

***RETE REGIONALE DI
MONITORAGGIO E
VALUTAZIONE DELLA
QUALITÀ DELL'ARIA
PROVINCIA DI BOLOGNA***

REPORT DEI DATI 2021

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.....	6
Temperatura.....	6
Precipitazioni.....	7
Direzione e velocità del vento.....	8
Altezza di rimescolamento.....	10
Stabilità atmosferica.....	10
LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2021.....	12
BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO.....	14
OZONO.....	19
PARTICOLATO PM10.....	24
PARTICOLATO PM2.5.....	29
MONOSSIDO DI CARBONIO.....	33
BENZENE.....	36
ANALISI SUL PARTICOLATO.....	39
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI.....	39
ARSENICO, CADMIO, NICHEL, PIOMBO.....	42
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	44

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.

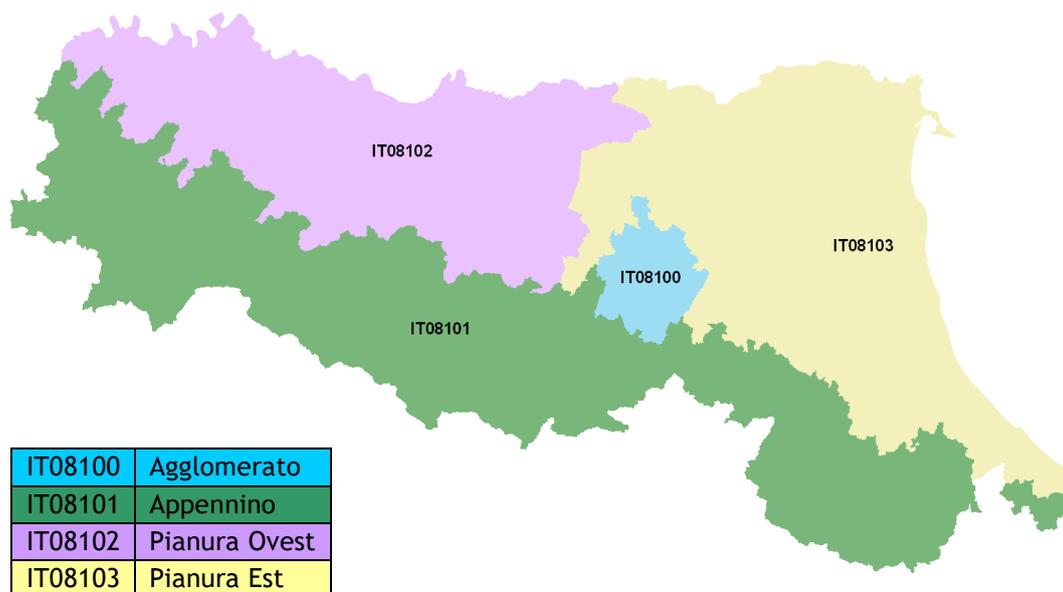


Figura 1 - Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011

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

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.

Nell'ambito dell'armonizzazione della rete di monitoraggio della qualità dell'aria alla zonizzazione regionale in vigore, dal 1° gennaio 2020 sono stati eliminati, dalla stazione di viale De Amicis a Imola, gli analizzatori di monossido di carbonio (CO) e composti aromatici (BTX).

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

Tabella 2 - Stazioni e parametri della rete di monitoraggio

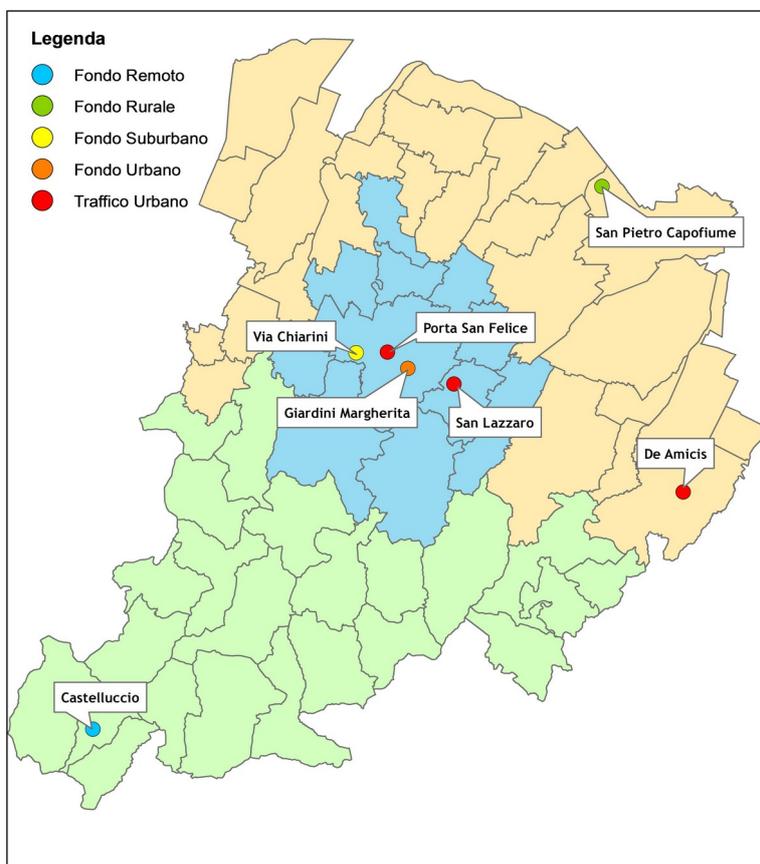


Figura 2 - Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria

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 2021) presso la stazione di Bologna Urbana (rappresentativa della principale area urbana della Città Metropolitana). 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 2020 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 2020.

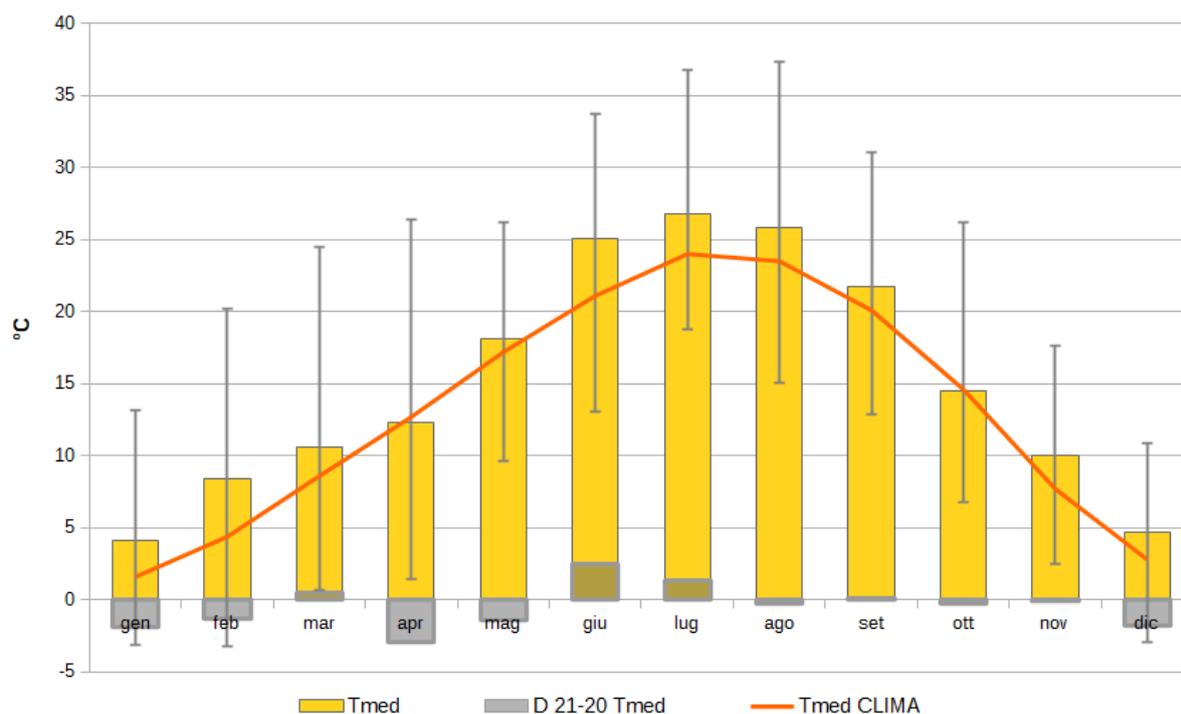


Figura 3 - Bologna: temperature mensili (°C)

Il 2021 è stato complessivamente meno caldo rispetto alle ultime annate, ma con temperature quasi sempre sopra al clima di riferimento, specialmente per quanto riguarda i mesi invernali. Le temperature medie mensili sono variate da un minimo di -3.2°C nel mese di febbraio ad un massimo di 37.3°C nel mese di agosto. Le minime sono scese al di sotto dei 0°C a gennaio, febbraio e dicembre.

I mesi di gennaio, febbraio, aprile, maggio e dicembre sono risultati più freddi rispetto al 2020, con differenze negative comprese fra -1.5 e -3°C , mentre i mesi di giugno e luglio risultano più caldi rispetto all'anno precedente (mediamente tra 1.4 e 2.5°C).

Il confronto con il riferimento climatico 1961-1990, mostra temperature medie mensili nel complesso superiori alle attese. In generale le anomalie sono state significative sia nelle minime (con l'eccezione di luglio 0.6°C) sia nelle massime in tutti i mesi, queste ultime decisamente più elevate (da 3.6°C a maggio fino a 12.1°C di febbraio). A febbraio si sono registrate punte di 20°C mentre a marzo le temperature hanno subito forti oscillazioni, con ritorno di freddo dal 15 al 24, e rialzo termico negli ultimi giorni del mese con valori fino a 25°C . In aprile le temperature si sono mantenute piuttosto basse (con scostamenti della minima giornaliera di -6°C rispetto alla norma), che hanno reso questo mese uno dei più freddi degli ultimi 30 anni.

L'estate è risultata mediamente calda con diverse ondate di calore, la più intensa a metà agosto. Le temperature sono tornate sopra alla norma del periodo negli ultimi due mesi dell'anno nei quali sono stati registrati scostamenti dai valori di riferimento 1961-1990 dell'ordine di $2-3^{\circ}\text{C}$.

Precipitazioni

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

L'anno 2021 è stato caratterizzato da persistente siccità. Le precipitazioni totali annue sono state molto scarse, pari a circa 435 mm , il 38% in meno rispetto al riferimento climatico e una variazione di circa -33% rispetto al 2019 e -7% rispetto al 2020.

Dopo un avvio d'anno molto piovoso, a partire da metà febbraio le piogge sono state scarse e fino a fine anno il dato pluviometrico si è assestato notevolmente sotto la distribuzione climatica osservata, con le eccezioni di settembre e novembre che hanno registrato precipitazioni cumulate elevate, 76 mm e 100 mm rispettivamente, determinando scostamenti positivi ($+20\%$) rispetto all'atteso. Il mese caratterizzato da minori precipitazioni è stato marzo (6.4 mm) seguito da febbraio (7.4 mm), con scarti dell'ordine del -89% e -83% rispetto alla norma.

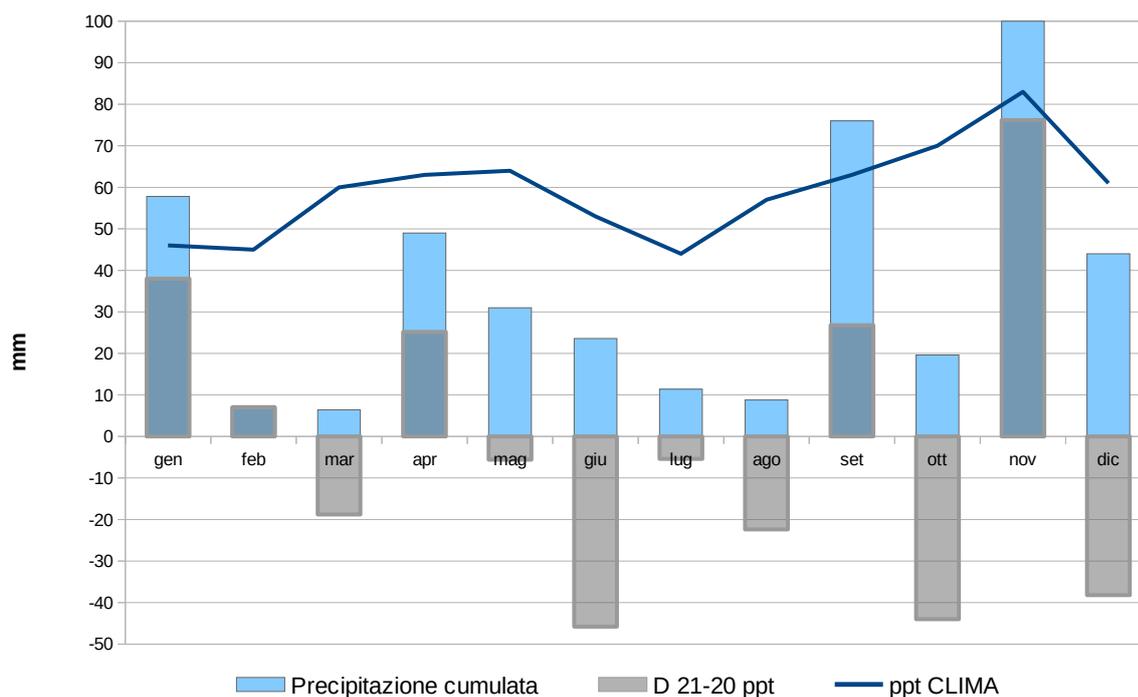


Figura 4 - Bologna: precipitazione cumulata mensile (mm)

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 2020.

