenti almeno il 90% dei dati orari dell'anno.

Come già accennato, l'analisi della serie storica degli ultimi dieci anni di dati evidenzia, per la stazione di Porta San Felice, una tendenza alla riduzione della concentrazione media annuale, a partire dal 2015, pur con episodi di occasionali incrementi. Per la maggior parte delle altre stazioni si osserva un analogo andamento, con l'eccezione di San Lazzaro, per la quale le medie annuali risultano in lieve incremento nell'ultimo quadriennio, e di San Pietro Capofiume e Giardini Margherita che negli ultimi 3 anni vedono una sostanziale costanza del valore annuale.

Il Decreto Legislativo del 13 agosto 2010 n.155 stabilisce inoltre il livello critico per la protezione della vegetazione per la concentrazione nell'aria ambiente di ossidi di azoto, NO_x, fissato in 30 µg/m³ come valore medio annuo. La normativa pone questo limite unicamente per le stazioni ubicate ad oltre 20 km dalle aree urbane e ad oltre 5 km da altre zone edificate, impianti industriali, autostrade o strade di grande comunicazione. Nel territorio della Città Metropolitana di Bologna, questo criterio è soddisfatto solo per le stazioni della rete di San Pietro Capofiume (Molinella) e Castelluccio (Alto Reno Terme). In Tabella 8 sono riportati i valori calcolati della grandezza in oggetto per queste due stazioni di fondo. Come si può osservare, in entrambi i casi il livello critico annuale fissato dalla normativa viene rispettato.

NO _x anno 2022 – Concentrazioni in µg/m ³		
Stazione	N. dati validi	MEDIA
SAN PIETRO CAPOFIUME	8409	21
CASTELLUCCIO	8050	< 8
LIVELLO CRITICO	Media annuale	30 µg/m ³

Tabella 8 - Protezione della Vegetazione: NO_x Media annuale 2022

OZONO

Che cos'è

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

Come si origina

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

O ₃ anno 2022 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	8680	< 8	46	51	108	124	141	193
VIA CHIARINI	8583	< 8	40	47	107	125	142	195
SAN PIETRO CAPOFUME	8529	< 8	46	55	114	126	139	180
CASTELLUCCIO	8477	< 8	43	45	72	81	93	133

Tabella 9 - Ozono: Parametri statistici - anno 2022

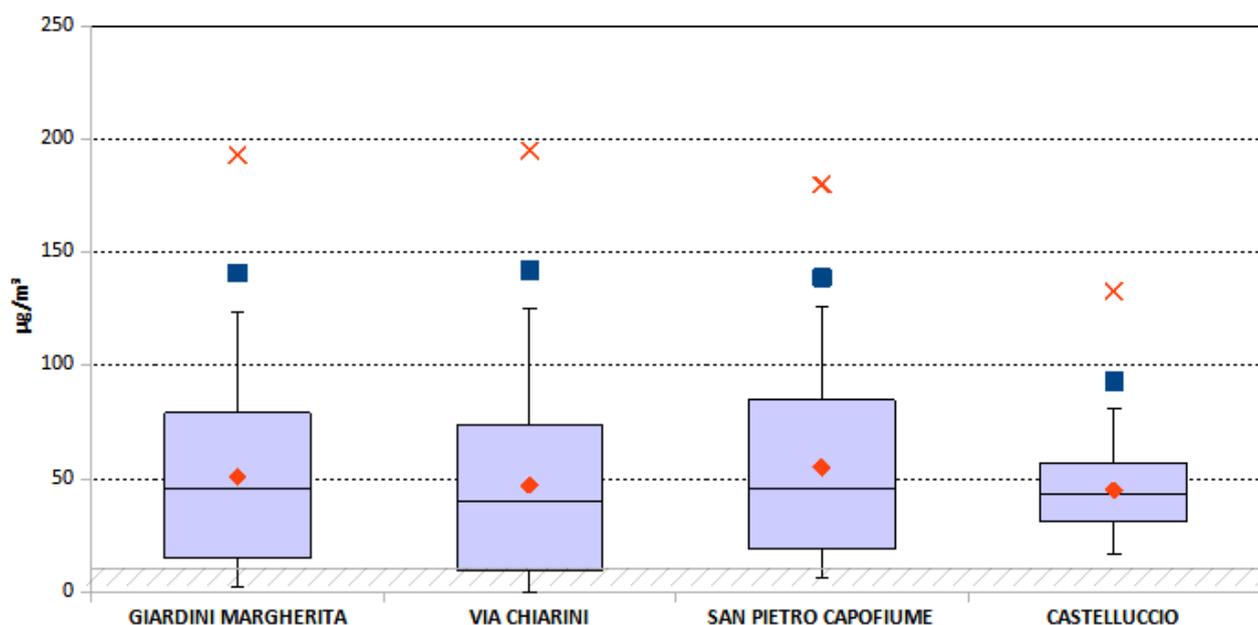


Figura 15 - O₃ : Box Plot delle statistiche annuali 2022

Il box plot (Figura 15) evidenzia che per Castelluccio, la distribuzione dei dati risulta più concentrata attorno al valore mediano rispetto alle altre stazioni, per le quali si osservano distribuzioni che coprono un più ampio intervallo di valori, ad indicare una concentrazione mediamente costante durante l'anno rispetto alle rimanenti stazioni.

Dall'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2022 (Figura 16 e Tabella 10) è possibile mettere in evidenza l'andamento stagionale dell'ozono, simile in quasi tutte le

stazioni in cui questo parametro è stato rilevato (stazioni di fondo). I valori medi mensili più elevati sono stati registrati tra luglio e agosto per le stazioni poste in pianura, con una crescita più graduale nella transizione inverno-estate ed un rapido calo nel passaggio estate-inverno. A Castelluccio, stazione dell'Appennino, i valori di O₃ presentano, come già visto, una minore variabilità, con concentrazioni relativamente alte (nel confronto con le altre stazioni) anche nei mesi invernali e primaverili di inizio anno.

Rispetto ai precedenti dodici mesi, non si osservano sostanziali modifiche negli andamenti stagionali dei livelli di concentrazione medie mensili di questo inquinante.

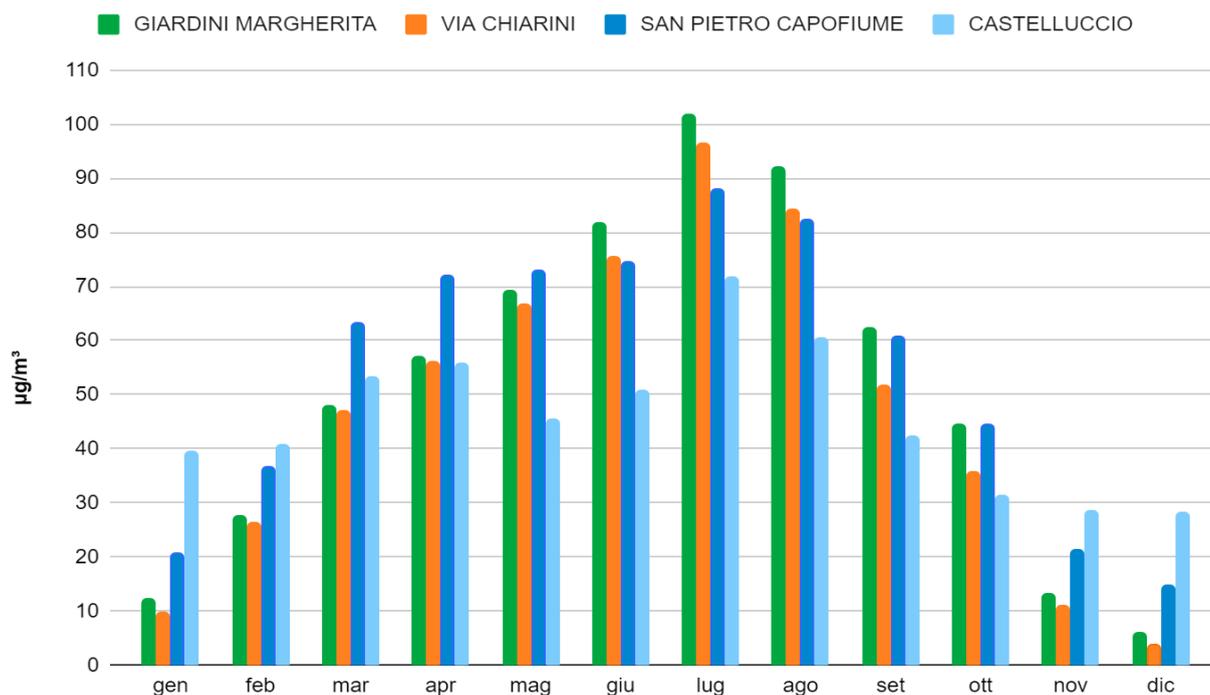


Figura 16 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2022

O ₃ (µg/m ³) - Medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	12	27	48	57	69	82	102	92	62	44	13	< 8
VIA CHIARINI	9	26	47	56	67	75	96	84	52	36	11	< 8
SAN PIETRO CAPOFIUME	20	37	63	72	73	74	88	82	61	44	21	15
CASTELLUCCIO	39	40	53	55	45	51	72	60	42	31	28	28

Tabella 10 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2022

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

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

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

Secondo la normativa il calcolo del numero di superamenti nell'anno richiede una percentuale del 90% di dati validi per cinque mesi su sei nel periodo da aprile a settembre, condizione verificatasi per tutte le stazioni della Rete nell'anno in esame. In Tabella 11 sono riportate le ore di superamento per la soglia di informazione con un dettaglio mensile.

O ₃ anno 2022 - Numero ore di superamento soglia di informazione (180 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2022
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	7
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
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 11 - Ozono: Superamenti soglia di informazione - anno 2022

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

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

O ₃ anno 2022 - Numero giorni di superamento valore obiettivo (120 µg/m ³)		
Stazione	<i>media su 3 anni</i>	
GIARDINI MARGHERITA	41	
VIA CHIARINI	43	
SAN PIETRO CAPOFIUME	50	
CASTELLUCCIO	3	
LIMITE NORMATIVO	N° max sup.	25

 > del valore limite

Tabella 12 - Ozono: Superamenti valore obiettivo per la salute umana - anno 2022

In Tabella 12 è riportato il numero di superamenti del valore obiettivo per l'anno 2022, 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.

Il numero di superamenti riferiti all'ultimo anno è invece riportato in Tabella 13.

O ₃ anno 2022 - Numero giorni di superamento obiettivo a lungo termine (120 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2022
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	2	10	25	17	2	0	0	0	56
VIA CHIARINI	0	0	0	0	5	9	22	16	2	0	0	0	54
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	3	2	10	12	24	18	2	0	0	0	71
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 13 - Ozono: Superamenti obiettivo a lungo termine per la salute umana - anno 2022

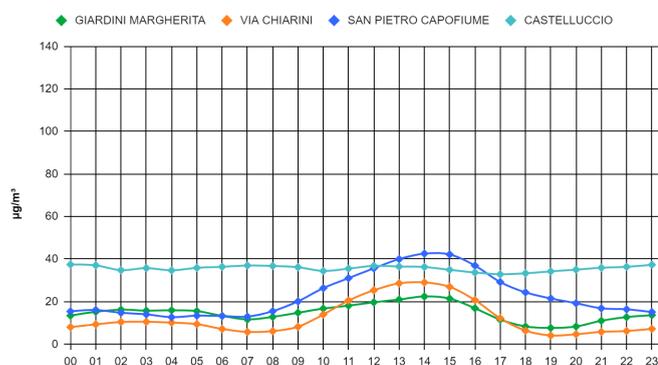
Le rappresentazioni del giorno tipo stagionale (Figura 17) evidenziano per l'estate un andamento che segue il processo di formazione dell'inquinante: con livelli più elevati nelle ore centrali della giornata, che sono quelle caratterizzate da maggiore intensità della radiazione solare. In tale periodo, per le stazioni della pianura (con l'eccezione quindi di quella di Castelluccio), i valori più elevati di concentrazione per le diverse stazioni non si discostano molto tra loro, indipendentemente dalle differenti tipologie di contesto (fondo urbano, suburbano o rurale).

Nel periodo invernale invece, l'andamento orario dei livelli di ozono nella giornata tipo, pur presente, è nettamente meno marcato rispetto all'estate, con la stazione di Castelluccio (fondo remoto) che, in questo caso, presenta livelli di concentrazione orari quasi sempre superiori a quelli delle altre stazioni.

In generale, le concentrazioni di ozono, composto molto reattivo e tipico inquinante secondario, possono essere influenzate dalle dinamiche di trasporto e degradazione dei precursori verso le aree rurali che, come si può osservare nel diagramma relativo al periodo invernale, possono così trovarsi ad essere interessate da livelli più elevati rispetto alle aree urbane vicine. Inoltre, soprattutto in presenza di basse intensità di radiazione solare, una parte dell'ozono viene eliminato per reazione con gli ossidi di azoto; 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.