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-SIMC.

Direzione e velocità del vento

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

La rosa dei venti annuale riportata in Figura 5 costituisce la rappresentazione della distribuzione in frequenza delle classi di velocità media oraria del vento (m/s) per direzione di provenienza (°N) per il 2021. Si osserva una netta prevalenza delle classi di intensità relativamente modesta (con valori fino a 3m/s) mentre i venti provengono in gran parte dal quadrante sud-occidentale.

Rispetto al 2020, vi è stato un incremento nelle classi di calma (<1,5 m/s) e bava di vento (0.3 - 1.5m/s).

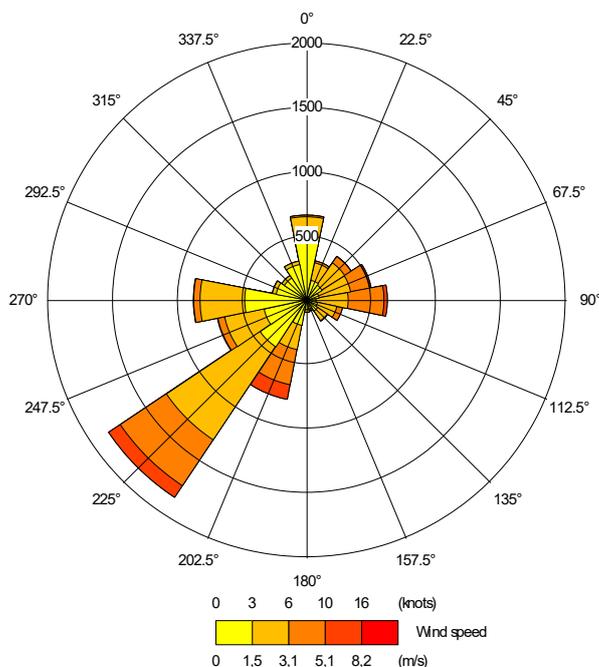


Figura 5 - Bologna: rosa dei venti, anno 2021

In Figura 6 vengono riportati gli andamenti dei profili anemometrici elaborati su base stagionale relativi all'anno 2021. Tale rappresentazione permette di evidenziare le diverse caratteristiche stagionali del periodo in esame. Nei mesi invernali (gen-feb-dic) prevalgono le direzioni tra Sud-Sud Ovest e Ovest e le velocità sono più frequentemente comprese entro i 3m/s, con un aumento rispetto allo scorso inverno delle calme di vento (<1.5 m/s).

Nei mesi estivi (giu-lug-ago) si osserva una prevalenza da Sud Ovest e una distribuzione molto più uniforme nei restanti settori.

In autunno (set-ott-nov) i venti risultano provenire principalmente dai quadranti sudoccidentali con velocità mediamente più basse.

In primavera (mar-apr-mag) le direzioni SudOvest costituiscono le componenti dominanti 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.

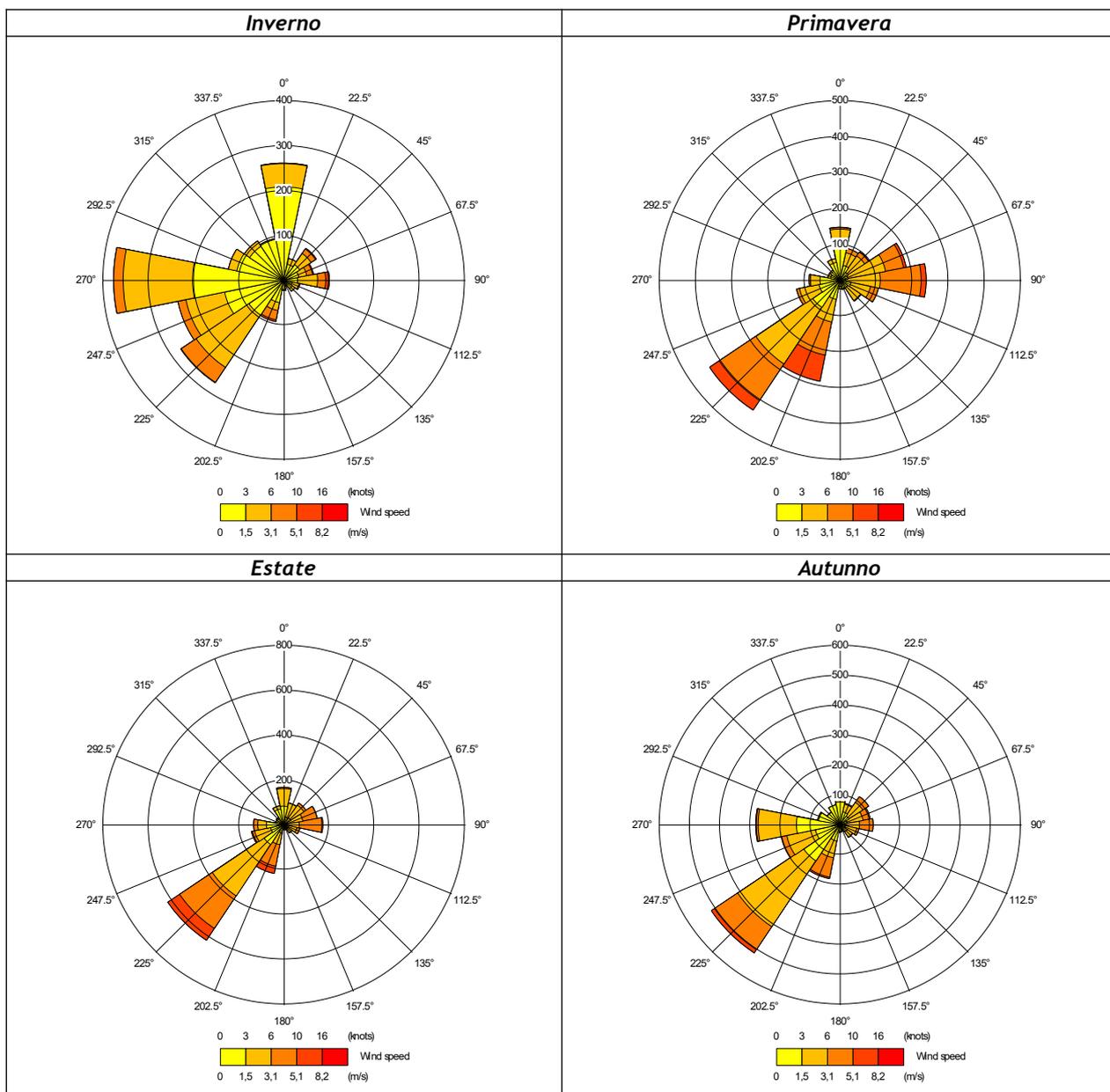


Figura 6 - Bologna: rose dei venti stagionali 2021

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	5,0%	55,2%	34,8%	4,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	...
FEB	2,8%	47,8%	35,9%	11,6%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	...
MAR	0,5%	34,3%	50,1%	13,3%	1,7%	0,0%	0,0%	0,0%	...
APR	1,3%	35,8%	43,9%	14,4%	4,6%	0,0%	0,0%	0,0%	...
MAG	2,4%	28,1%	36,7%	22,1%	10,5%	0,2%	0,0%	0,0%	...
GIU	0,7%	26,8%	48,5%	21,3%	2,8%	0,0%	0,0%	0,0%	...
LUG	1,6%	33,7%	43,8%	17,2%	3,5%	0,1%	0,0%	0,0%	...
AGO	2,2%	33,6%	45,2%	15,1%	4,0%	0,0%	0,0%	0,0%	...
SET	4,9%	40,6%	46,0%	8,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	...
OTT	2,6%	46,4%	37,9%	12,1%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	...
NOV	4,2%	44,2%	42,8%	8,2%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	...
DIC	4,2%	56,3%	39,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	...
ANNO	2,5%	38,9%	42,4%	13,4%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	...

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

Tabella 3 - Distribuzione delle velocità del vento secondo la scala Beaufort, anno 2021

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 dal 75 a oltre il 90% del campione mensile e circa l'81% su base annuale.

Tra le varie classi, è prevalso per tutto l'anno il grado 2 "brezza leggera" (1.6-3.3m/s), mentre il grado 1 "bava di vento" (0.3-1.5m/s) prevale nei primi due mesi e nell'ultimo trimestre. Le classi associate a velocità superiori risultano maggiormente popolate nel mese di maggio, fino a punte di grado 5. Rispetto al 2020 vi è una maggiore incidenza di stati di calma di vento (<1,5 m/s), bava di vento (0.3 - 1.5m/s) e di vento moderato (5.5 - 7.9m/s). Il maggior numero di "calme" (<0.2m/s) si è registrato nel mese di gennaio, ma risultano decisamente positivi anche settembre, novembre e dicembre.

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.

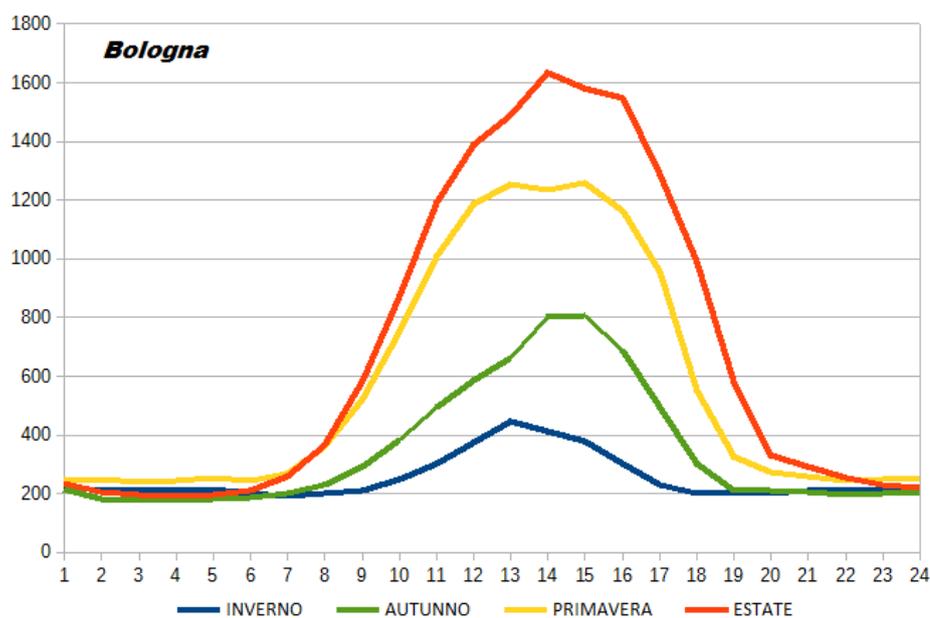


Figura 7 - Bologna: altezza di rimescolamento (m), giorno tipo stagionale

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.

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 2021

L'esame dei dati rilevati nell'anno 2021 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 cinque 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 arancio 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 10).

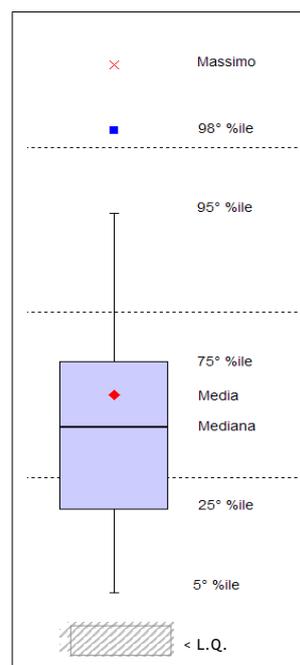


Figura 10 - Box-plot

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 2012.

Per PM₁₀ e O₃, parametri maggiormente soggetti a superamenti dei limiti normativi, è stato confrontato l'andamento negli anni del numero di giorni critici (favorevoli all'accumulo degli inquinanti al suolo) con

quello degli effettivi superamenti del valore obiettivo per la media oraria (per O₃) o del valore limite per la media giornaliera (per PM₁₀).

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 2020. Tutti gli analizzatori hanno raggiunto la copertura di almeno il 90% dei dati annuali previsti dalla normativa ad eccezione dell'analizzatore NO_x installato presso la stazione di Castelluccio.