Come già visto negli scorsi anni, una ulteriore, considerazione che si può fare sulla stazione di Castelluccio, alla luce delle giornate tipo elaborate, è che gli andamenti orari appaiono molto più costanti e meno dissimili nei valori, rispetto a quanto accade nelle altre stazioni; questo probabilmente a causa delle diverse condizioni ambientali che si trovano in quota sull'Appennino (la stazione di Castelluccio è posta a circa 900 metri s.l.m.) rispetto a quanto avviene per le centraline della pianura.

INVERNO



ESTATE

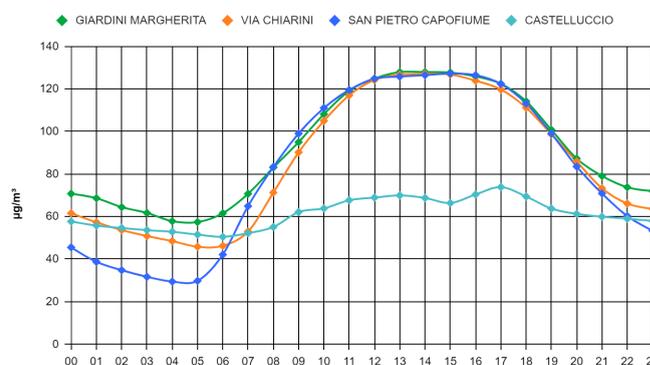


Figura 17 - Ozono: Giorno tipo invernale ed estivo

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

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

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

Per il 2022 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 14).

O₃ anno 2022 - Valori AOT40 (concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)			
Stazione	n.datì validi	AOT stimato	media ultimi 5 anni
VIA CHIARINI	1094	31342	24132
SAN PIETRO CAPOFIUME	1097	35156	26559
CASTELLUCCIO	1076	2955	4366
RIFERIMENTI NORMATIVI	<i>90% dati orari nel periodo di tempo definito per il calcolo</i>	<i>Obiettivo a lungo termine</i> 6000	<i>Valore obiettivo</i> 18000

 > del valore limite

Tabella 14 - Protezione della Vegetazione: AOT40 anno 2022

In Tabella 15 e Tabella 16 sono riportate le serie storiche dal 2013 al 2022 dei superamenti rispettivamente della soglia di informazione e dell'obiettivo a lungo termine. Dai valori disponibili non si evince un trend specifico sul lungo periodo per i due indicatori.

O₃ soglia di informazione - Numero ore di superamento media oraria ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2013-2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
GIARDINI MARGHERITA	74	15	7	9	15	0	18	0	0	7
VIA CHIARINI	26	6	35	9	29	0	25	6	0	5
SAN PIETRO CAPOFIUME	4	0	0	4	0	0	2	0	3	0
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0

 numero di mesi estivi validi < 5

Tabella 15 - O₃: Andamento temporale dei superamenti della soglia di informazione

O ₃ obiettivo a lungo termine - Numero giorni di superamento max media oraria 8h (120 µg/m ³) 2013-2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
GIARDINI MARGHERITA	75	44	40	45	52	39	59	33	34	56
VIA CHIARINI	52	25	55	46	51	39	60	34	42	54
SAN PIETRO CAPOFIUME	40	16	36	45	15	45	51	26	52	71
CASTELLUCCIO	5	2	14	1	11	0	5	0	8	0

numero di mesi estivi validi < 5

Tabella 16 - O₃: Andamento temporale dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine

In Figura 18 invece sono riportate le serie annuali dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine, confrontati con la stima del numero di giorni meteorologicamente favorevoli alla formazione di ozono, definiti come le giornate in cui la temperatura massima supera i 29°C. Dal punto di vista qualitativo si osserva un andamento spesso concorde fra le due grandezze ma non per tutte le stazioni, a conferma di come la formazione dell'ozono sia governata sia dalle condizioni meteorologiche che dalla collocazione territoriale delle stazioni monitorate. Per il 2022 comunque, rispetto all'anno precedente, all'aumento del numero di giorni potenzialmente critici per i livelli di ozono ha fatto seguito (ad eccezione della stazione di fondo remoto di Castelluccio) anche un generale incremento del numero di superamenti delle soglie normative.

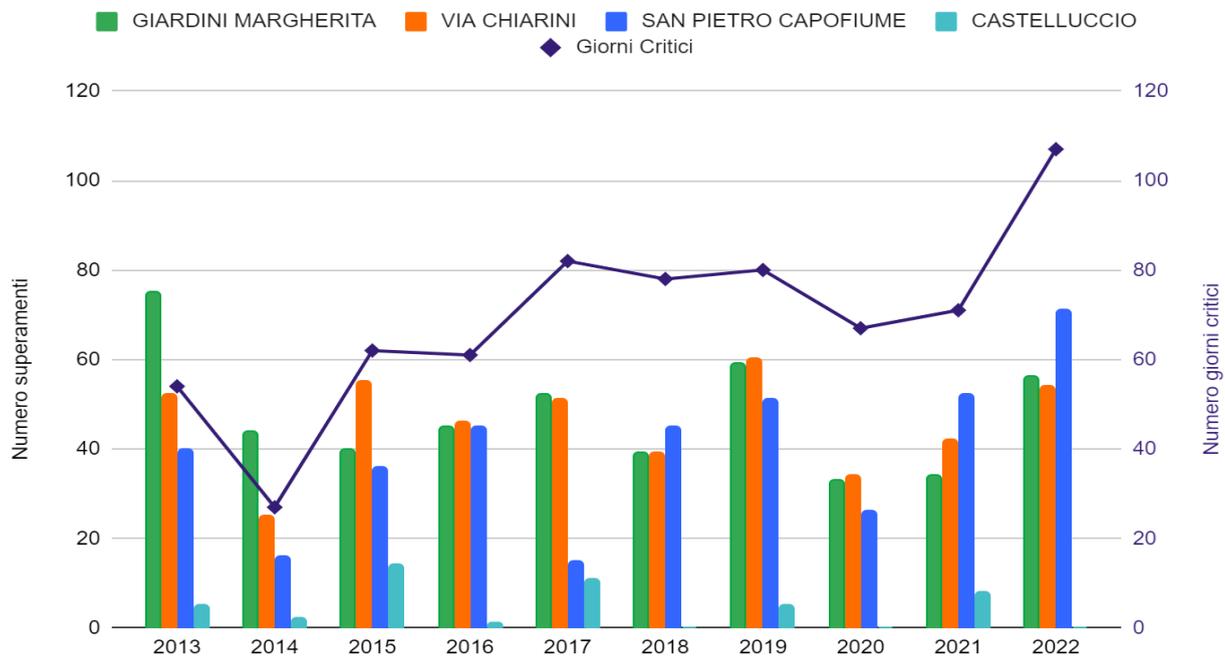


Figura 18 - O₃ Confronto superamenti obiettivo a lungo termine e numero stimato di giorni critici

PARTICOLATO PM10

Che cos'è

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

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

Come si origina

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

PM ₁₀ anno 2022 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	358	6	23	27	49	57	69	85
SAN LAZZARO DI SAVENA	339	<3	22	27	47	58	64	80
GIARDINI MARGHERITA	356	3	20	23	42	53	63	74
CHIARINI	361	<3	21	24	44	53	63	70
DE AMICIS	352	6	22	26	44	54	66	86
SAN PIETRO CAPOFIUME	354	<3	20	23	42	47	57	72
CASTELLUCCIO	340	<3	10	11	20	25	27	39
VALORE LIMITE		media annuale		40	µg/m ³			

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

Tabella 17 - Particolato PM₁₀: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

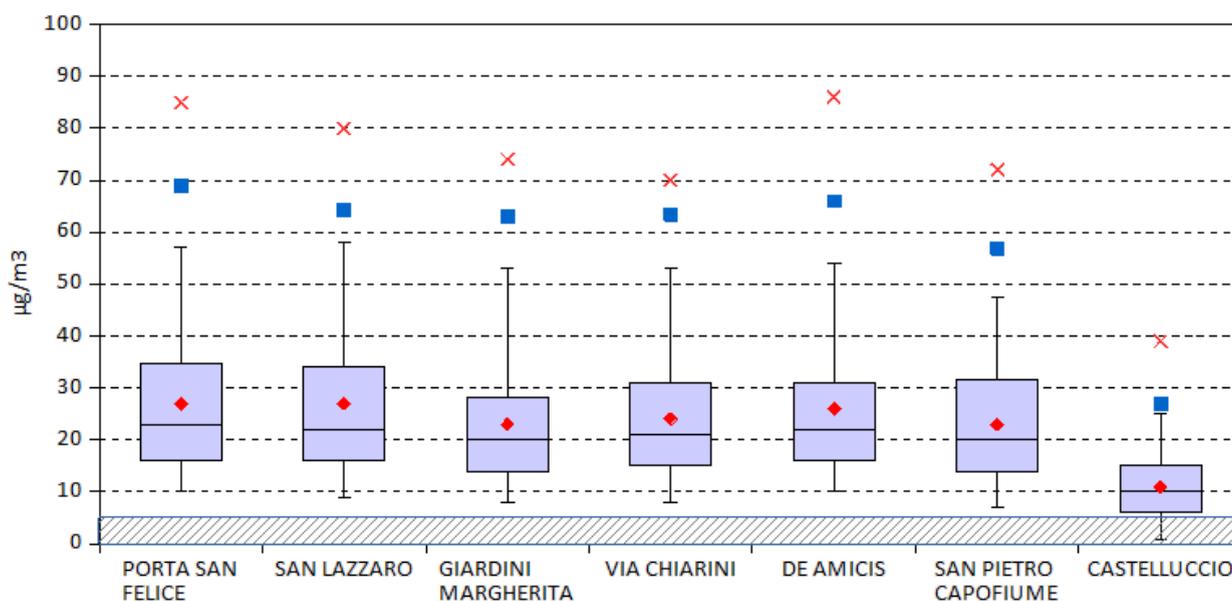


Figura 19 - PM10 : Box Plot delle statistiche annuali 2022

La valutazione delle concentrazioni estesa all'intero anno (Tabella 17), mostra che nel 2022 le medie annuali ottenute non superano il valore limite di 40 µg/m³ in nessuno dei siti di misura, inclusa la stazione da traffico di Porta San Felice nell'agglomerato di Bologna.

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

Nella seguente Tabella 18 sono riepilogati i dati relativi alle medie mensili per l'anno 2022.

PM ₁₀ (µg/m ³) - Medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	44	37	33	17	22	23	20	14	14	32	32	39
SAN LAZZARO DI SAVENA	46	39	34	15	20	25	20	16	15	31	30	32
GIARDINI MARGHERITA	37	30	28	12	17	22	18	13	13	27	29	33
CHIARINI	33	30	33	13	20	22	19	15	14	32	31	34
IMOLA - DE AMICIS	40	34	31	15	20	24	22	16	15	29	28	37
SAN PIETRO CAPOFUME	35	28	34	12	19	21	18	14	12	31	28	30
CASTELLUCCIO	6	7	18	8	13	16	14	11	8	18	5	5

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 18 - PM10 Concentrazioni medie mensili 2022

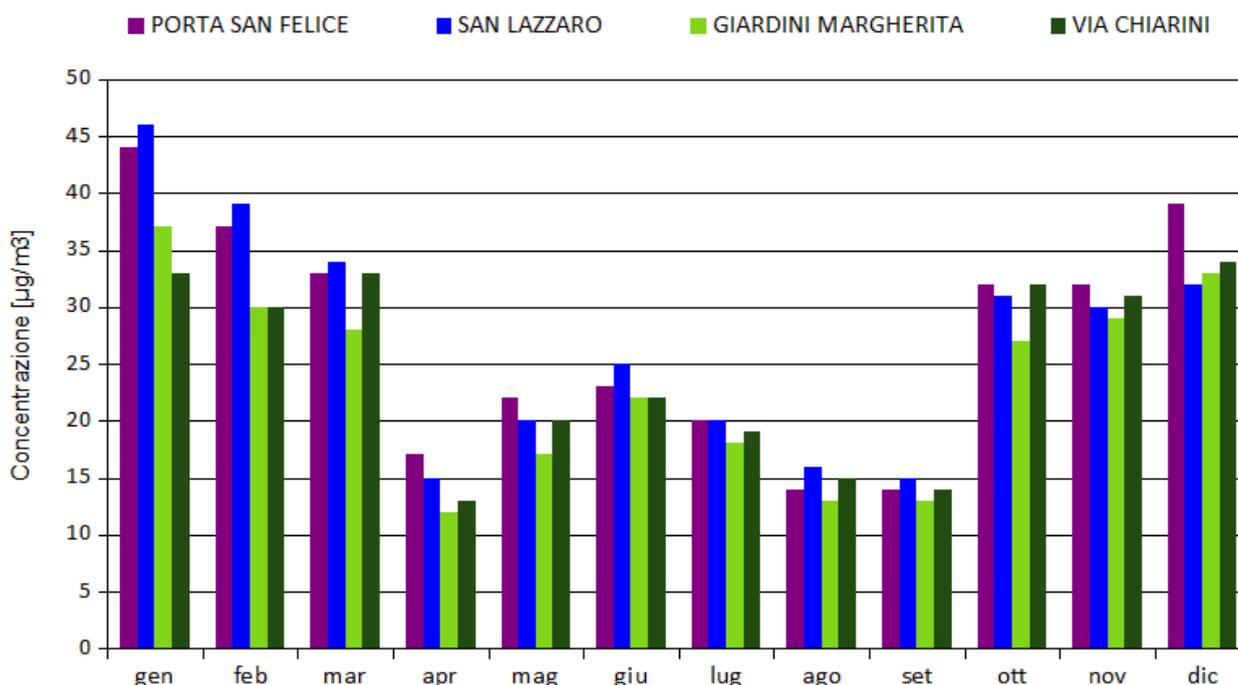


Figura 20 - Agglomerato - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2022

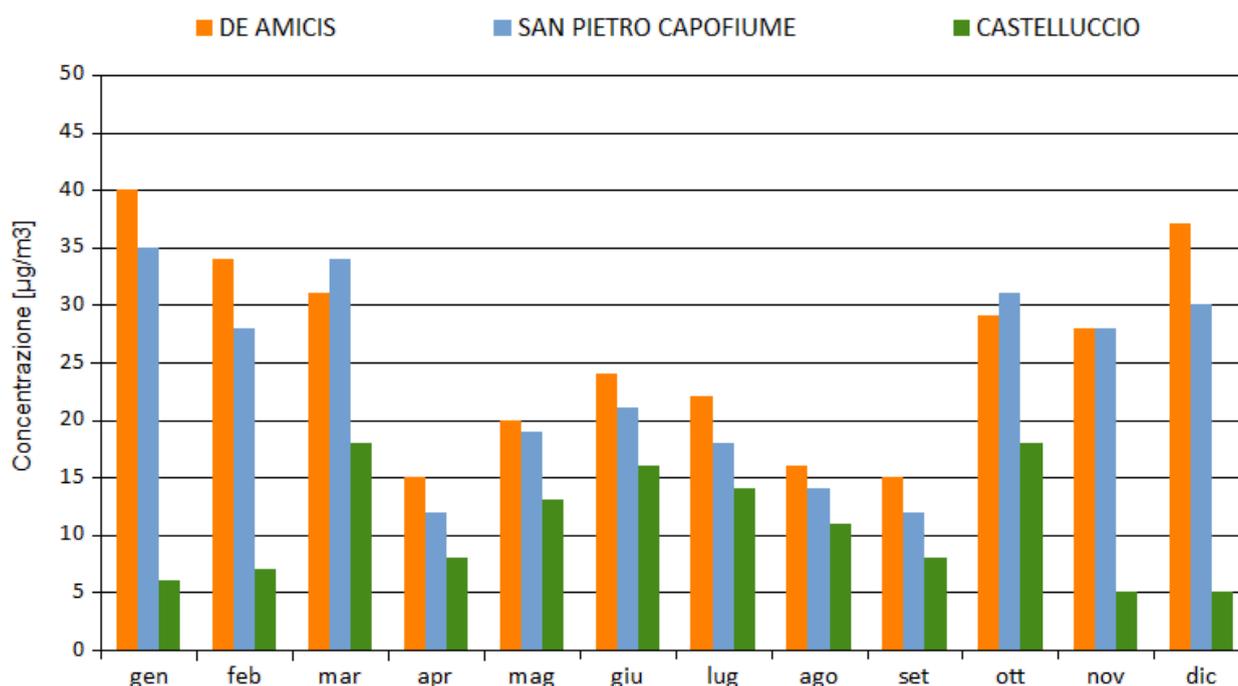


Figura 21 - Pianura e Appennino - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2021

Come si può osservare anche dall'analisi dei corrispondenti grafici, le medie mensili delle stazioni dell'Agglomerato (Figura 20) hanno mantenuto il consueto andamento stagionale con concentrazioni più elevate nel semestre invernale per tutte le centraline. Andamento analogo si osserva per le stazioni di Pianura (Figura 21). A Castelluccio il trend dei mesi invernali, risulta opposto a quello di tutte le altre stazioni, probabilmente anche a causa della variazione stagionale dell'altezza dello strato di rimescolamento.

Il numero dei giorni di superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nell'anno 2022 è riportato in Tabella 19 suddiviso su base mensile. Il numero annuale massimo di 35 giorni di superamento, consentiti dalla normativa, non è stato superato in nessuna delle centraline.

PM ₁₀ anno 2022 - numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2022
PORTA S. FELICE	10	6	1	0	0	0	0	0	0	3	5	8	33
S. LAZZARO SAVENA	9	6	0	0	0	0	0	0	0	2	4	5	26
GIARDINI MARGHERITA	7	6	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	23
CHIARINI	4	5	2	0	0	0	0	0	0	3	5	4	23
IMOLA - DE AMICIS	7	4	0	0	0	0	0	0	0	2	3	7	23
S. PIETRO CAPOFUME	2	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	1	11
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 19 - PM₁₀ : Superamenti del valore limite giornaliero - anno 2022

Rispetto all'anno precedente, il numero di superamenti del valore limite giornaliero dell'anno in esame è tendenzialmente aumentato nell'agglomerato come evidenzia la serie storica dal 2013 riportata in Tabella 20 e Figura 22.

PM ₁₀ - numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³) 2013 – 2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PORTA SAN FELICE	57	23	38	33	40	18	32	42	29	33
GIARDINI MARGHERITA	10	14	23	21	27	10	23	30	21	23
CHIARINI	18	19	25	22	35	14	21	22	17	23
SAN LAZZARO DI SAVENA	25	20	35	27	37	13	29	34	28	26
IMOLA - DE AMICIS	19	15	19	20	27	17	20	35	19	23
SAN PIETRO CAPOFUME	19	21	26	14	41	15	31	39	24	11
CASTELLUCCIO	1	0	0	1	0	0	0	1	6	0

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 20 - PM₁₀: Andamento temporale dei superamenti del valore limite giornaliero

Nel grafico di Figura 24 è riportato annualmente anche il numero dei giorni critici ovvero il numero di giorni favorevoli all'accumulo di particolato che presentano quindi una elevata probabilità di superamento del limite normativo giornaliero. Confrontando questo numero stimato con gli effettivi superamenti, si evidenzia che a partire dal 2014 aumenta la differenza tra questi due valori annuali. Ciò indica che pur con le inevitabili oscillazioni annuali, le giornate critiche comportano un effettivo superamento in meno casi rispetto ad anni antecedenti il 2014.

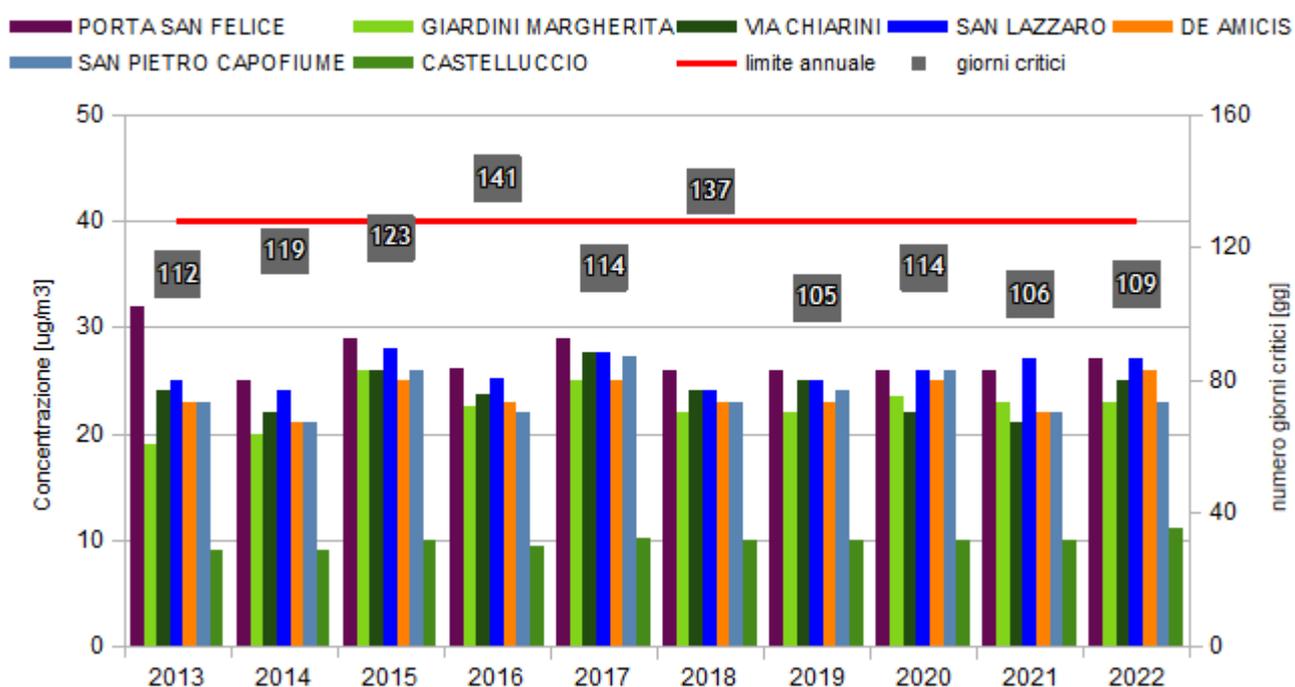


Figura 22 - PM₁₀ Confronto superamenti 50 µg/m³ e numero di giorni critici

In Figura 23 e Tabella 21 è riportato il trend 2013-2022 dei valori medi annuali di PM₁₀. Dai dati si può rilevare che dal 2014 in poi le medie registrate presso tutte le stazioni si mantengono al di sotto dei 30 µg/m³ con piccole fluttuazioni. In particolare negli ultimi tre anni i valori sembrano essere più stabili.

Da evidenziare la peculiarità della stazione di fondo di Castelluccio che rimane sempre molto stabile nelle sue basse concentrazioni.

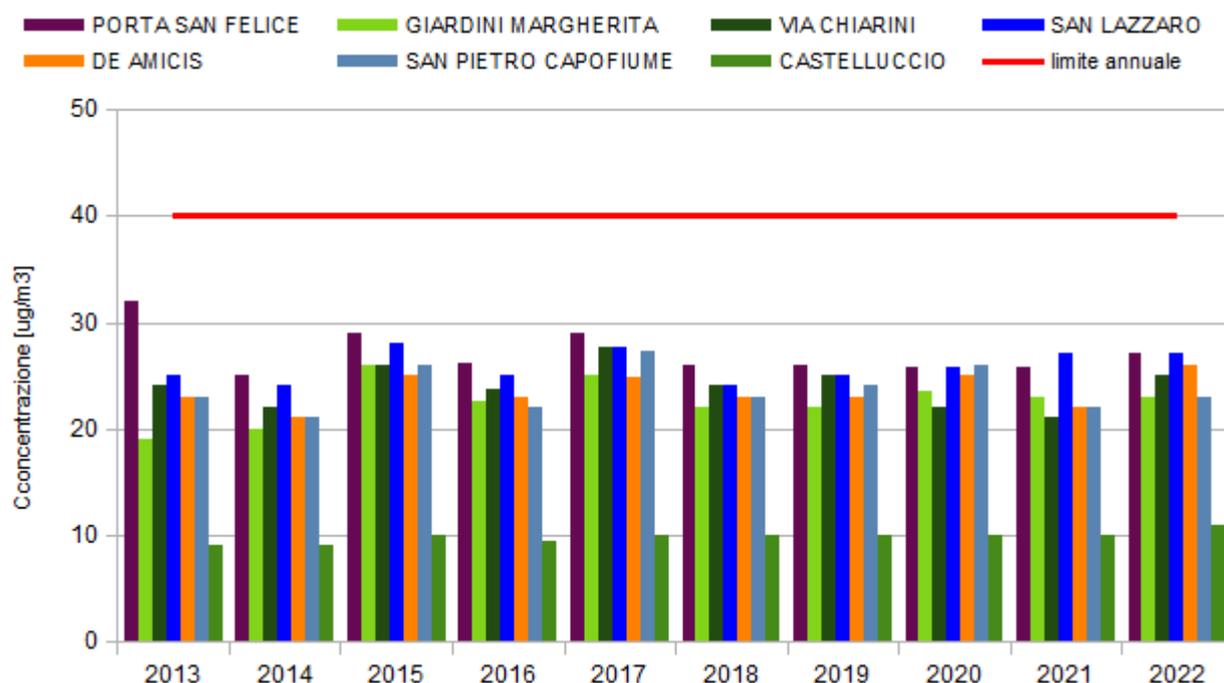


Figura 23 - PM₁₀ Andamento delle medie annuali 2013-2022

PM ₁₀ (µg/m ³) - Medie annuali 2013 – 2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PORTA SAN FELICE	32	25	29	26	29	26	26	26	26	27
GIARDINI MARGHERITA	19	20	26	23	25	22	22	24	23	23
CHIARINI	24	22	26	24	28	24	25	22	21	25
SAN LAZZARO DI SAVENA	25	24	28	25	28	24	25	26	27	27
IMOLA - DE AMICIS	23	21	25	23	25	23	23	25	22	26
SAN PIETRO CAPOFIUME	23	21	26	22	27	23	24	26	22	23
CASTELLUCCIO	9	9	10	9	10	10	10	10	10	11