STAZIONE	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	BTX
Bologna - Porta San Felice		100%	98%	99%	-	
San Lazzaro		-	96%	-	-	-
Bologna - Giardini Margherita		-	93%	97%	100%	-
Bologna - Chiarini		-	99%	-	100%	-
Imola - De Amicis		-	98%	-	-	-
Molinella - San Pietro Capofiume		-	98%	99%	99%	-
Porretta Terme - Castelluccio		-	97%	96%	99%	-

Tabella 4 - Rendimenti annuali degli analizzatori della rete - anno 2021

BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO - NO₂ e NO_x

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 2021 – Concentrazioni in µg/m ³									
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX	n°sup.orari 200 µg/m ³
PORTA SAN FELICE	8664	<8	42	43	72	81	91	147	0
GIARDINI MARGHERITA	8611	<8	13	17	35	42	47	82	0
VIA CHIARINI	8482	<8	16	19	37	42	49	73	0
SAN LAZZARO	8519	<8	22	24	44	51	58	95	0
DE AMICIS	8421	<8	20	26	54	66	75	123	0
SAN PIETRO CAPOFIUME	8640	<8	9	12	27	33	39	58	0
CASTELLUCCIO	7463	<8	<8	<8	<8	<8	10	30	0

VALORE LIMITE	Media annuale	40 µg/m ³	n°max sup.	18
---------------	---------------	----------------------	------------	----

Tabella 5 - Biossido di azoto: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

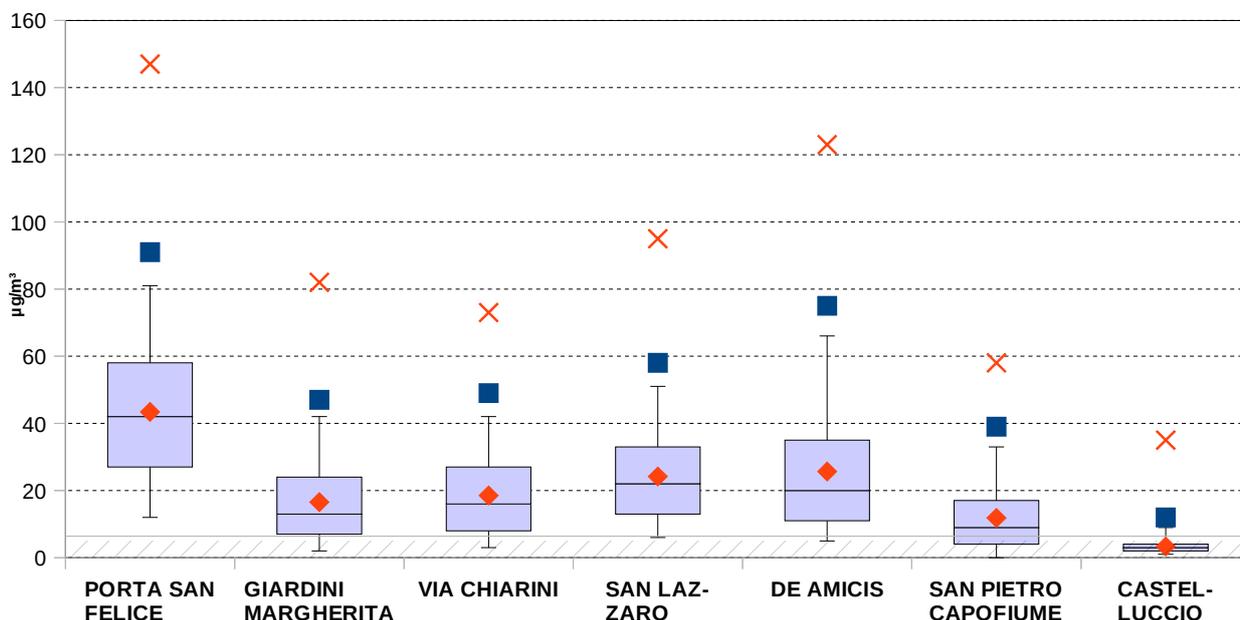


Figura 11 - NO₂ : Box Plot delle statistiche annuali 2021

Dopo un anno in cui, grazie probabilmente anche alle misure adottate per limitare la diffusione dell'epidemia di Sars-CoV2, su tutte le stazioni della rete di monitoraggio era stato rispettato il valore limite annuale previsto dalla normativa (40 µg/m³), nel 2021 si sono ristabilite le tipiche condizioni storicamente riscontrate sul territorio della Città Metropolitana di Bologna, ovvero il generalizzato rispetto della summenzionata soglia di legge con l'eccezione della stazione urbana da traffico di Porta San Felice che, ancora una volta, presenta una concentrazione media annuale superiore ai 40 µg/m³ (Tabella 5) e che, tuttavia, si può ritenere, come vedremo in seguito, proseguire la tendenza alla progressiva riduzione di tale esubero. Come si vede dal grafico in Figura 11, le restanti stazioni presentano una distribuzione statistica dei dati non troppo dissimile tra loro, con l'eccezione delle stazioni di fondo extra-

urbane (rurale a San Pietro Capofiume e remoto a Castelluccio) che presentano una dispersione dei valori molto più contenuta, in particolare per la stazione appenninica di Castelluccio, dove spesso le concentrazioni orarie risultano al di sotto del limite di quantificazione per il biossido di azoto.

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 evidenzia che eventuali episodi di inquinamento acuto legati a concentrazioni orarie elevate di NO_2 non rappresentano un elemento di criticità.

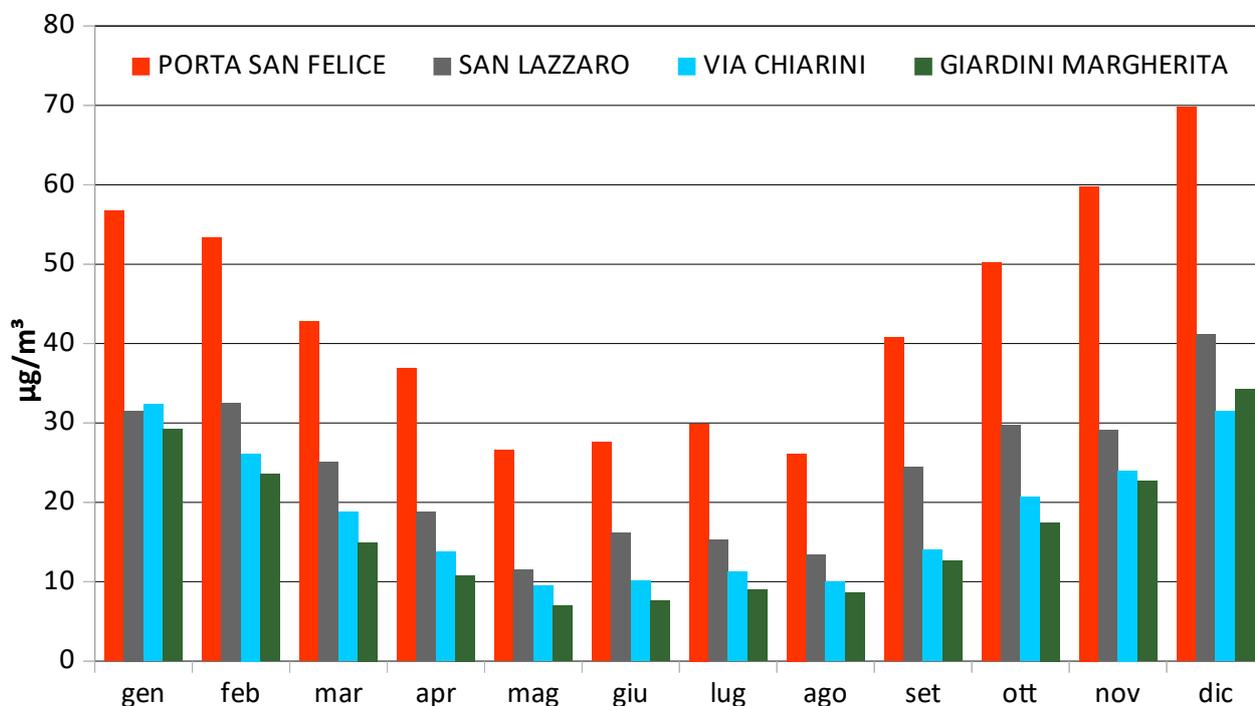


Figura 12 - Agglomerato - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2021

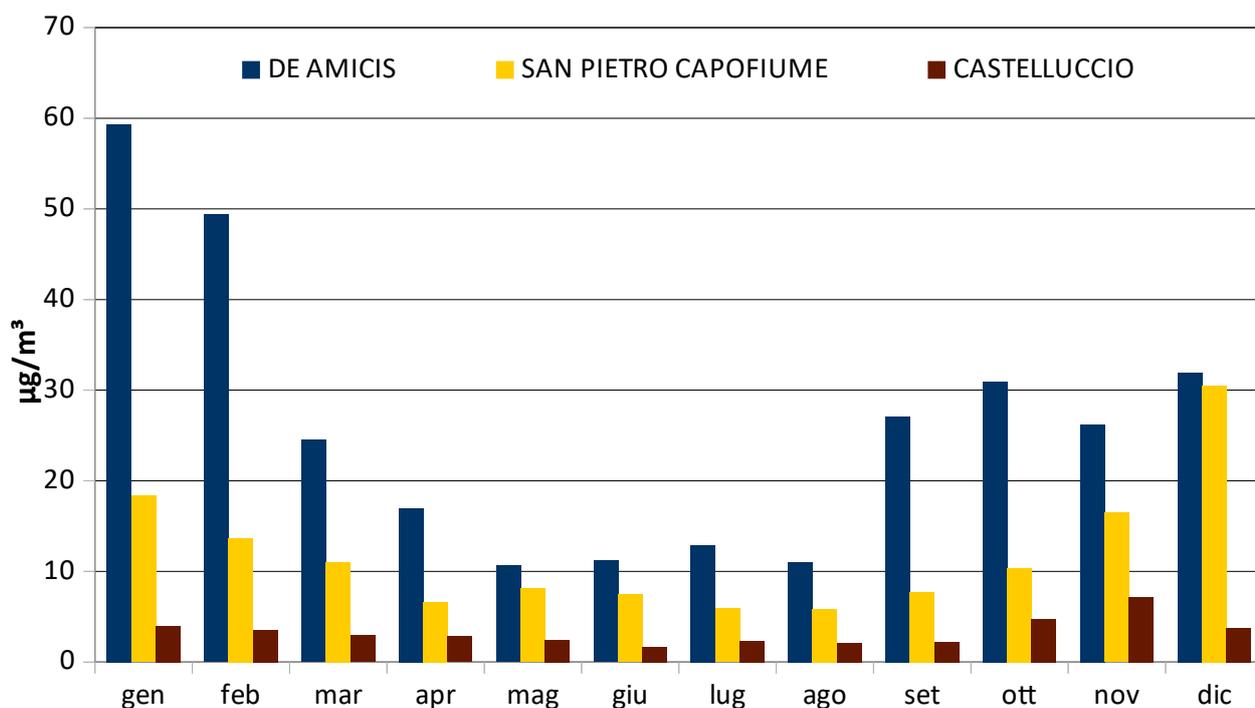


Figura 13 - Pianura e Appennino - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2021

L'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2021 (Figure 12 e 13, Tabella 6) permette di evidenziare, sia per le stazioni dell'Agglomerato che della Pianura, l'andamento stagionale: si osserva infatti un incremento nei mesi più freddi dell'anno, quando tipicamente l'NO₂ raggiunge le concentrazioni più elevate, a causa anche del funzionamento degli impianti di riscaldamento che ne incrementa la sintesi. Nei mesi più caldi, invece, l'NO₂ viene non solo disperso più efficacemente dalle correnti ascensionali ma le maggiori intensità delle radiazioni ultraviolette innescano complesse reazioni chimiche in atmosfera, che provocano anche, tra le altre, la rimozione di NO₂ per trasformazione in altri composti. Per quanto concerne le stazioni dell'Agglomerato, i valori medi di biossido di azoto più elevati sono stati registrati sempre dalla stazione di Porta San Felice, in particolare a dicembre 2021.

NO ₂ (µg/m ³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	57	53	43	37	27	28	30	26	41	50	60	70
GIARDINI MARGHERITA	29	24	15	11	< 8	8	9	9	13	17	23	34
VIA CHIARINI	32	26	19	14	10	10	11	10	14	21	24	32
SAN LAZZARO	32	32	25	19	12	16	15	13	24	30	29	41
DE AMICIS	59	49	25	17	11	11	13	11	27	31	26	32
SAN PIETRO CAPOFUME	18	14	11	< 8	8	< 8	< 8	< 8	8	10	16	30
CASTELLUCCIO	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8

■ percentuale di dati inferiore al 90% ■ percentuale di dati inferiore al 75%

Tabella 6 - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2021

Per visualizzare l'andamento giornaliero caratteristico di NO₂ si è fatto ricorso all'elaborazione dei giorni tipo per le stazioni da traffico Porta San Felice (Figura 14) e di fondo urbano Giardini Margherita (Figura 15), considerando separatamente giorni feriali, sabato e domenica.