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

Tabella 21 - PM₁₀: Andamento temporale delle medie annuali

PARTICOLATO PM2.5

Che cos'è

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

Come si origina

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

PM _{2.5} anno 2022 - Concentrazioni in $\mu g/m^3$								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	360	<3	13	17	35	42	52	67
GIARDINI MARGHERITA	357	<3	10	14	29	38	48	64
SAN PIETRO CAPOFIUME	354	<3	13	17	33	39	44	60
CASTELLUCCIO	347	<3	5	6	10	12	14	18

Tabella 22 - Particolato PM_{2.5}: Parametri statistici

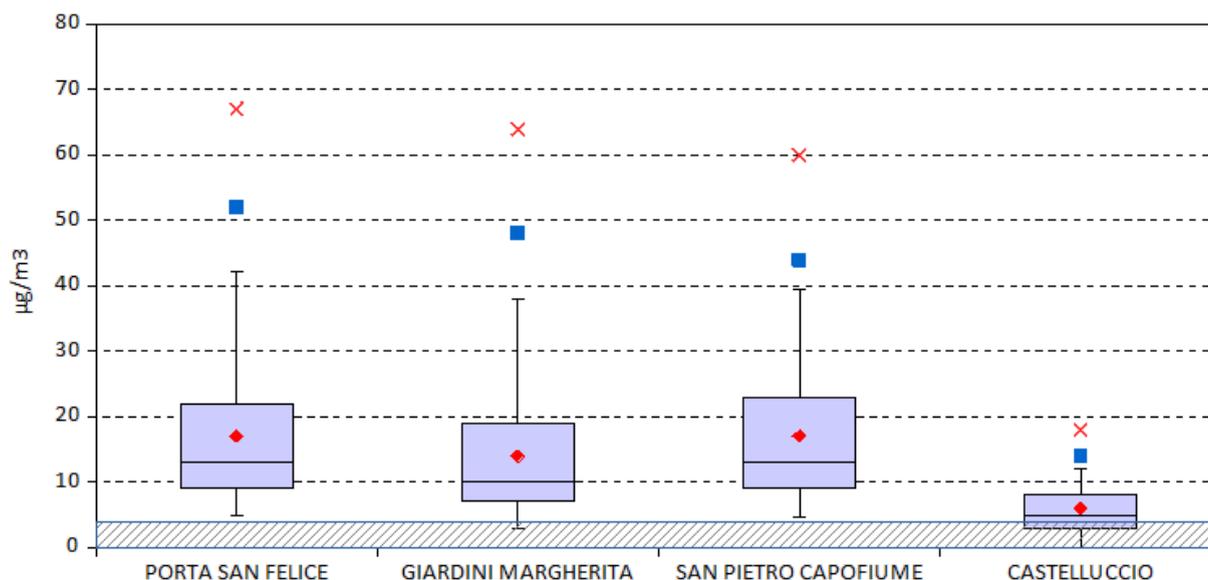


Figura 24 - PM2.5 : Box Plot delle statistiche annuali 2022

Le concentrazioni medie annue risultano, nel 2022, significativamente inferiori rispetto al valore limite di $25 \mu g/m^3$ ed anche 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 24 il box plot illustra per le stazioni di Pianura e Agglomerato una distribuzione dei dati molto simile, favorita dalle caratteristiche chimico-fisiche del $PM_{2.5}$. Analogamente al particolato PM_{10} anche per le $PM_{2.5}$, la stazione di Castelluccio ha un comportamento a sé stante.

In Tabella 23 e in Figura 25 vengono riportate le medie mensili dei valori di concentrazione del particolato $PM_{2.5}$ per l'anno 2022, che presentano il caratteristico andamento stagionale con valori più elevati in autunno ed in inverno.

PM _{2.5} (µg/m ³) - Medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	33	25	22	9	11	13	11	8	7	17	23	28
VIA CHIARINI	29	22	12	7	8	9	9	6	5	14	19	22
SAN PIETRO CAPOFUME	28	21	25	9	11	11	10	8	7	20	24	25
CASTELLUCCIO	4	3	11	5	7	7	7	6	3	8	3	3

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 23 - PM_{2.5} Concentrazioni medie mensili 2022

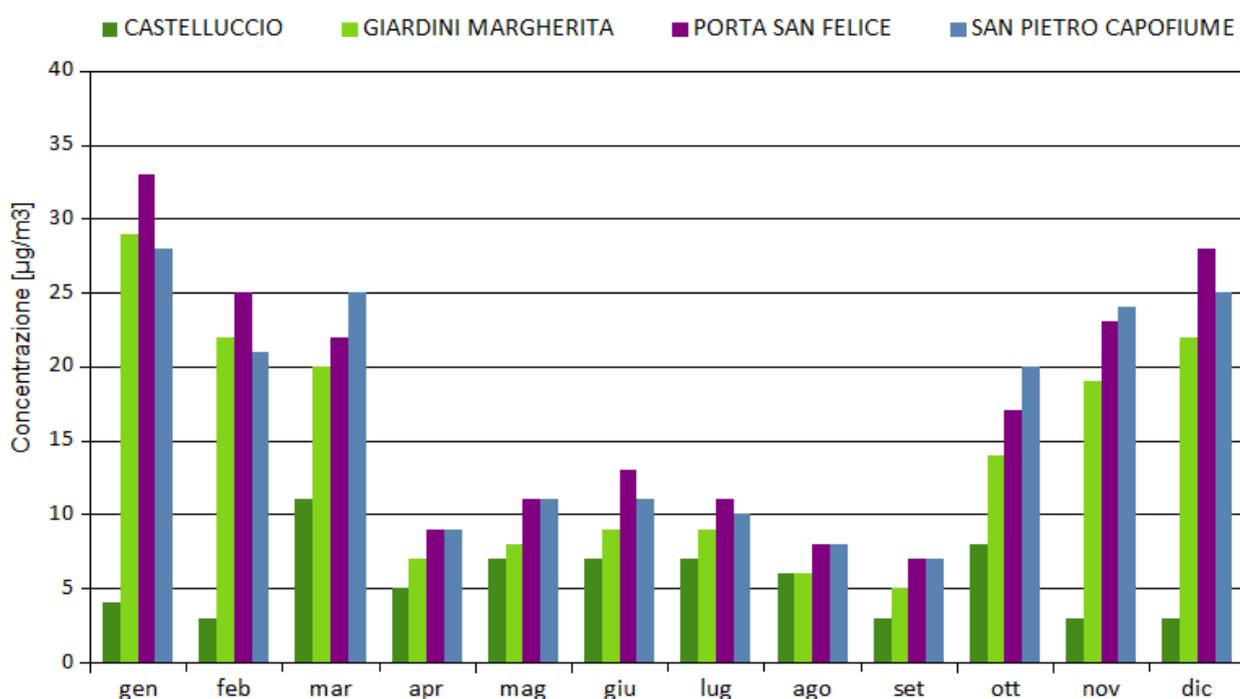


Figura 25 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie mensili - anno 2022

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.

Come mostrato dal grafico in Figura 26, i minimi annuali si trovano in estate, quando aumentano i fenomeni di sospensione e di trasporto a lunga distanza di particelle per la frazione grossolana. I massimi sono invece misurati in inverno, quando diventa più rilevante il ristagno e l'accumulo delle particelle fini originate dai processi di combustione per la maggiore stabilità verticale dell'aria. I dati si assestano comunque tutti tra il 35% ed il 90%.

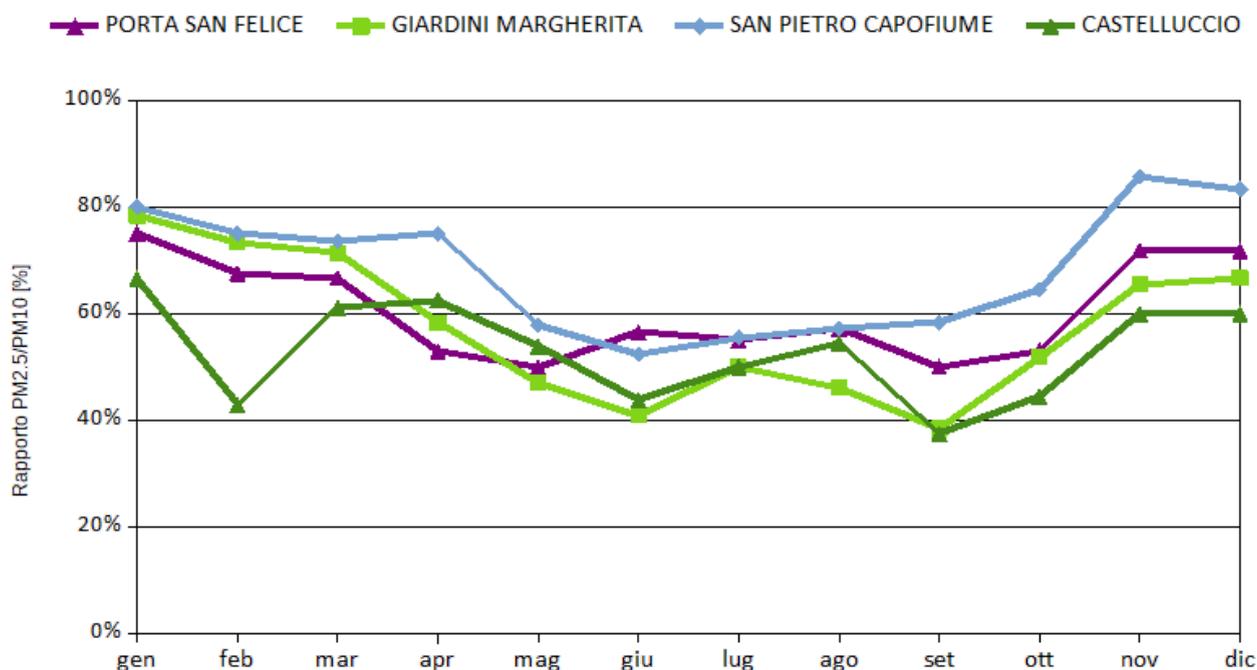


Figura 26 - Rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$: medie mensili 2022

L'andamento mensile dei rapporti percentuali nel 2022, mostra un comportamento simile tra i siti anche se con valori diversi; in generale i mesi invernali presentano i valori del rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ più elevati, in particolare per la stazione di pianura di San Pietro Capofiume. Le stazioni urbane di Porta San Felice e Giardini Margherita hanno andamenti del rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ tendenzialmente simili, con l'eccezione del mese di giugno.

I valori di Porta San Felice (stazione urbana da traffico) restano compresi tra un massimo del 75% in gennaio e un minimo del 50% in maggio e settembre, mentre quelli di Giardini Margherita (fondo urbano) tra 38% di settembre e 78% di gennaio. I valori di San Pietro Capofiume (stazione di fondo rurale) sono compresi tra un massimo invernale del 86%, registrato a novembre ed un minimo, registrato a giugno del 52%.

Il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ relativo alla stazione di fondo remoto di Castelluccio, ha raggiunto il minimo a settembre (38%) ed il valore massimo a gennaio (67%) e ha un andamento abbastanza a sé stante rispetto a quello delle altre tre stazioni dove sono misurati sia PM_{10} che $PM_{2.5}$; ciò probabilmente anche per le caratteristiche del sito di misura posto in Appennino.

Nel grafico di Figura 27 ed in Tabella 24 si riportano le serie storiche delle medie annuali di $PM_{2.5}$ per le stazioni attive. Tale parametro viene monitorato già da tempo nei quattro siti delle stazioni di Porta San Felice, Giardini Margherita, San Pietro Capofiume e Castelluccio.

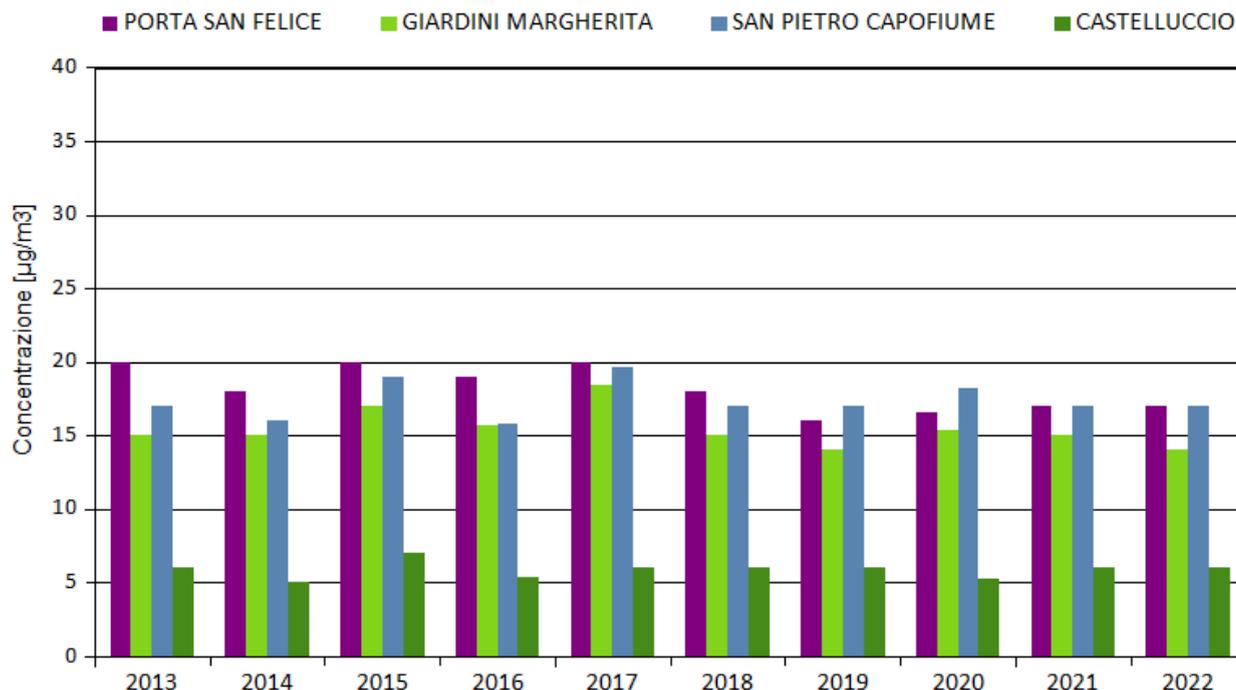


Figura 27 - PM_{2.5} Confronto medie annuali 2013-2022

Come si può osservare, il PM_{2.5} presenta, nel corso degli anni, un andamento meno variato rispetto al PM₁₀ anche se tendenzialmente in diminuzione nel lungo periodo.

Il rispetto del valore limite annuale (25 µg/m³) è ormai consolidato a partire dal 2008 e, dal 2013, tutte le stazioni registrano una media annuale inferiore o pari a 20 µg/m³.

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

■ anni con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 24 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie annuali

MONOSSIDO DI CARBONIO

Che cos'è

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

Come si origina

La principale sorgente di CO è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% delle emissioni a livello mondiale), essendo presente, in particolare, nei veicoli a benzina. 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 2022 – Concentrazioni in mg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8719	<0,4	0,6	0,6	0,9	1	1,2	2,6

Tabella 25 - Monossido di carbonio: Parametri statistici - anno 2022

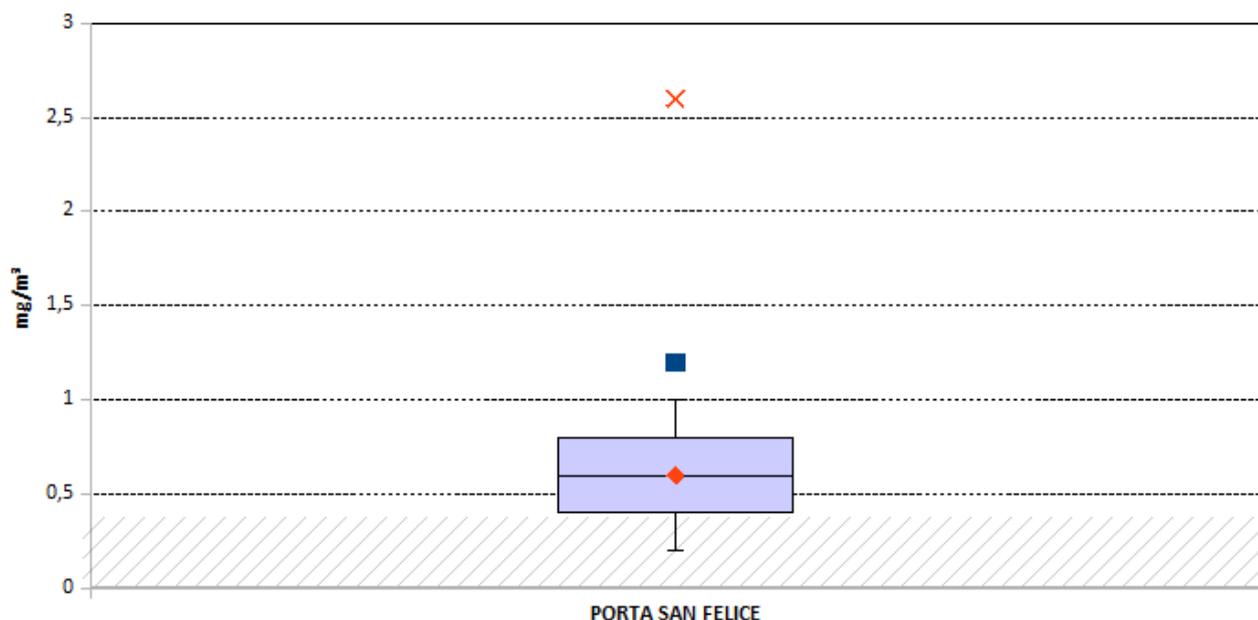


Figura 28 - CO : Box Plot delle statistiche annuali 2022

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

Il valore limite di 10 mg/m³ come massima concentrazione media giornaliera su 8 ore, fissato dalla normativa, non è mai stato superato da diversi anni, così come accaduto anche nel 2022; anche per tale ragione la configurazione della rete di monitoraggio prevede la rilevazione di questo inquinante solo nelle stazioni da traffico, ovvero dove più alta si presume sia la sua concentrazione.

Le concentrazioni medie mensili (Figura 29 e Tabella 26) presentano valori molto bassi lungo tutto l'anno, di circa un ordine di grandezza inferiori al limite; nei mesi estivi la concentrazione risulta inferiore al limite di quantificazione (0,4 mg/m³).

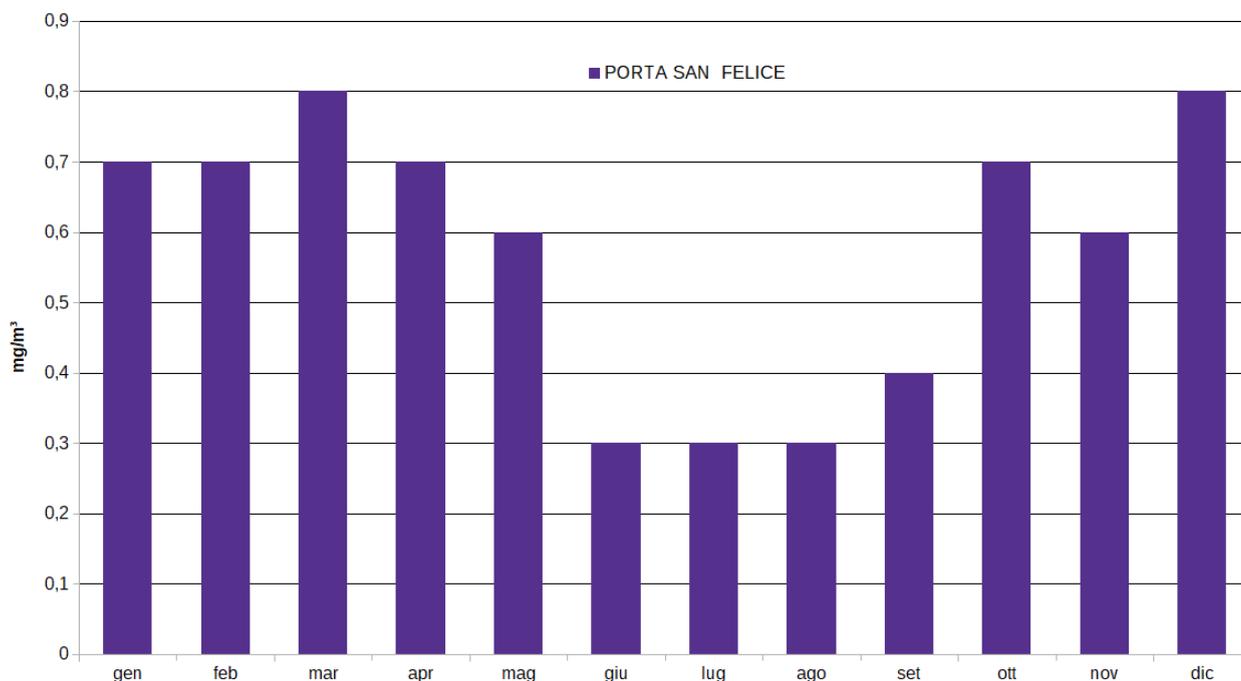


Figura 29 - CO Concentrazioni mensili

CO (mg/m ³) – medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	<0,4	<0,4	<0,4	0,4	0,7	0,6	0,8

Tabella 26 - CO Concentrazioni medie mensili 2022

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

L'analisi dei dati medi delle serie storiche annuali (Tabella 27) e l'andamento temporale delle medie annuali (Figura 31), non presentano eccessive variazioni e mostrano valori che si collocano intorno ad una media molto lontana dal limite legislativo, analogamente a quanto rilevato su tutto il territorio regionale.

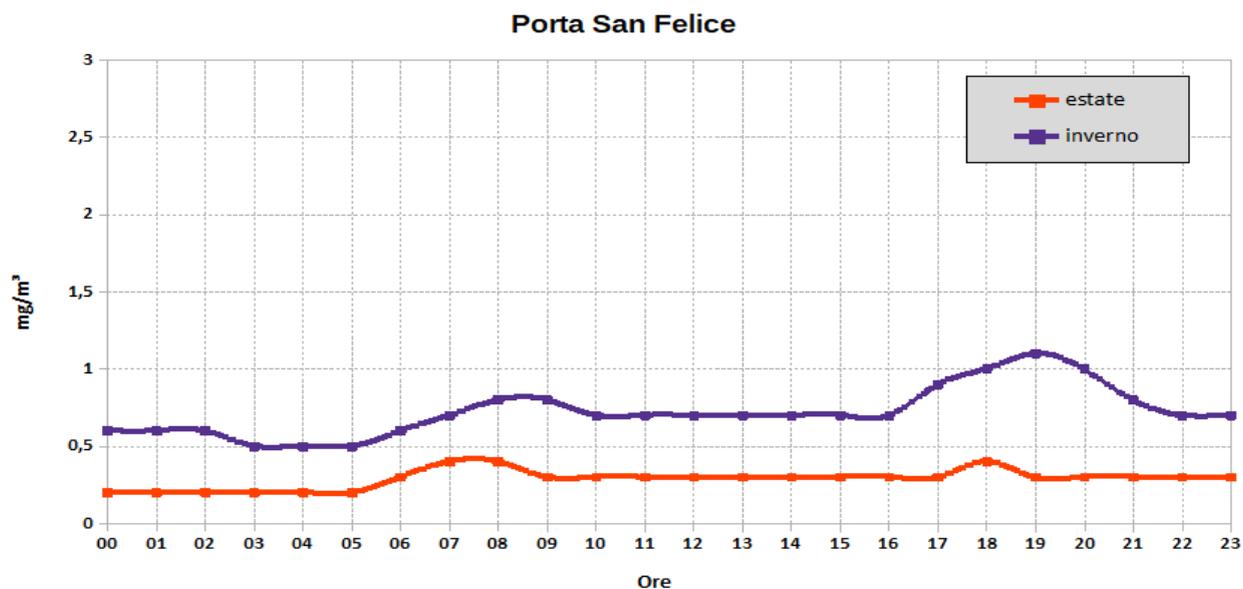


Figura 30 - Stazione da traffico, CO: giorno tipo invernale ed estivo

CO (mg/m ³) – medie annuali 2013-2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PORTA SAN FELICE	0,7	<0.6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6