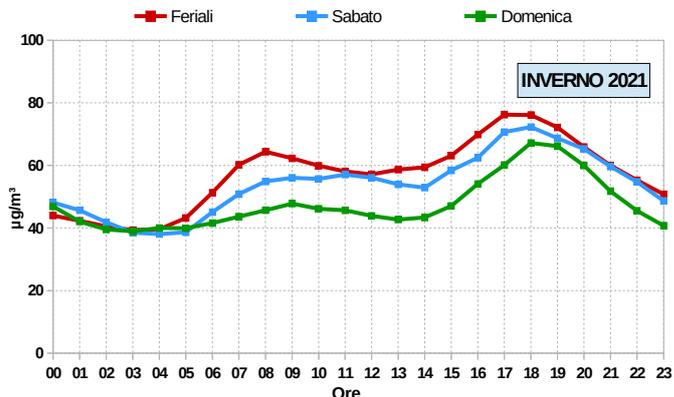
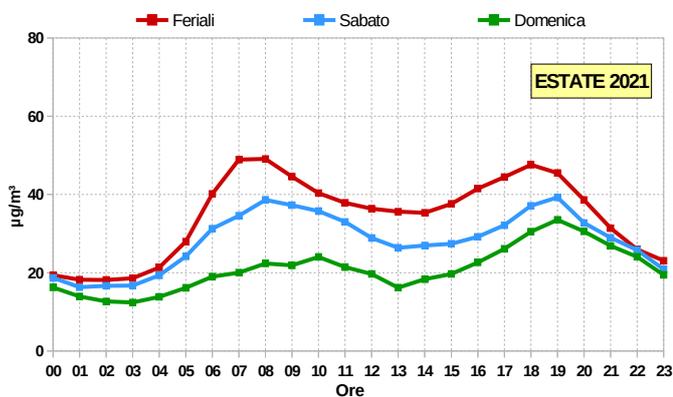


Figura 14 - Porta San Felice, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

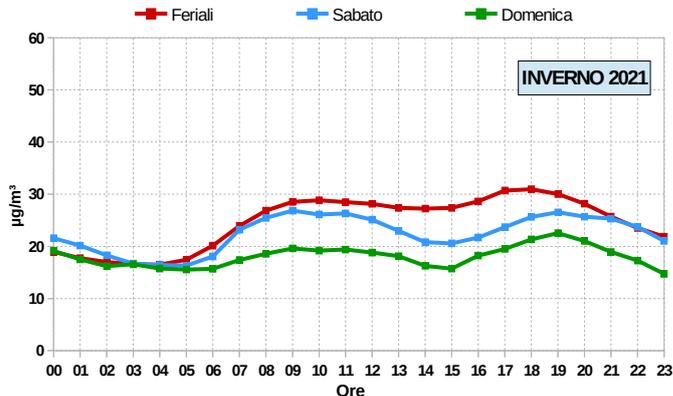
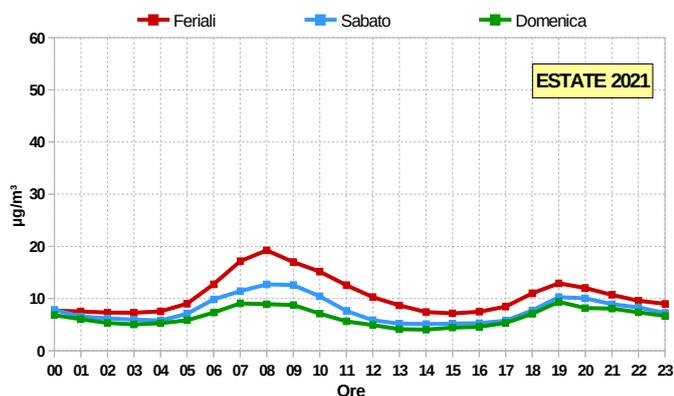


Figura 15 - Giardini Margherita, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

L'andamento delle concentrazioni del giorno tipo mostra una certa dipendenza dai flussi veicolari, osservabile in entrambe le stazioni, seppur più accentuata per Porta San Felice. Le concentrazioni più elevate infatti si registrano in corrispondenza delle ore di punta del traffico, mattutine (dalle 7 alle 10) e pomeriggio-serali (attorno alle 16-21).

Dall'analisi stagionale emerge come le concentrazioni raggiungano minimi più accentuati nelle ore centrali delle giornate estive, sia per effetto delle reazioni fotochimiche, sia per effetto delle diverse condizioni meteorologiche che in estate sono caratterizzate da maggiore trasporto e dispersione su uno strato più alto dell'atmosfera rispetto al periodo invernale.

In Figura 16 e nella successiva tabella sono riportati i valori delle medie annuali rilevate a partire dal 2012 e per le quali siano presenti almeno il 90% dei dati orari dell'anno.

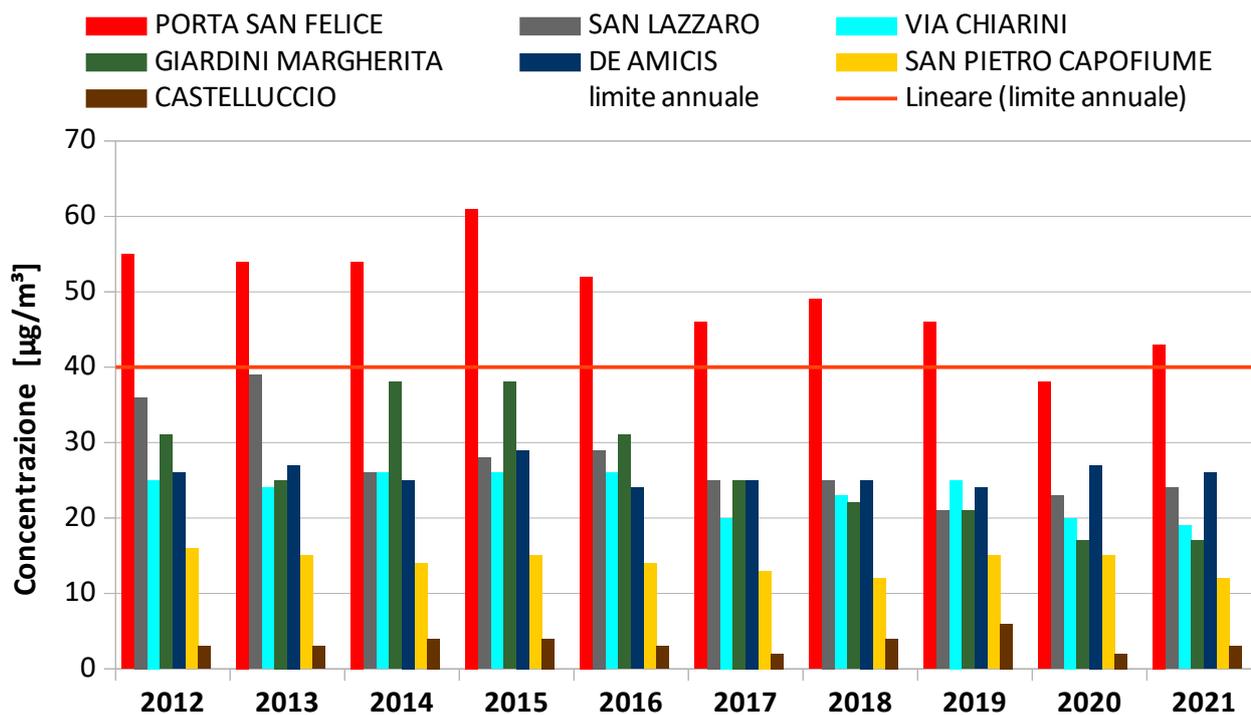


Figura 16 - NO₂ Confronto medie annuali 2012-2021

NO ₂ (µg/m ³) – Medie annuali 2012 – 2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PORTA SAN FELICE	55	54	54	61	52	46	49	46	38	43
SAN LAZZARO	36	39	26	28	29	25	25	21	23	24
GIARDINI MARGHERITA	31	25	38	38	31	25	22	21	17	17
VIA CHIARINI	25	24	26	26	26	20	23	25	20	19
DE AMICIS	26	27	25	29	24	25	25	24	27	26
SAN PIETRO CAPOFIUME	16	15	14	15	14	13	12	15	15	12
CASTELLUCCIO	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<8	<8

percentuale di dati validi inferiore al 90%

Tabella 7 - NO₂: Andamento temporale delle medie annuali

Come detto, 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, abbastanza evidente almeno dal 2015 in poi, pur con episodi di occasionali incrementi. Per le altre stazioni, al contrario, non è così facile rintracciare delle tendenze consolidate: da un lato si potrebbe dire che per San Lazzaro e De Amicis sembra di vedere un lieve incremento negli ultimi anni, così come a Chiarini i dati più recenti parrebbero

in diminuzione, come pure a Giardini Margherita, considerando però un periodo temporale più lungo mentre a San Pietro Capofiume si nota una sostanziale costanza del valore annuale. In generale comunque non si riesce a evincere un trend univoco valido per tutta la rete per la grandezza in esame.

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 unicamente per le stazioni della rete di rilevamento situate a San Pietro Capofiume (comune di Molinella) e a Castelluccio (comune di Alto Reno Terme). In Tabella 8 sono riportati i valori calcolati su queste due stazioni di fondo per la grandezza in oggetto. Come si può osservare, in entrambi i casi il livello critico annuale fissato dalla normativa viene rispettato.

NO_x anno 2021 – Concentrazioni in µg/m³		
<i>Stazione</i>	<i>N. dati validi</i>	<i>MEDIA</i>
SAN PIETRO CAPOFIUME	8640	20
CASTELLUCCIO	8221	<8

LIVELLO CRITICO	Media annuale	30 µg/m³
------------------------	----------------------	----------------------------

Tabella 8 - Protezione della Vegetazione: NO_x Media annuale 2021

OZONO - O₃**Che cos'è**

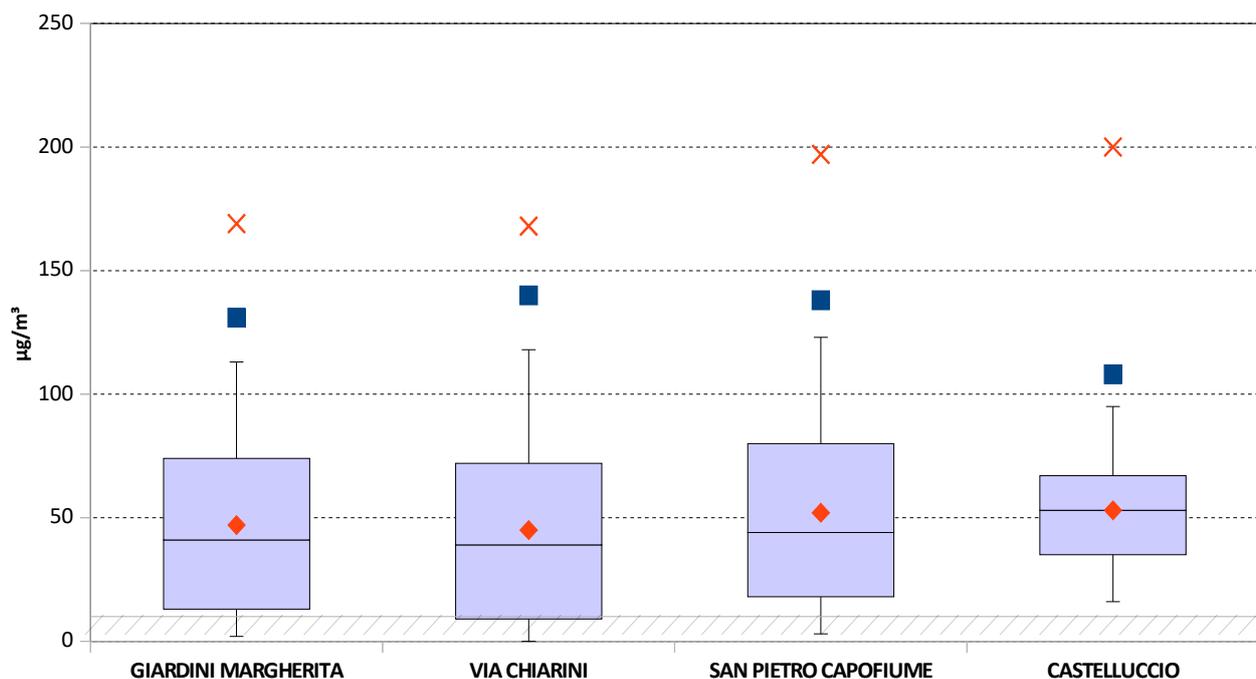
L'ozono è un componente gassoso dell'atmosfera, molto reattivo e aggressivo. Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. Invece negli strati bassi dell'atmosfera terrestre (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 sotto l'irradiazione solare, l'ozono si produce anche per effetto dell'immissione di solventi e ossidi di azoto 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.

O₃ anno 2021 – Concentrazioni in µg/m³

Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	8695	<8	41	47	100	113	131	169
VIA CHIARINI	8434	<8	39	45	98	118	140	168
SAN PIETRO CAPOFIUME	8273	<8	44	52	109	123	138	197
CASTELLUCCIO	8332	<8	53	53	85	95	108	200

Tabella 9 - Ozono: Parametri statistici - anno 2021**Figura 17 - O₃ : Box Plot delle statistiche annuali 2021**

Il box plot (Figura 17) 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 valori di concentrazione mediamente costanti durante l'anno rispetto alle rimanenti stazioni.