Tabella 27 - CO confronto medie annuali 2013-2022

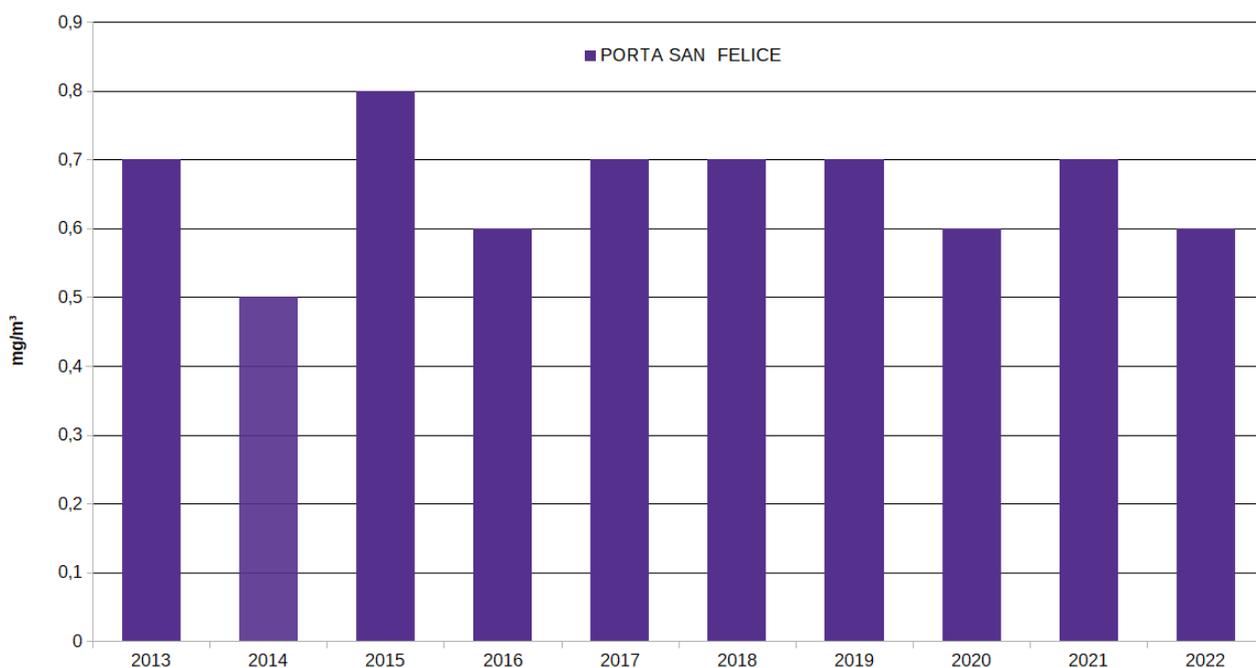


Figura 31 - CO Andamento temporale delle medie annuali

BENZENE

Che cos'è

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

Come si origina

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

C ₆ H ₆ anno 2022 – Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8228	< 0,1	0,8	0,9	1,8	2,1	2,6	7,4
VALORE LIMITE	Media annuale			5,0	µg/m ³			

Tabella 28 - Benzene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge - anno 2022

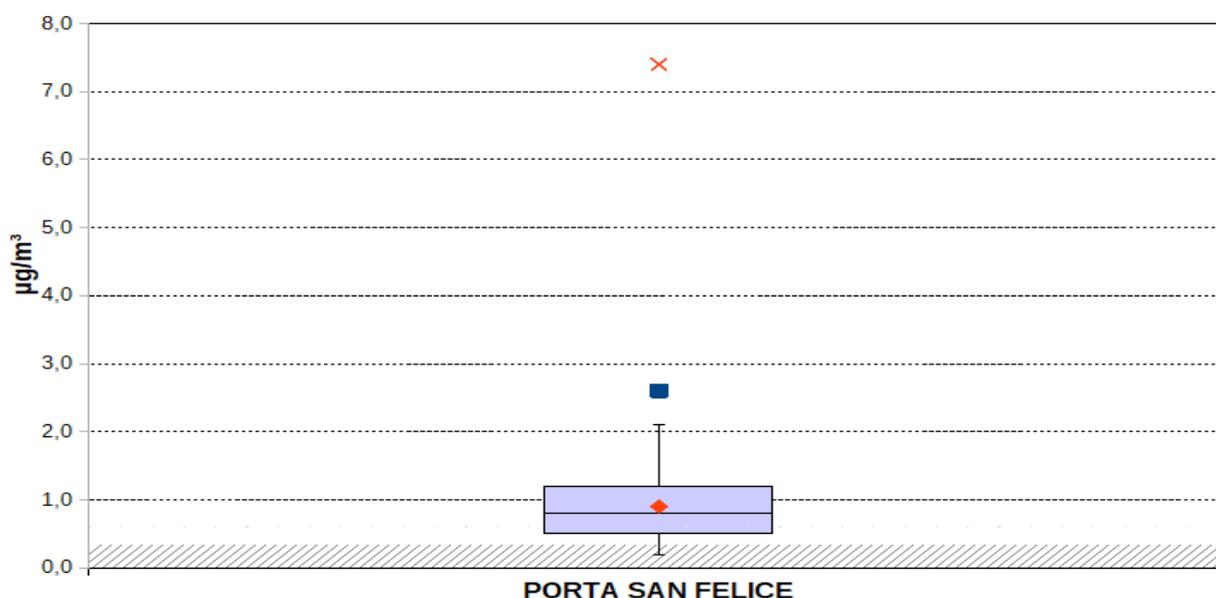


Figura 32 - C₆H₆ : Box Plot delle statistiche annuali 2022

Come presentato in Tabella 28, il valore medio annuale misurato presso la stazione da traffico di Porta San Felice risulta significativamente inferiore al valore limite di 5 µg/m³.

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

In Tabella 29 e Figura 33 è riportato l'andamento della concentrazione media mensile. Le concentrazioni più elevate si osservano nei mesi invernali, con il valore massimo di 1,7 µg/m³ registrato a gennaio.

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	1,7	1,3	1,0	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,9	1,3	1,6

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 29 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2022

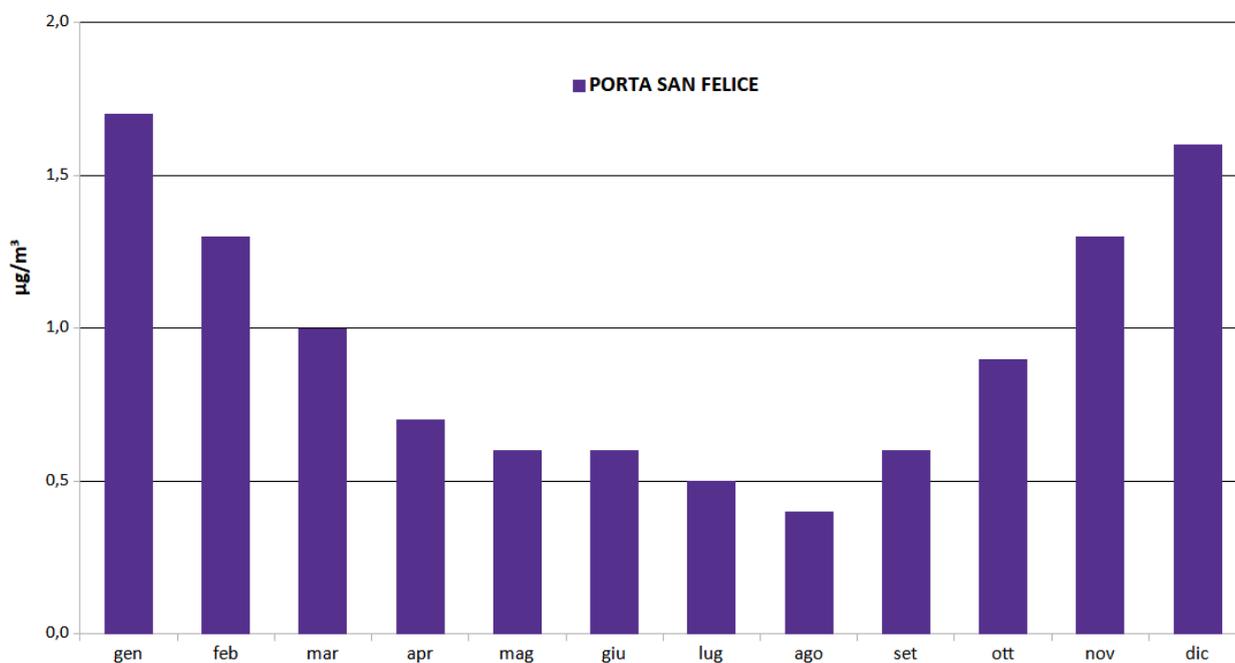


Figura 33 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2022

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

Il grafico rappresentato in Figura 35 invece, assieme ai dati riportati in Tabella 30, mostrano l'andamento temporale delle concentrazioni medie annuali nel decennio 2013-2022.

A tal riguardo, si evidenzia un trend di discesa che potremmo definire "a gradini", dove cioè, ad una variazione tra due anni segue spesso un periodo di uno o più anni in cui la media annuale rimane sostanzialmente stabile e comunque sempre ben al di sotto del limite normativo.

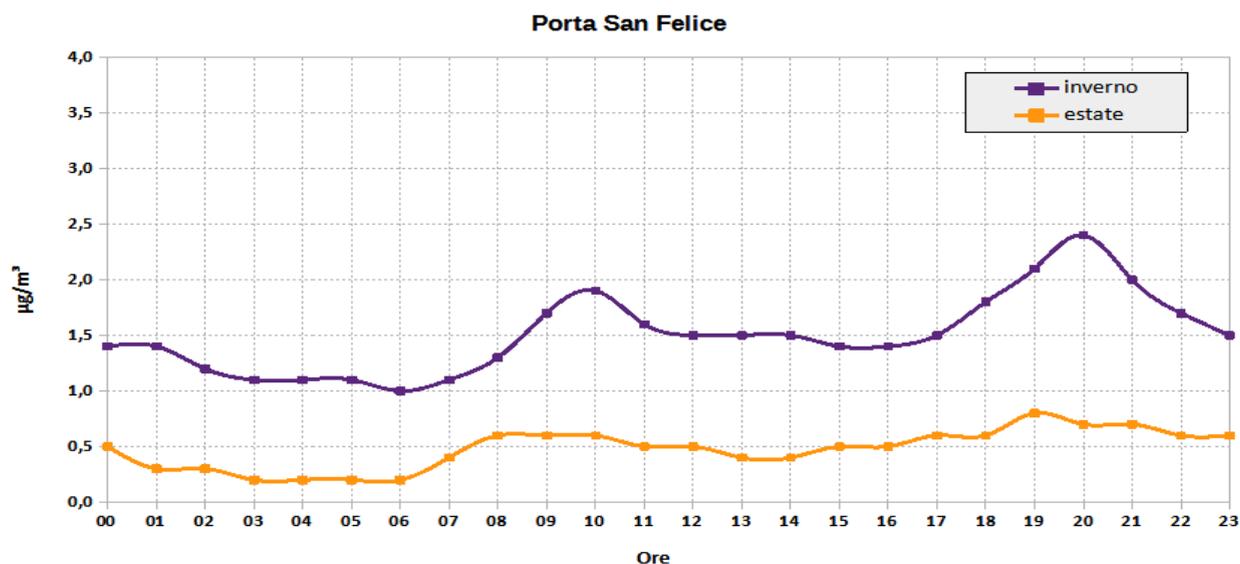


Figura 34 - Stazione da traffico, C₆H₆: giorno tipo invernale ed estivo

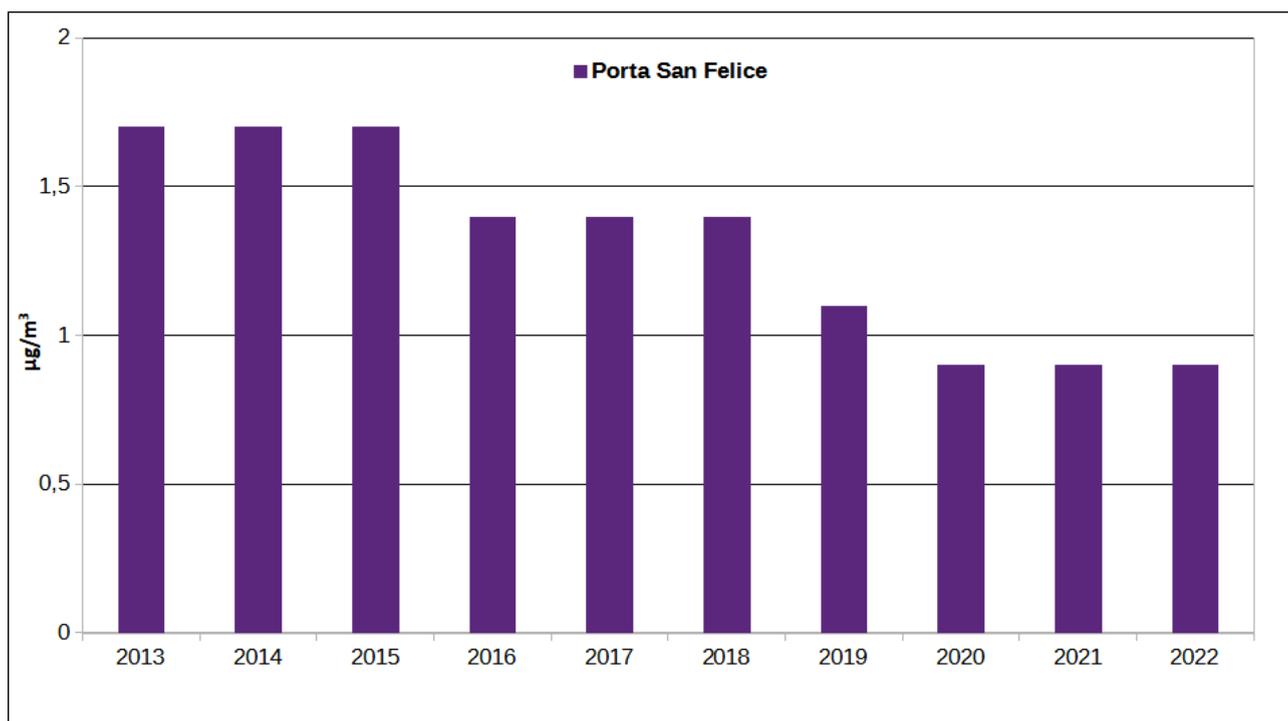


Figura 35 - C₆H₆ Confronto medie annuali 2013-2022

C ₆ H ₆ (µg/m ³) - Medie Annuali 2013 - 2022										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PORTA SAN FELICE	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,9	0,9	0,9

■ mesi con percentuale di dati validi < 90%

Tabella 30 - C₆H₆: Andamento temporale delle medie annuali

ANALISI SUL PARTICOLATO

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

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

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

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

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

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

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

Idrocarburi Policiclici Aromatici

Che cosa sono

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

Come si originano

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

In Tabella 31 sono riportati i valori statistici annuali relativi alle concentrazioni di benzo(a)pirene rilevate nelle tre stazioni della rete di Bologna dove viene misurato. Dall'analisi della Tabella 31 emerge come i valori medi annuali di benzo(a)pirene per il 2022 risultino di un ordine di grandezza inferiori al limite normativo.

Benzo(a)pirene anno 2022 - Concentrazioni in ng/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	12	0,011	0,073	0,200	0,566	0,639	0,678	0,703
GIARDINI MARGHERITA	12	0,003	0,030	0,117	0,290	0,374	0,430	0,467
SAN PIETRO CAPOFIUME	12	0,003	0,043	0,198	0,583	0,626	0,645	0,657
LIMITE NORMATIVO		media annuale		1,0	ng/m ³			

Tabella 31 - Benzo(a)Pirene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

Benzo(a)Pirene (ng/m ³) – medie mensili anno 2022												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,703	0,247	0,246	0,049	0,024	0,021	0,011	0,016	0,022	0,097	0,373	0,587
GIARDINI MARGHERITA	0,467	0,174	0,144	0,036	0,023	0,003	0,003	0,003	0,012	0,022	0,214	0,299
S. PIETRO CAPOFIUME	0,657	0,280	0,273	0,037	0,009	0,010	0,003	0,010	0,012	0,048	0,431	0,600

Tabella 32 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2022 (ng/m³)

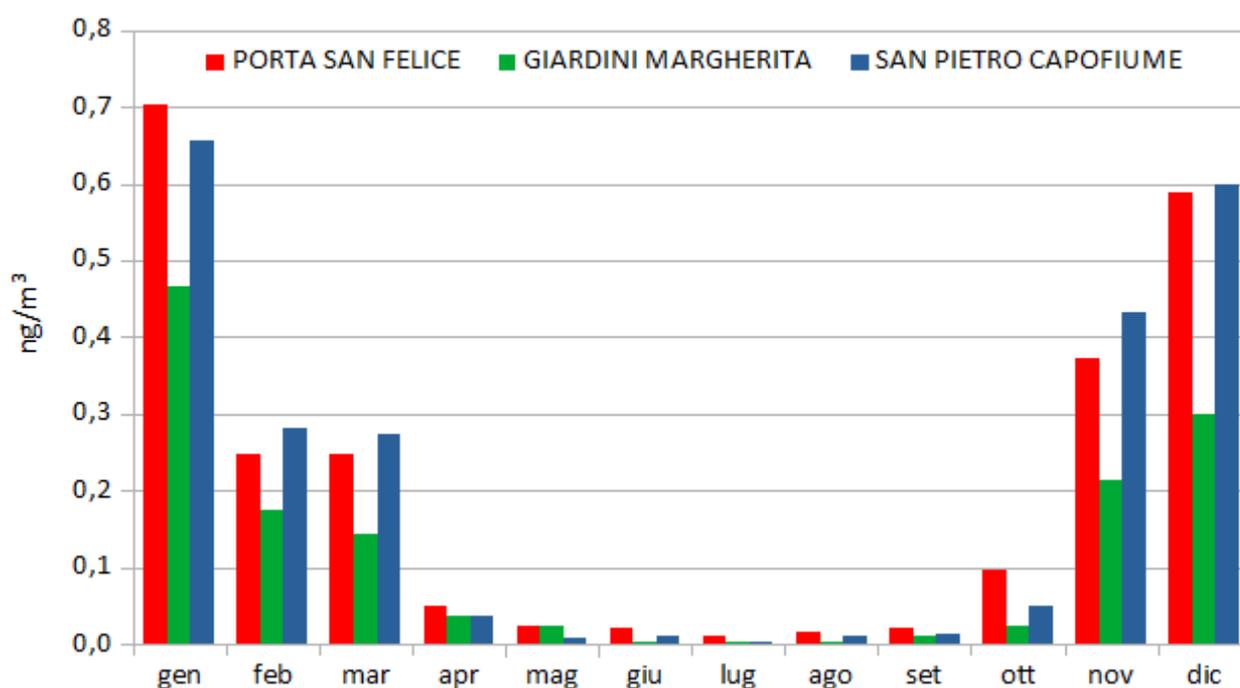


Figura 36 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2022 (ng/m³)

In Tabella 32 e nel successivo grafico di Figura 36 sono riportate le concentrazioni medie del Benzo(a)pirene relative alle stazioni di riferimento per i periodi mensili. Come si può vedere, l'analisi dei dati presenta 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 2022, dei diversi IPA di interesse sanitario, individuati dalla normativa (Tabella 33 e Figura 37).

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

IPA di interesse sanitario (D.Lgs 155/2010) [ng/m ³] – medie anno 2022						
Stazione	Benzo(a) Pirene	Benzo(a) Antracene	Benzo(b)+(j) Fluorantene	Benzo(k) Fluorantene	Indeno(1,2,3,c,d) Pirene	Dibenzo(ac)+(ah) Antracene
PORTA SAN FELICE	0,200	0,180	0,408	0,126	0,412	0,041
GIARDINI MARGHERITA	0,117	0,079	0,258	0,077	0,279	0,014
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,198	0,170	0,442	0,138	0,410	0,047

Tabella 33 - IPA: Concentrazioni medie annuali IPA di interesse sanitario (ng/m³) 2022

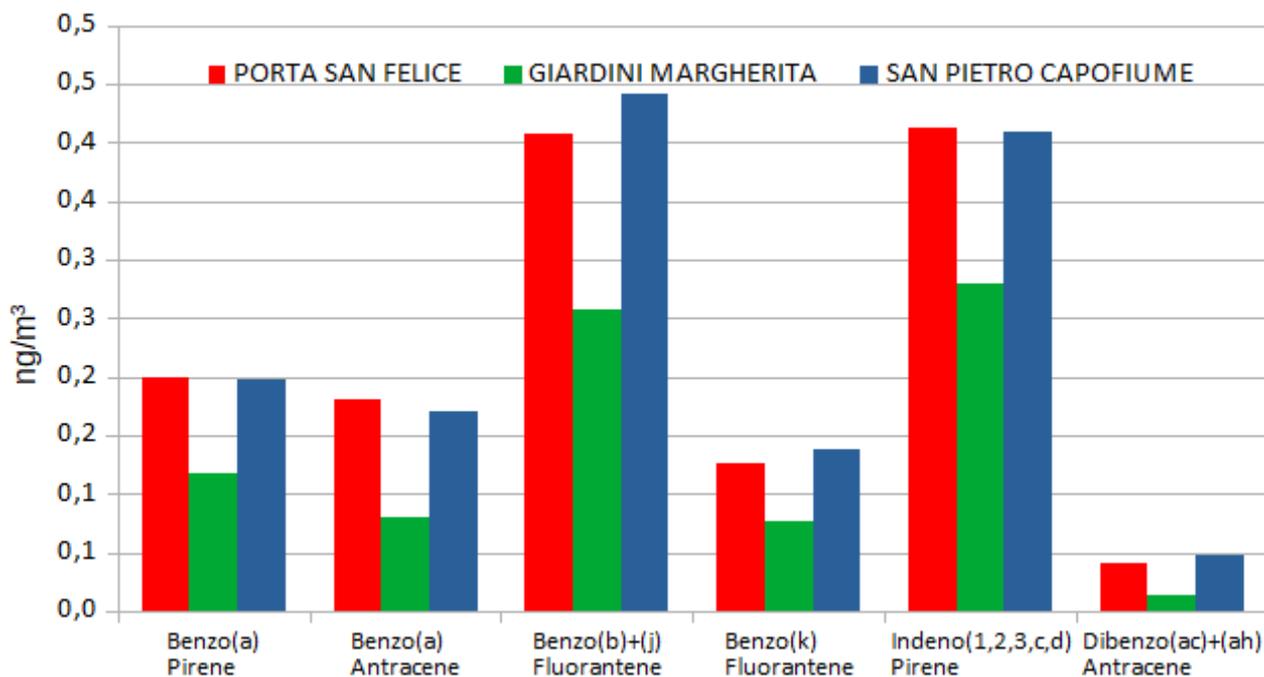


Figura 37 - IPA: Concentrazioni medie annuali IPA di interesse sanitario (ng/m³) 2022

Infine, in Tabella 34 e in Figura 38 sono riportate le serie delle medie annuali del Benzo(a)pirene, espresse in ng/m^3 , relative agli ultimi 10 anni (dal 2013 al 2022). Si può notare come tutte le concentrazioni riportate siano largamente inferiori al valore obiettivo.

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

Benzo(a)Pirene - Medie annuali 2013-2022 in ng/m^3										
Stazione	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PORTA SAN FELICE	0,24	0,13	0,11	0,22	0,20	0,18	0,17	0,17	0,15	0,20
GIARDINI MARGHERITA	0,17	0,12	0,18	0,13	0,15	0,11	0,13	0,12	0,10	0,12
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,15	0,08	0,08	0,20	0,29	0,19	0,21	0,18	0,13	0,20

Tabella 34 - Benzo(a)Pirene: Andamento temporale delle medie annuali

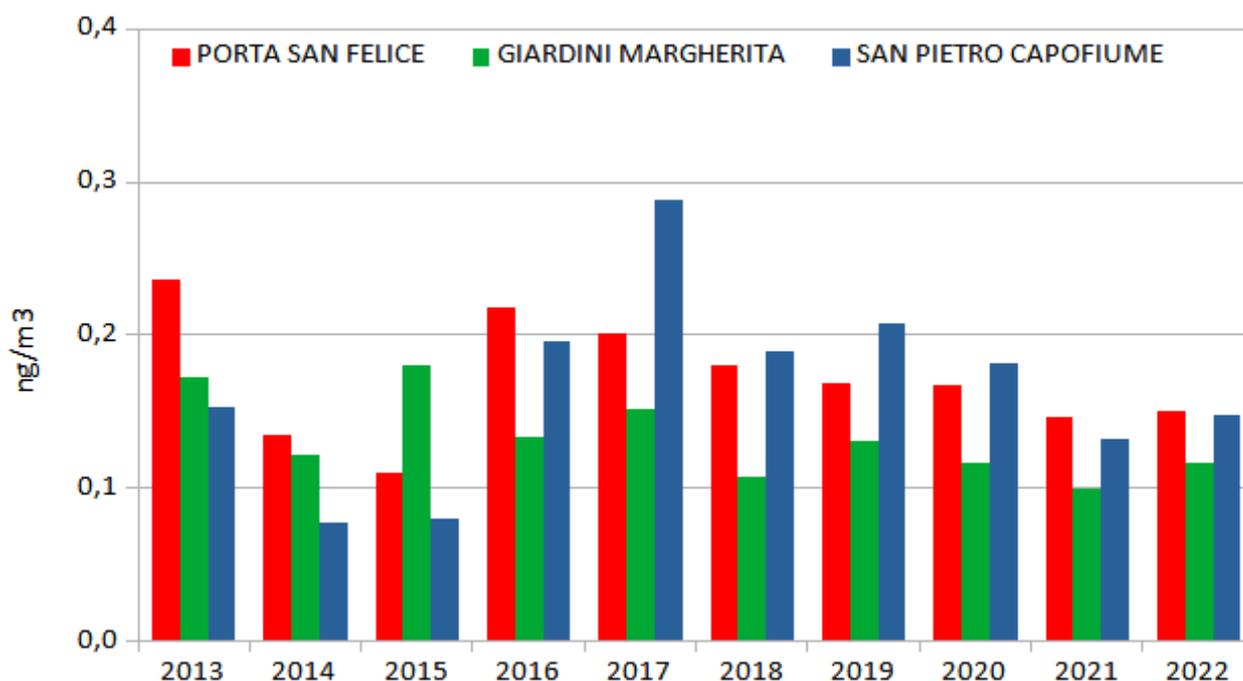


Figura 38 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie annuali dal 2013 al 2022 (ng/m^3)

Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo

Che cosa sono

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

Come si originano

Gli elementi presenti nel particolato atmosferico provengono da una molteplice varietà di fonti: il cadmio è originato prevalentemente da processi industriali; il nichel proviene da alcuni processi di combustione; il

piombo dalle emissioni autoveicolari; 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 35 e in Figura 39, i valori di concentrazione media mensile, per l'anno 2022, rilevati sul particolato PM₁₀ di Giardini Margherita relativi ad Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo.