Dall'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2021 (Figura 18 e Tabella 10) è possibile mettere in evidenza l'andamento stagionale dell'ozono, concorde 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 una minore variabilità con concentrazioni relativamente alte nei mesi invernali e primaverili di inizio anno, mentre scendono dalla tarda primavera e autunno. Rispetto allo scorso anno, non si osservano sostanziali modifiche degli andamenti dei livelli di concentrazione medie mensili.

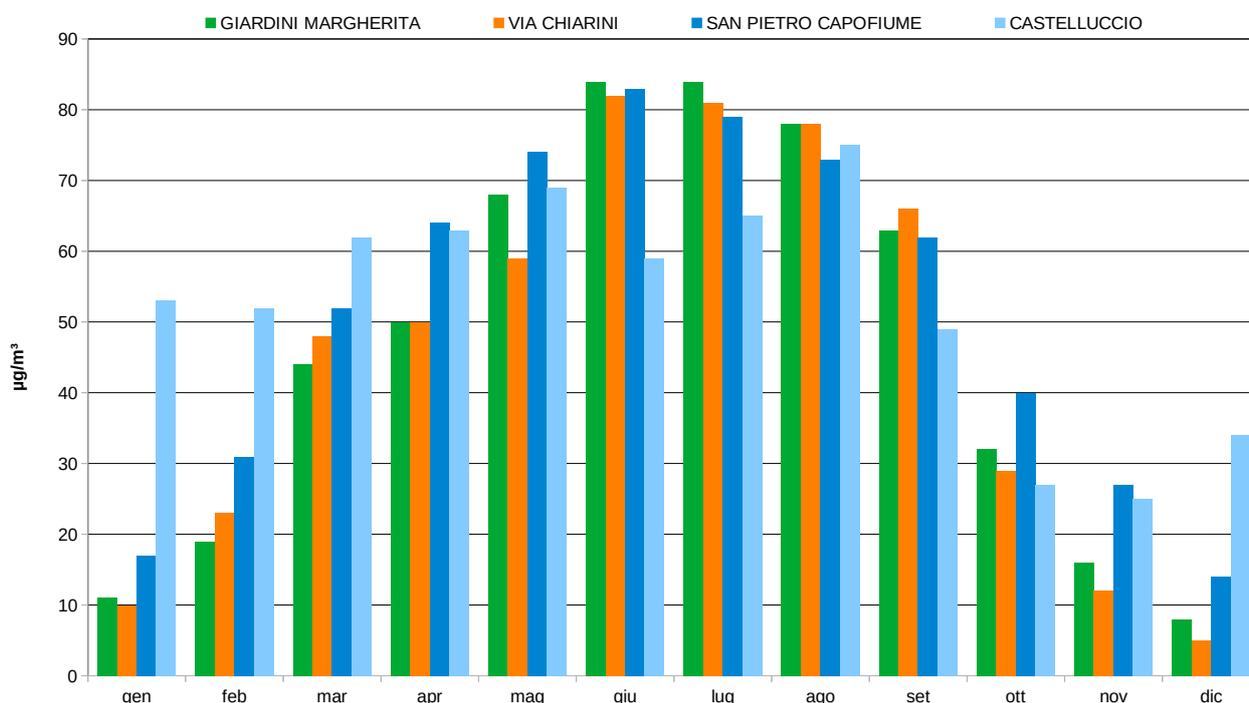


Figura 18 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2021

O ₃ (µg/m ³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	11	19	44	50	68	84	84	78	63	32	16	8
VIA CHIARINI	10	23	48	50	59	82	81	78	66	29	12	< 8
SAN PIETRO CAPOFUME	17	31	52	64	74	83	79	73	62	40	27	14
CASTELLUCCIO	53	52	62	63	69	59	65	75	49	27	25	34

Tabella 10 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2021

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

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.

O ₃ anno 2021 – numero ore di superamento soglia di informazione (180 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2021
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN PIETRO CAPOFUME	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3

Tabella 11 - Ozono: Superamenti soglia di informazione - anno 2021

In Tabella 11 sono riportate le ore di superamento per la soglia di informazione con un dettaglio mensile. Per quanto riguarda la soglia di allarme non sono stati registrati superamenti in nessuna delle stazioni dell'area metropolitana.

Per la protezione della salute umana sul medio e lungo periodo il decreto prevede:

- il valore obiettivo 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;
- l'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana calcolato come media massima giornaliera su 8 ore nell'arco di un anno civile, pari a 120 µg/m³.

In Tabella 12 è riportato il numero di superamenti del valore obiettivo per l'anno considerato come media degli ultimi 3 anni. Per tutte le stazioni, tranne Castelluccio, si registra ancora il superamento del limite normativo.

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

O ₃ anno 2021 – numero giorni di superamento valore obiettivo (120 µg/m ³)	
Stazione	media 3 anni
GIARDINI MARGHERITA	42
VIA CHIARINI	45
SAN PIETRO CAPOFIUME	43
CASTELLUCCIO	4
LIMITE NORMATIVO	N° max sup. 25

 > valore limite

Tabella 12 - Ozono: Superamenti valore obiettivo per la salute umana - anno 2021

O ₃ anno 2021 – 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	2021
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	9	12	8	5	0	0	0	34
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	12	14	10	6	0	0	0	42
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	5	2	18	13	7	7	0	0	0	52
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	1	2	5	0	0	0	0	8

Tabella 13 - Ozono: Superamenti obiettivo a lungo termine per la salute umana - anno 2021

Le rappresentazioni del giorno tipo stagionale (Figura 19) evidenziano per la stagione estiva un andamento che segue il processo di formazione dell'inquinante: le concentrazioni risultano più elevate nelle ore centrali della giornata, caratterizzate da maggiore intensità della radiazione solare. I valori diurni di concentrazione più elevati sono stati registrati nelle stazioni di fondo rurale di San Pietro Capofiume; tuttavia, nell'analisi media di periodo, tali dati non si sono discostati molto da quelli rilevati nella stazione di fondo sub urbano (Giardini Margherita e via Chiarini). Durante l'inverno invece, l'andamento giornaliero è nettamente meno marcato, con la stazione di Castelluccio (fondo remoto) che presenta livelli di concentrazione orari superiori a quelli delle altre stazioni.

Le concentrazioni di ozono, tipico inquinante secondario, possono essere influenzate dalle dinamiche di trasporto e degradazione dei precursori verso le aree rurali, che possono così trovarsi ad essere interessate da livelli più elevati rispetto alle aree urbane vicine. Inoltre nelle città una parte dell'ozono, composto molto reattivo, in presenza di basse intensità di radiazione solare viene eliminato per reazione

con l'ossido di azoto, mentre nelle aree suburbane o rurali ne è favorito l'accumulo a causa di concentrazioni inferiori di monossido di azoto e composti organici.

Un altro aspetto interessante legato ai giorni tipo di Castelluccio e già osservato negli anni precedenti, è che sia nel caso di quello invernale che di quello estivo, gli andamenti orari appaiono molto più costanti rispetto a quanto accade sulle altre stazioni; questo è probabilmente dovuto alle 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 quello che avviene per tutte le altre centraline della pianura.

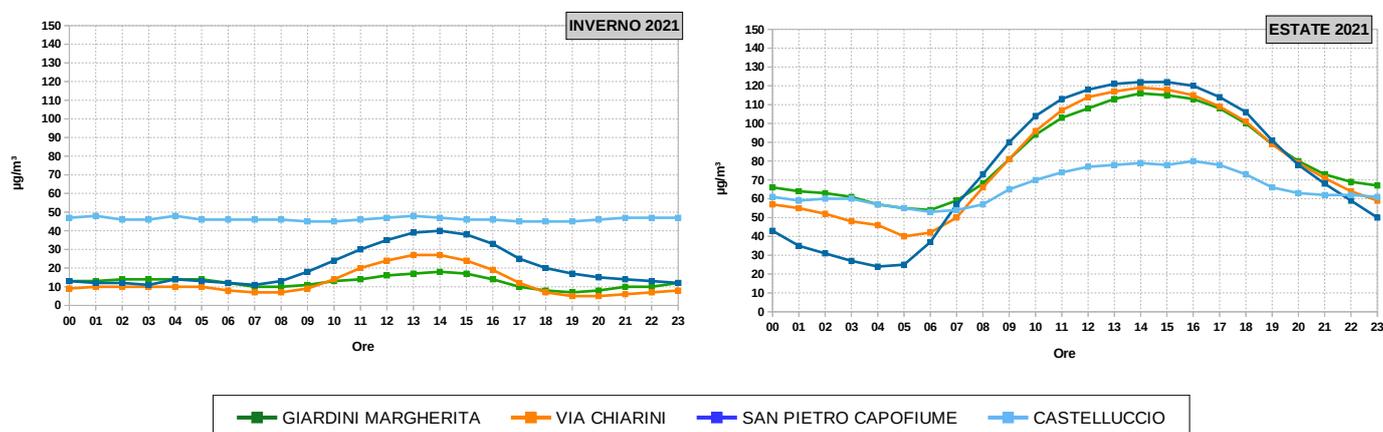


Figura 19 - Ozono: Giorno tipo invernale ed estivo

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 µg/m³ corrispondenti a 40 ppb e il valore di 80 µg/m³ 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 µg/m³ * 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 2021 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).

O ₃ anno 2021 Valori AOT40 anno 2021 – Concentrazioni in µg/m³*h			
Stazione	n.datì validi	AOT stimato	Media ultimi 5 anni
VIA CHIARINI	1090	23137	23663
SAN PIETRO CAPOFIUME	1078	31738	22059
CASTELLUCCIO	1091	4723	5872
RIFERIMENTI NORMATIVI	90% dati orari nel periodo di tempo definito per il Calcolo	Obiettivo a Lungo termine	Valore Obiettivo
		6000	18000

> valore obiettivo

Tabella 14 - Protezione della Vegetazione: AOT40 anno 2021

In Tabella 15 e Tabella 16 sono riportate le serie storiche 2012-2021 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.

O ₃ soglia di informazione – numero ore di superamento media oraria (180 µg/m ³) 2012 – 2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
GIARDINI MARGHERITA	10	74	15	7	9	15	0	18	0	0
VIA CHIARINI	39	26	6	35	9	29	0	25	6	0
SAN PIETRO CAPOFIUME	2	4	0	0	4	0	0	2	0	3
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

- analizzatore non attivo 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 8 h (120 µg/m ³) 2012 – 2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
GIARDINI MARGHERITA	58	75	44	40	45	52	39	59	33	34
VIA CHIARINI	70	52	25	55	46	51	39	60	34	42
SAN PIETRO CAPOFIUME	58	40	16	36	45	15	45	51	26	52
CASTELLUCCIO	12	5	2	14	1	11	0	5	0	8

- analizzatore non attivo mesi estivi validi < 5

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

In Figura 20 sono riportate le serie annuali dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine confrontati con il numero di giorni 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 2021 comunque, rispetto all'anno precedente, all'aumentp del numero di giorni potenzialmente critici per i livelli di ozono ha fatto seguito anche un generale incremento del numero di superamenti delle soglie normative.

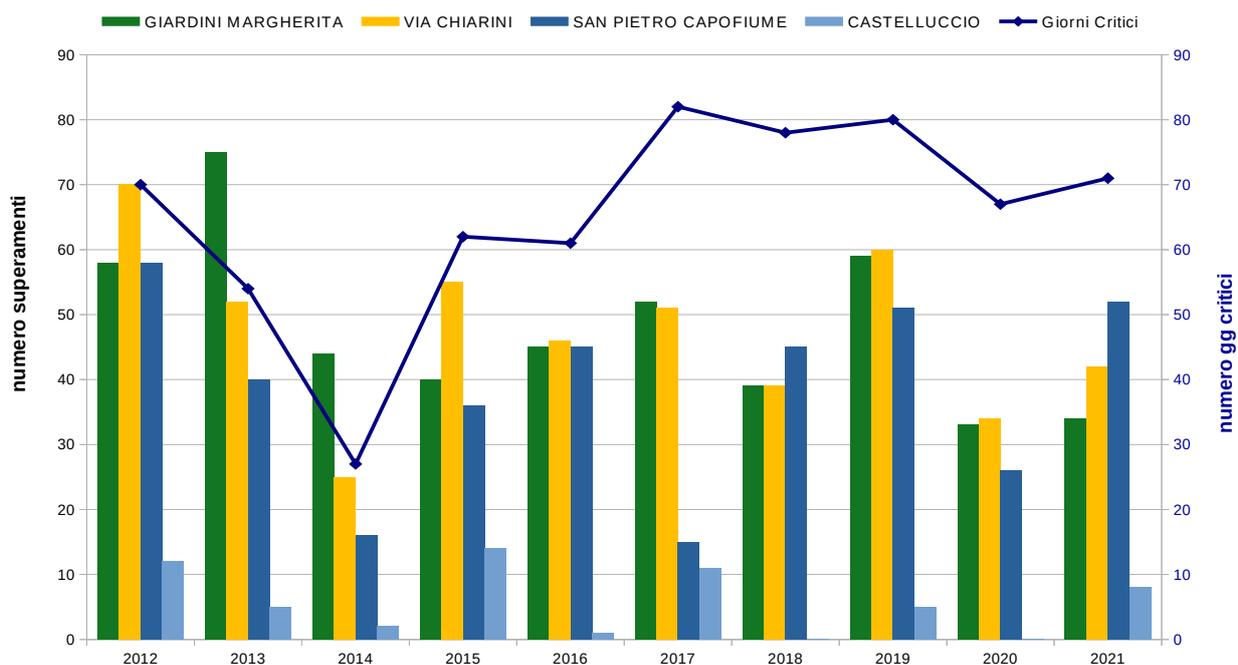


Figura 20 - O₃ Confronto superamenti obiettivo a lungo termine e numero di giorni critici