Giardini Margherita – Concentrazioni medie mensili anno 2022 (ng/m ³)												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Arsenico	0,193	0,214	0,214	0,199	0,206	0,221	0,193	0,206	0,199	0,410	0,528	0,425
Cadmio	0,107	0,103	0,087	0,040	0,041	0,044	0,038	0,041	0,040	0,088	0,150	0,127
Nichel	0,772	0,855	0,854	0,797	0,789	1,998	0,772	0,825	0,713	1,579	2,553	0,772
Piombo	4,398	3,669	2,618	1,133	2,012	1,828	0,861	1,057	0,982	3,543	4,523	3,552

Tabella 35 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento medie mensili anno 2022

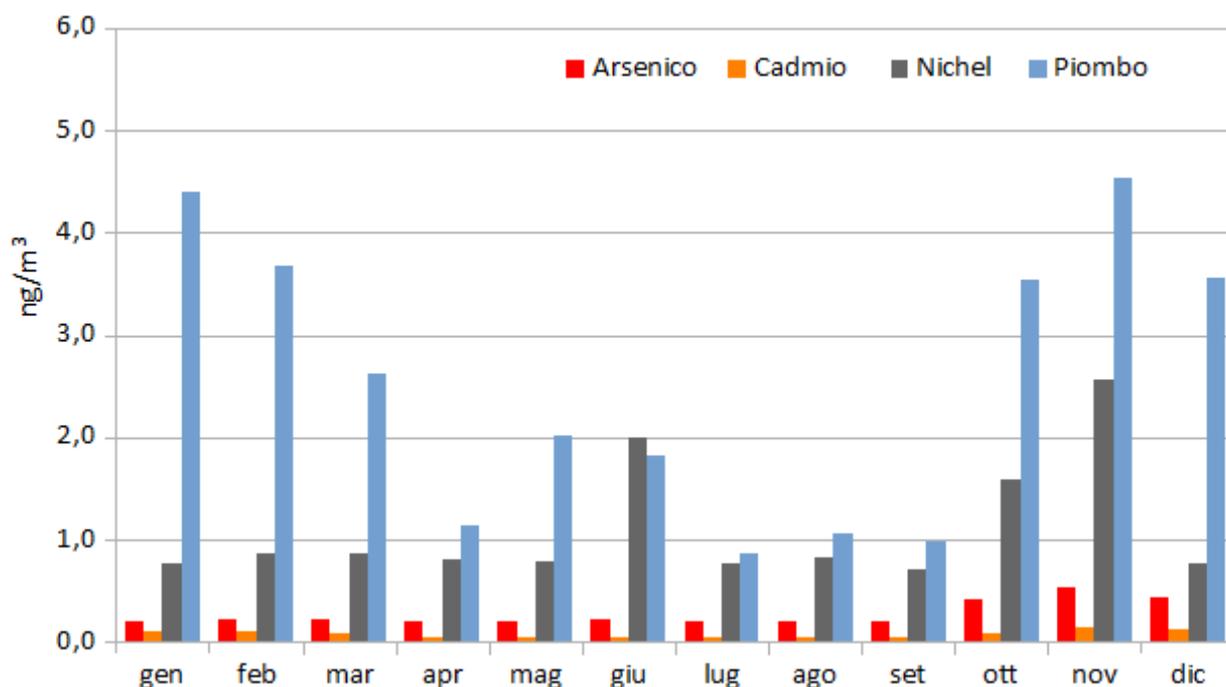


Figura 39 - Metalli: Concentrazioni medie mensili (ng/m³) - Giardini Margherita 2022

L'analisi dei grafici permette di osservare un'influenza della stagionalità nei livelli di concentrazione misurati, con una tendenza ad una maggior presenza dei vari metalli nel periodo invernale, in particolare per quel che concerne il piombo ed il cadmio. Per gli altri metalli

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

In Tabella 36 e Figura 40 è infine riportato l'andamento temporale delle medie annuali a partire dal 2013. Tutte le concentrazioni riportate (espresse in nanogrammi per metro cubo) sono largamente inferiori ai rispettivi valori obiettivo e, per il Piombo, al valore limite annuale.

Giardini Margherita - Medie annuali 2013-2022 (ng/m ³)											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Valore obiettivo
Arsenico	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	6
Cadmio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
Nichel	1,1	1,0	1,0	1,5	1,6	1,3	3,0	0,8	0,8	1,1	20
											Valore limite
Piombo	3,3	3,4	4,0	4,4	4,3	2,8	3,1	2,4	2,5	2,5	500

Tabella 36 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento temporale delle medie annuali (ng/m³)

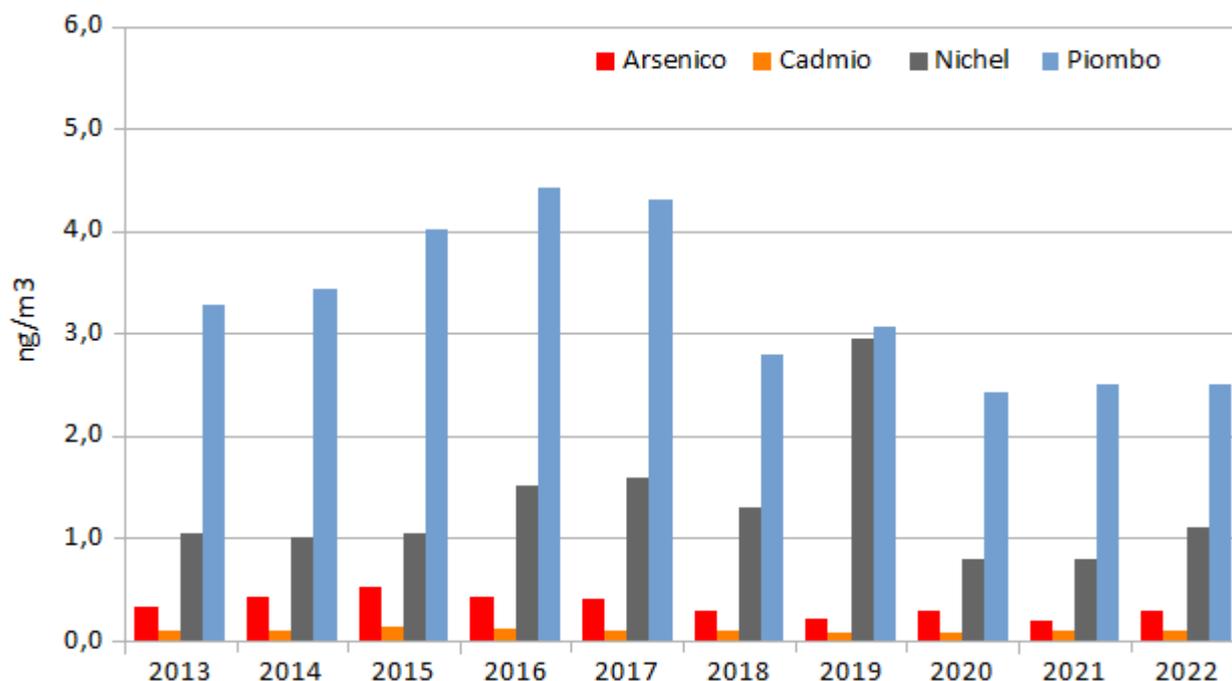


Figura 40 - Metalli: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) dal 2013 al 2022

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le condizioni meteorologiche influenzano fortemente l'accumulo e la dispersione degli inquinanti in atmosfera nonché la formazione dei cosiddetti inquinanti secondari.

A differenza del precedente biennio, l'anno 2022 non ha visto un significativo impatto delle misure emergenziali adottate per il contenimento dell'epidemia da Sars-CoV-2, anche se, pur in misura più limitata, sono rimasti attivi istituti introdotti proprio in quel periodo, come lo "smart working" o lavoro agile. Da questo punto di vista si può quindi ritenere che il 2022 abbia avuto caratteristiche al contorno tali da renderlo assimilabile agli anni pre-pandemia.

Per quanto riguarda gli aspetti meteorologici, il 2022 ha mostrato un incremento, rispetto all'anno precedente, sia nei valori complessivi delle temperature che in quelli delle precipitazioni. Tuttavia, in entrambi i casi, il confronto con gli andamenti climatici di lungo periodo evidenziano il consolidarsi, per l'area bolognese, di un clima più secco e caldo, caratterizzato da temperature più alte (quasi in tutti i mesi dell'anno 2022) e da una forte riduzione del regime delle precipitazioni.

Il numero di giorni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di PM_{10} e quello di giorni critici per la formazione di ozono troposferico sono stati entrambi, nel 2022, superiori agli analoghi dati del recente passato.

Relativamente alla qualità dell'aria, il risultato forse più significativo del 2022 nella provincia di Bologna, è rappresentato dal rispetto del limite annuale per il biossido di azoto ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), su tutte le stazioni della rete, compresa quella urbana da traffico che, storicamente, (con l'eccezione dell'anno "pandemico" 2020) ha sempre presentato valori oltre tale limite.

In generale, si può osservare un trend di riduzione delle concentrazioni su base annuale nella maggior parte delle stazioni della rete (Porta San Felice e Chiarini a Bologna, San Pietro Capofiume e Imola). In un caso (San Lazzaro di Savena) il trend dell'ultimo triennio risulta in crescita, seppur abbastanza contenuta; mentre per le restanti due stazioni di fondo (Giardini Margherita a Bologna e Castelluccio in Appennino) i valori risultano sostanzialmente in linea con quelli degli ultimi anni.

Come negli anni precedenti, anche nel 2022 non è mai stata superato il valore limite sulla media oraria di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quella di allarme di $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciò conferma che gli episodi acuti legati a concentrazioni orarie elevate di NO_2 , non rappresentino più un elemento di criticità.

Con riferimento al particolato PM_{10} , nel 2022 si è registrato un incremento delle concentrazioni medie annuali su tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio presenti nel territorio bolognese, pur non portando, in nessun caso, al superamento del valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il numero complessivo di giorni di superamento del valore limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ha visto un lieve decremento che però ha riguardato soprattutto le stazioni di fondo rurale di San Pietro Capofiume e quella di fondo remoto, in Appennino, di Castelluccio. In tutti gli altri casi, con l'eccezione di San Lazzaro di Savena, il numero di superamenti giornalieri ha subito un significativo aumento rispetto all'anno precedente, senza tuttavia raggiungere, in alcun caso, il limite normativo consentito di 35 giornate.

In generale, al di là di eventuali variazioni locali, i valori della concentrazione media annuale ricavati, confermano comunque i livelli dell'ultimo quadriennio.

Analogamente a quanto visto per il PM_{10} , anche per le concentrazioni annuali di $PM_{2,5}$ si osserva un incremento generalizzato delle medie annuali su tutte le stazioni della rete. Tuttavia va evidenziato che non si registrano superamenti né del valore annuale limite ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), né di quello 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 2022 il numero di superamenti è risultato in aumento rispetto agli anni precedenti, in particolare nell'agglomerato urbano di Bologna; mentre per le stazioni di fondo (rurale e appenninico) non si sono registrati superamenti lo scorso anno.

Il numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è invece risultato ancora una volta in aumento rispetto ai valori dell'ultimo biennio, assestandosi su valori simili a quelli del 2019, su tutte le stazioni della rete, ad eccezione di quella di Castelluccio situata in Appennino che ha registrato una netta riduzione del numero di superamenti.

Tale tendenza fa sì che la media sui tre anni prevista dalla normativa 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 2022, come negli anni precedenti, risulta superato il valore obiettivo su 5 anni nelle stazioni di Chiarini e San Pietro Capofiume.

I valori degli altri inquinanti (monossido di carbonio, benzene, benzo(a)pirene, arsenico, cadmio, nichel piombo) sono rimasti entro i limiti di legge in tutte le stazioni di rilevamento, come già accaduto nell'ultimo decennio; senza peraltro presentare significativi scostamenti, in positivo o in negativo, dai valori degli ultimi anni, se non per il caso del nichel che presenta un incremento più marcato.