PARTICOLATO PM₁₀

Che cos'è

Per materiale particolato aerodisperso si intende l'insieme delle particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico variabile fra 0.1 e circa 100 µm. Il termine PM₁₀ identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 10 µm (1 µm = 1 millesimo di millimetro). In generale il materiale particolato di queste dimensioni è caratterizzato da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e può, quindi, essere trasportato anche a grande distanza dal punto di emissione. Ha una natura chimica particolarmente 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, in parte, è emesso direttamente dalle sorgenti (PM₁₀ primario) e in parte, si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM₁₀ secondario). Il PM₁₀ può avere sia un'origine naturale (erosione dei venti sulle rocce, eruzioni vulcaniche, incendi di boschi e foreste), sia 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 2021 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	359	<3	21	26	47	58	73	112
SAN LAZZARO	349	<3	23	27	47	57	76	103
GIARDINI MARGHERITA	339	<3	19	23	44	53	69	101
VIA CHIARINI	360	<3	17	21	39	49	62	91
DE AMICIS	358	<3	18	22	43	51	67	108
SAN PIETRO CAPOFIUME	358	<3	18	22	42	54	66	88
CASTELLUCCIO	355	<3	8	10	17	22	32	73

VALORE LIMITE	<i>Media annuale</i>	40 µg/m³
----------------------	----------------------	----------------------------

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

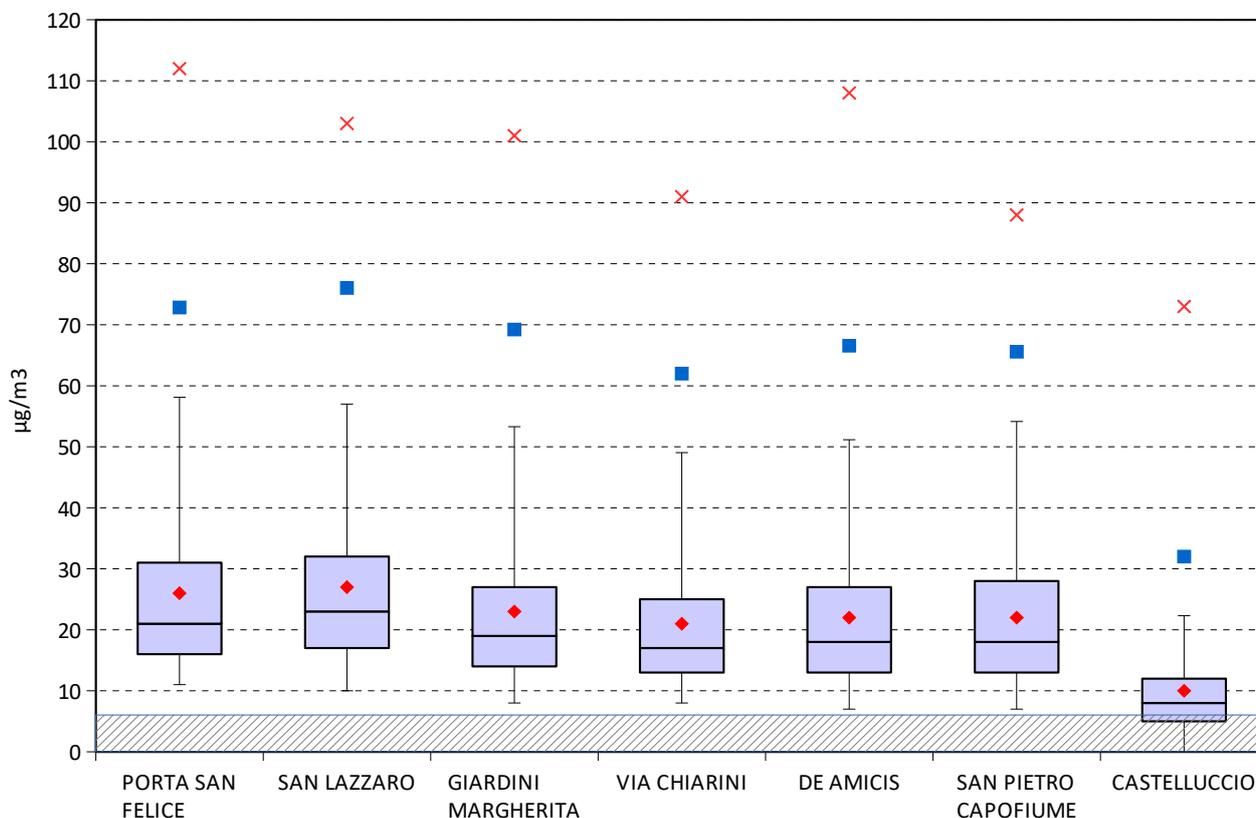


Figura 21 - PM₁₀ : Box Plot delle statistiche annuali 2021

La valutazione delle concentrazioni estesa all'intero anno (Tabella 17) mostra che nel 2021 le medie annuali ottenute non superano il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in nessuno dei siti di misura, inclusa la stazione da traffico Porta San Felice nell'agglomerato di Bologna. Dal box plot di Figura 21 si evidenzia che le distribuzioni annuali dei dati sono maggiormente disperse verso i valori massimi per la maggior parte delle stazioni e simili tra loro (questo in parte giustificabile con la natura parzialmente secondaria del particolato), ad eccezione della stazione di Castelluccio, la cui distribuzione risulta centrata attorno ad un valore medio nettamente inferiore. Il valore massimo, anomalo, registrato a Castelluccio per il PM_{10} è stato causato da un evento di trasporto di sabbie sahariane iniziato il 21 giugno 2021 e durato per alcuni giorni.

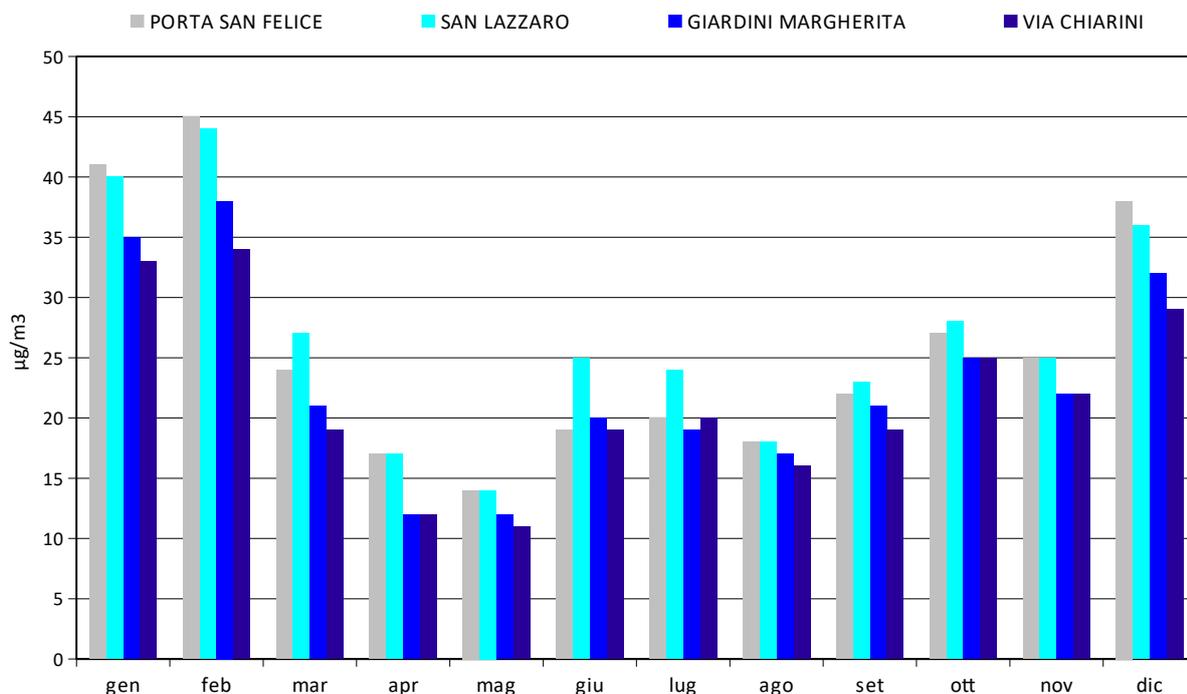


Figura 22 - Agglomerato - PM_{10} Concentrazioni medie mensili 2021

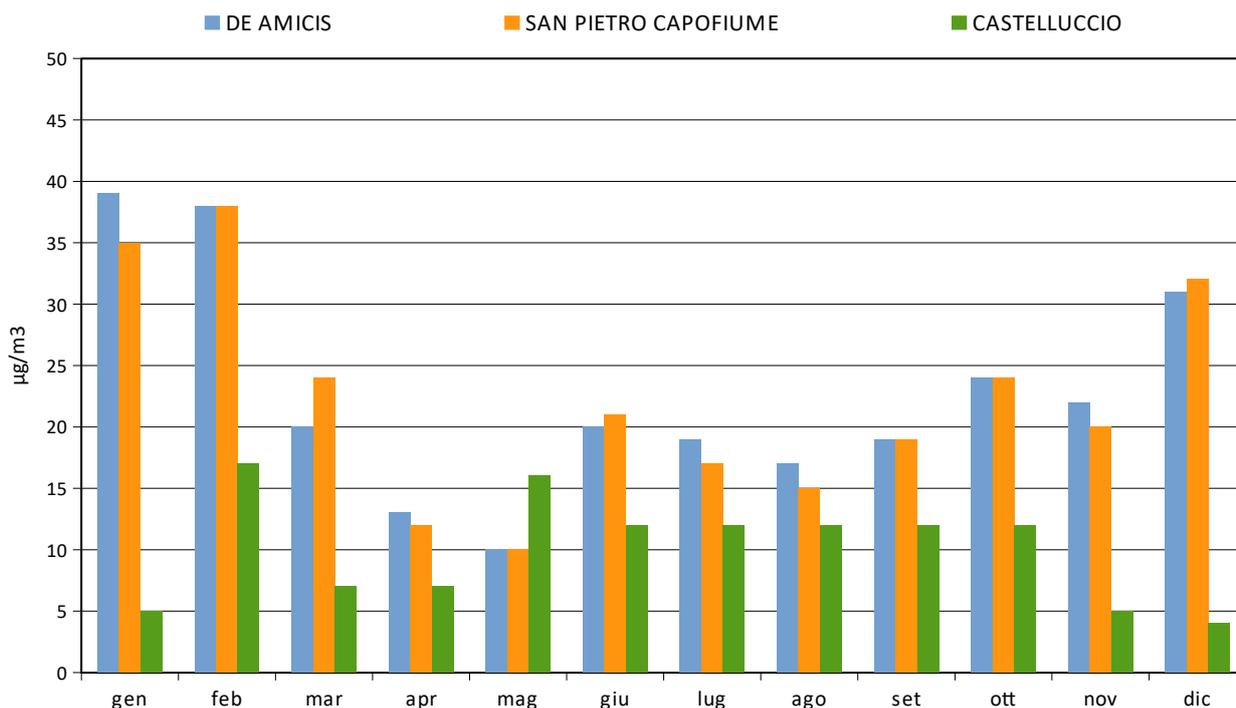


Figura 23 - Pianura e Appennino - PM_{10} Concentrazioni medie mensili 2021

Per il 2021 le medie mensili delle stazioni dell'Agglomerato (Figura 22) hanno mantenuto il consueto andamento stagionale con concentrazioni più elevate nel semestre invernale per tutte le centraline. Si osserva che nel mese di novembre 2021 le concentrazioni sono meno elevate rispetto al mese di ottobre a causa delle precipitazioni del periodo. Andamento analogo si osserva per le stazioni di Pianura (Figura 23). A Castelluccio il trend dei mesi invernali, opposto a quello di tutte le altre stazioni, potrebbe essere legato sia ad eventi piovosi locali più abbondanti rispetto al resto del territorio, sia all'altezza dello strato di rimescolamento. I dati relativi alle medie mensili sono riepilogati nella Tabella 18.

PM ₁₀ (µg/m ³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	41	45	24	17	14	19	20	18	22	27	25	38
SAN LAZZARO	40	44	27	17	14	25	24	18	23	28	25	36
GIARDINI MARGHERITA	35	38	21	12	12	20	19	17	21	25	22	32
VIA CHIARINI	33	34	19	12	11	19	20	16	19	25	22	29
DE AMICIS	39	38	20	13	10	20	19	17	19	24	22	31
SAN PIETRO CAPOFIUME	35	38	24	12	10	21	17	15	19	24	20	32
CASTELLUCCIO	5	17	11	7	7	16	12	12	12	12	5	<5

percentuale di dati validi inferiore al 90% percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 18 - PM10 Concentrazioni medie mensili 2021

Il numero dei giorni di superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nell'anno 2021 è riportato in Tabella 19: il numero annuale massimo di 35 giorni di superamento, consentiti dalla normativa, non è stato superato in nessuna delle centraline.

PM ₁₀ anno 2021 – 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	2021
PORTA SAN FELICE	8	11	1	0	0	0	0	0	0	4	1	4	29
SAN LAZZARO	7	10	2	0	0	1	0	0	0	4	0	4	28
GIARDINI MARGHERITA	5	9	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	21
VIA CHIARINI	5	5	0	0	0	1	0	0	0	4	0	2	17
DE AMICIS	7	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	19
SAN PIETRO CAPOFIUME	9	9	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	24
CASTELLUCCIO	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	6

VALORE LIMITE	N° max giorni di superamento
	35

percentuale di dati validi inferiore al 90% percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 19 - PM₁₀ : Superamenti del valore limite giornaliero - anno 2021

Rispetto ai due anni precedenti, il numero di superamenti del valore limite giornaliero dell'anno in esame è tendenzialmente diminuito. (Tabella 20 e Figura 24).

PM ₁₀ – numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³) 2012 – 2021											
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
PORTA SAN FELICE	73	57	23	38	33	40	18	32	42	29	
GIARDINI MARGHERITA	33	10	14	23	21	27	10	23	30	21	
VIA CHIARINI	40	18	19	25	22	35	14	21	22	17	
SAN LAZZARO	43	25	20	35	27	37	13	29	34	28	
DE AMICIS	38	19	15	19	20	27	17	20	35	19	
SAN PIETRO CAPOFIUME	40	19	21	26	14	41	15	31	39	24	
CASTELLUCCIO	1	1	0	0	1	0	0	0	1	6	

percentuale di dati validi inferiore al 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.

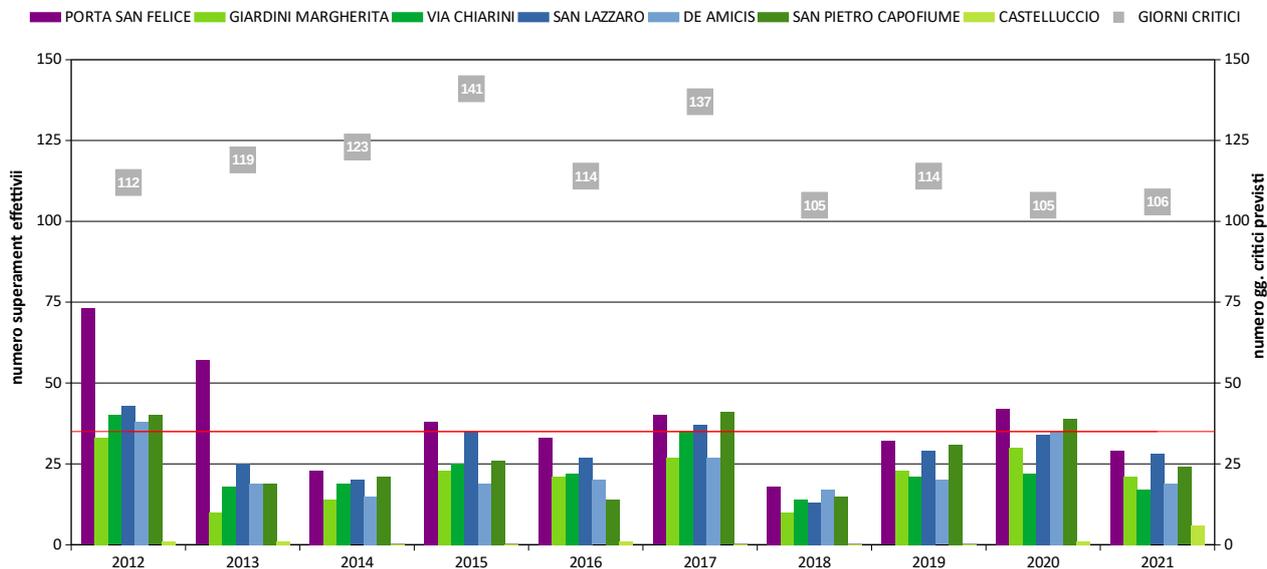


Figura 24 - PM₁₀ Confronto superamenti 50 µg/m³ e numero di giorni critici

In Figura 25 e Tabella 21 è riportato il trend 2012-2021 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.

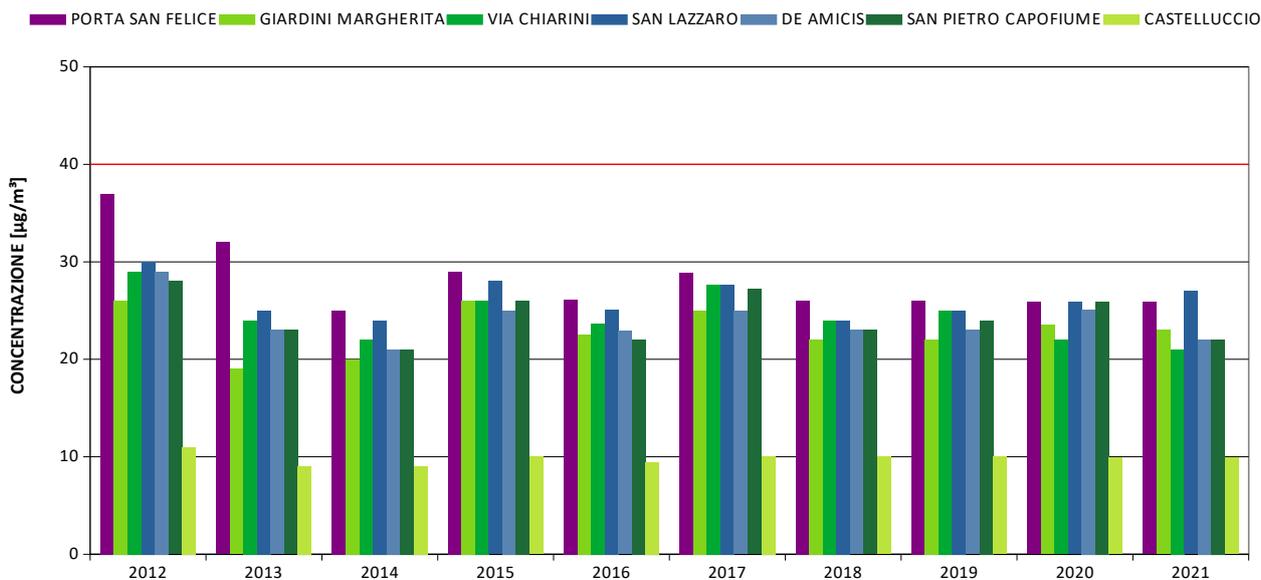


Figura 25 - PM₁₀ Andamento delle medie annuali 2012-2021

PM ₁₀ (µg/m ³) – Medie annuali 2012 – 2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PORTA SAN FELICE	37	32	25	29	26	29	26	26	26	26
GIARDINI MARGHERITA	26	19	20	26	23	25	22	22	24	23
VIA CHIARINI	29	24	22	26	24	28	24	25	22	21
SAN LAZZARO	30	25	24	28	25	28	24	25	26	27
DE AMICIS	29	23	21	25	23	25	23	23	25	22
SAN PIETRO CAPOFIUME	28	23	21	26	22	27	23	24	26	22
CASTELLUCCIO	11	9	9	10	9	10	10	10	10	10

 percentuale di dati validi inferiore al 90%

Tabella 21 - PM₁₀: Andamento temporale delle medie annuali

PARTICOLATO PM_{2.5}

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 µm (1 µm = 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 PM₁₀, le fonti naturali sono sostanzialmente: aerosol marino, suolo risollevato e trasportato dal vento etc.

PM _{2.5} anno 2021- Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	361	<5	12	16	31	41	50	85
GIARDINI MARGHERITA	353	<5	10	14	29	35	44	84
SAN PIETRO CAPOFIUME	360	<5	12	16	32	40	54	66
CASTELLUCCIO	350	<5	<5	5	9	12	14	20

VALORE LIMITE	<i>Media annuale</i>	25	µg/m³
----------------------	----------------------	-----------	-------------------------

 > valore limite  percentuale di dati validi inferiore al 90%

Tabella 22 - Particolato PM_{2.5}: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

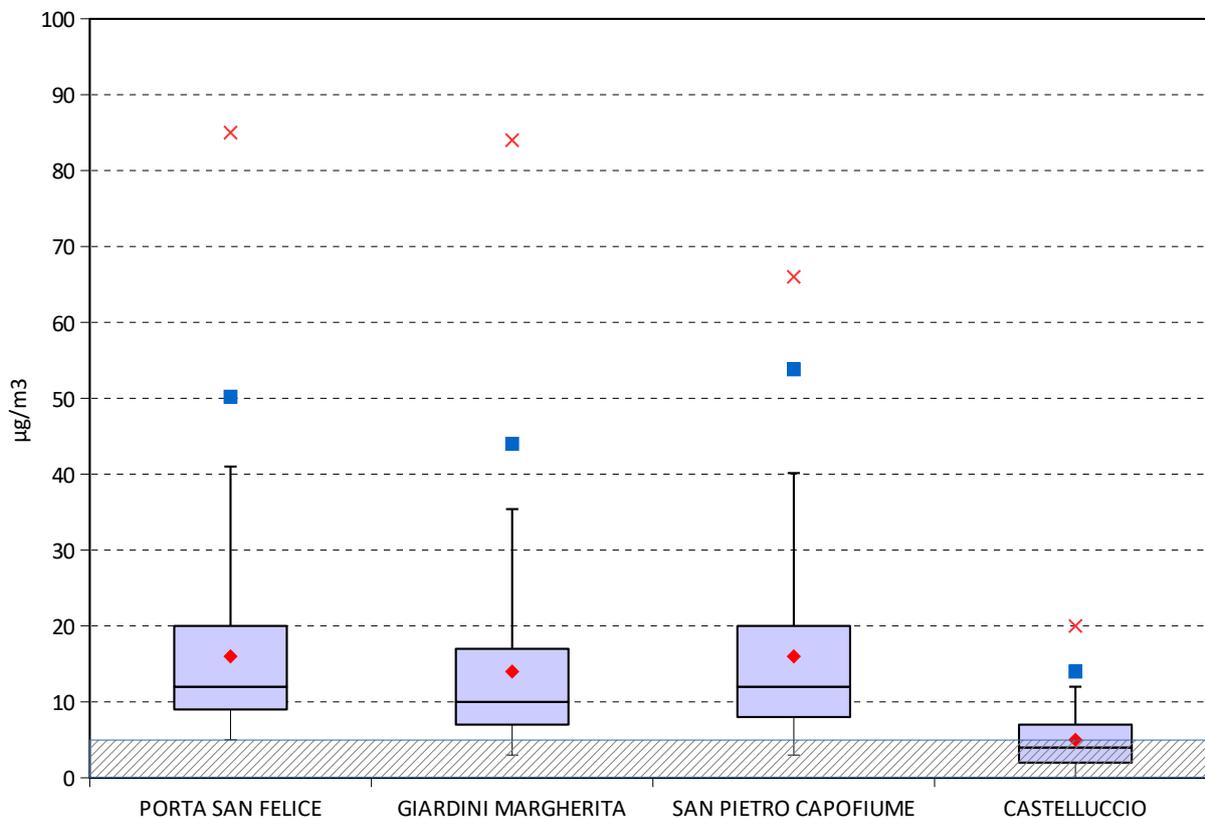


Figura 26 - PM2.5 : Box Plot delle statistiche annuali 2021

Le concentrazioni medie annue risultano nel 2021 significativamente inferiori al valore limite di 25 µg/m³ ed anche al valore limite indicativo di 20 µg/m³ (che avrebbe potuto entrare in vigore dal 1° gennaio 2020) per tutte le postazioni presenti sul territorio metropolitano.

In Figura 26 il box plot illustra per le stazioni di Pianura e Agglomerato una distribuzione dei dati molto simile, favorita dalle caratteristiche chimico fisiche del PM_{2.5}. Analogamente al particolato PM₁₀ anche per le PM_{2.5}, la stazione di Castelluccio ha un comportamento a sé stante.

Si evidenzia l'assenza di un valore massimo anomalo a Castelluccio che invece si era registrato per il PM₁₀, a conferma che gli eventi di febbraio e giugno 2021 di trasporto di polveri sahariane, hanno riguardato principalmente particolato più grossolano rispetto al PM_{2.5}.

In Tabella 23 e in Figura 27 vengono raccolte le medie mensili dei valori di concentrazione del particolato PM_{2.5} per l'anno 2021, che presentano il caratteristico andamento stagionale con valori più elevati in autunno e in inverno.

PM _{2.5} (µg/m ³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	31	24	14	9	7	10	11	9	13	18	17	29
GIARDINI MARGHERITA	27	22	12	7	5	11	11	8	11	15	14	26
SAN PIETRO CAPOFUME	30	26	19	8	6	11	11	8	12	16	15	28
CASTELLUCCIO	<5	7	6	<5	<5	6	6	5	6	5	<5	<5

■ percentuale di dati validi inferiore al 90% ■ percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 23 - PM_{2.5} Concentrazioni medie mensili 2021

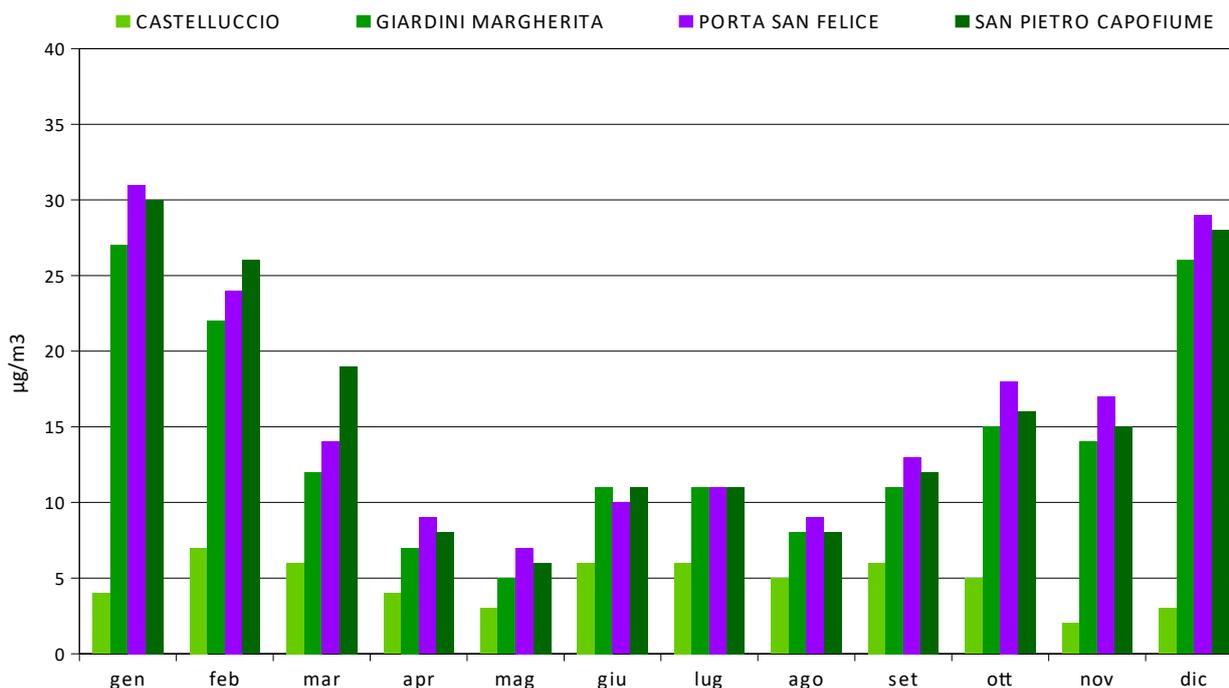


Figura 27 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie mensili - 2021

Un altro aspetto interessante è il confronto tra i valori medi mensili di PM_{2.5} e PM₁₀, in particolare l'andamento mensile dei rapporti percentuali 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}/PM₁₀ presenta infatti una variabilità che dipende oltre che dalla tipologia delle fonti primarie, anche da fattori stagionali.

I minimi 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 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.

L'andamento mensile dei rapporti percentuali nel 2021 (Figura 28) mostra un comportamento simile tra i siti anche se con valori diversi, comunque più elevati nei mesi invernali e per la stazione di pianura di San

Pietro Capofiume. Il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ per la stazione di traffico urbano di Porta San Felice ha un andamento tendenzialmente sovrapponibile alla stazione di fondo urbano di Giardini Margherita. I valori di Porta San Felice restano compresi tra un massimo del 76% in gennaio e dicembre e un minimo del 48% in agosto, mentre i valori di San Pietro Capofiume (stazione di fondo rurale) sono compresi tra un massimo invernale del 88% registrato a dicembre e 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 maggio (19%) ed il valore massimo a marzo (86%).

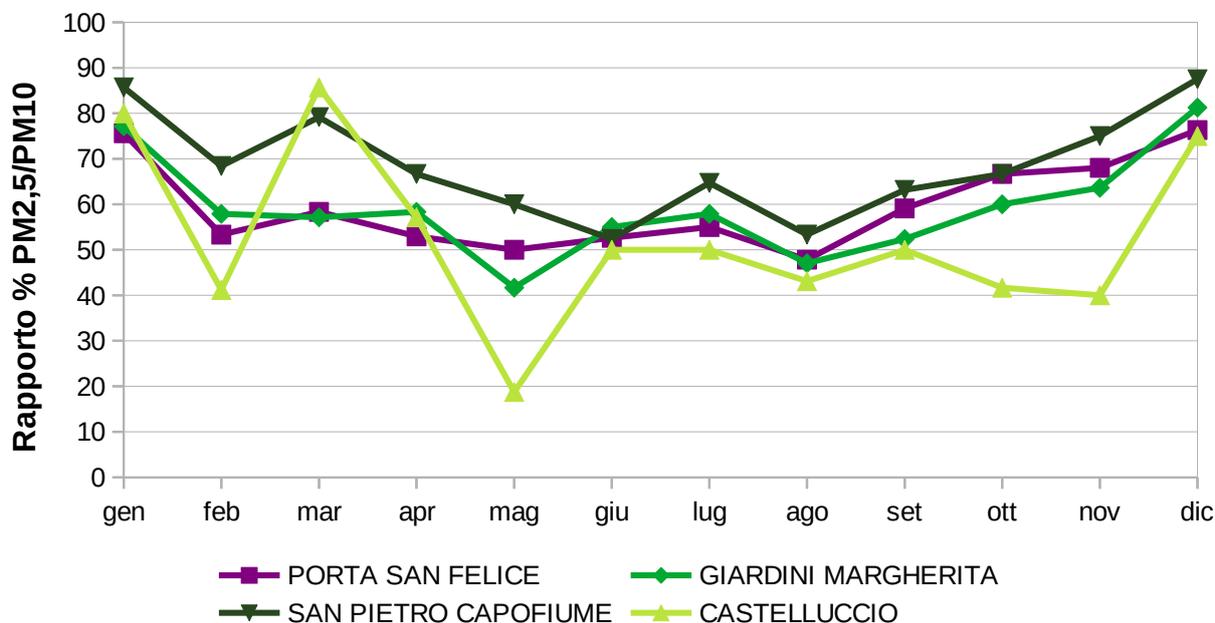


Figura 28 - Rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$: medie mensili 2021

Nel grafico di Figura 29 ed in Tabella 24 si riportano le serie storiche delle medie annuali di $PM_{2.5}$ per le stazioni attive. Tale parametro viene monitorato nelle stazioni di Porta San Felice, di Giardini Margherita, di San Pietro Capofiume e a Castelluccio.

Si può rilevare un andamento meno variato rispetto al PM_{10} anche se tendenzialmente in diminuzione nel lungo periodo.

Il rispetto del valore limite annuale ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è consolidato a partire dal 2008 e, dal 2013, tutte le stazioni registrano una media annuale inferiore o pari a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

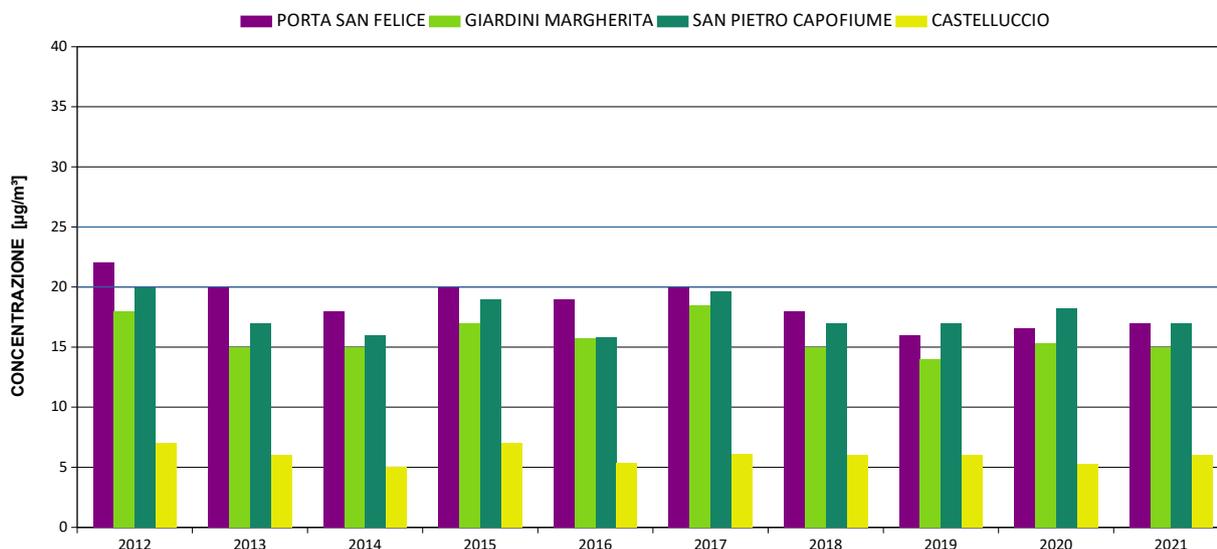


Figura 29 - $PM_{2.5}$ Confronto medie annuali 2012-2021

PM _{2.5} (µg/m ³) – Medie annuali 2012 – 2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PORTA SAN FELICE	22	20	18	20	19	20	18	16	17	17
GIARDINI MARGHERITA	18	15	15	17	16	18	15	14	15	15
SAN PIETRO CAPOFIUME	20	17	16	19	16	20	17	17	18	17
CASTELLUCCIO	7	6	5	7	5	6	6	6	5	6

 percentuale di dati validi inferiore al 90%

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

MONOSSIDO DI CARBONIO - CO

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 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 2021 – Concentrazioni in mg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8601	<0,4	0,6	0,7	1,1	1,2	1,4	3,5

Tabella 25 - Monossido di carbonio: Parametri statistici - anno 2021

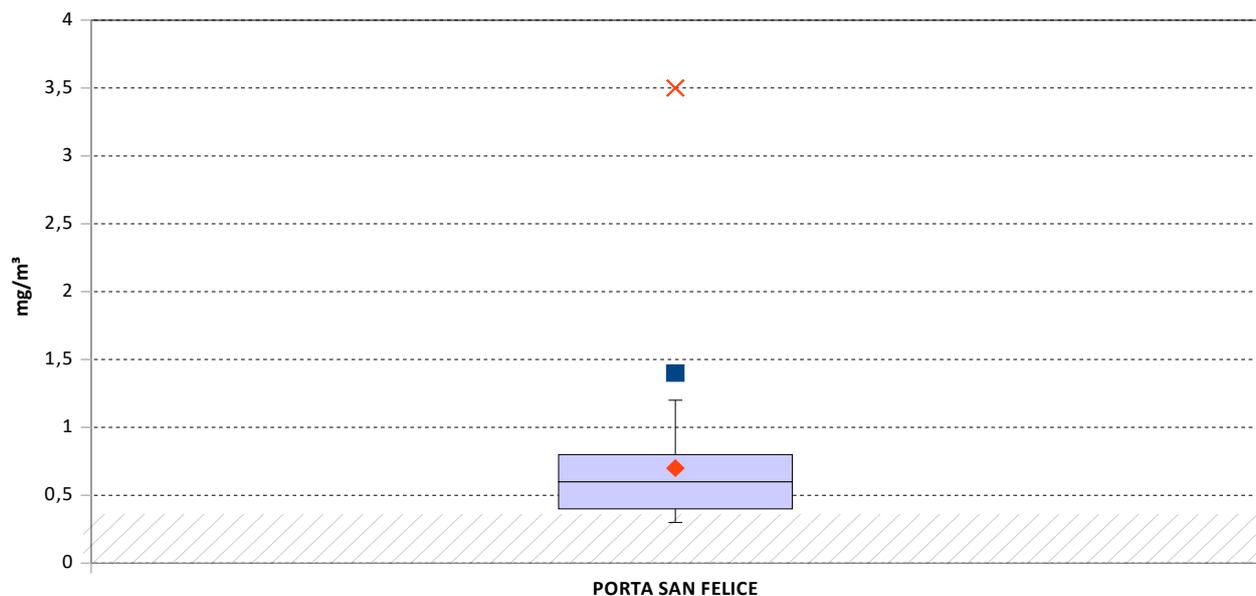


Figura 30 - CO : Box Plot delle statistiche annuali 2021

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'ambito urbano 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 ed anche nel 2021; 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 31 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 coincidere con il limite di quantificazione (0,4 mg/m³).



Figura 31 - CO Concentrazioni medie mensili 2021

CO (mg/m³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTASAN FELICE	1,0	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,8	0,7	1,0

Tabella 26 - CO Concentrazioni medie mensili 2021

Il grafico successivo (Figura 32) illustra il giorno tipo invernale ed estivo. Gli andamenti evidenziano massimi orari nelle ore di punta del traffico diurne e serali, più marcati d’inverno. In estate i valori diminuiscono presentando un andamento più costante durante l’arco della giornata.

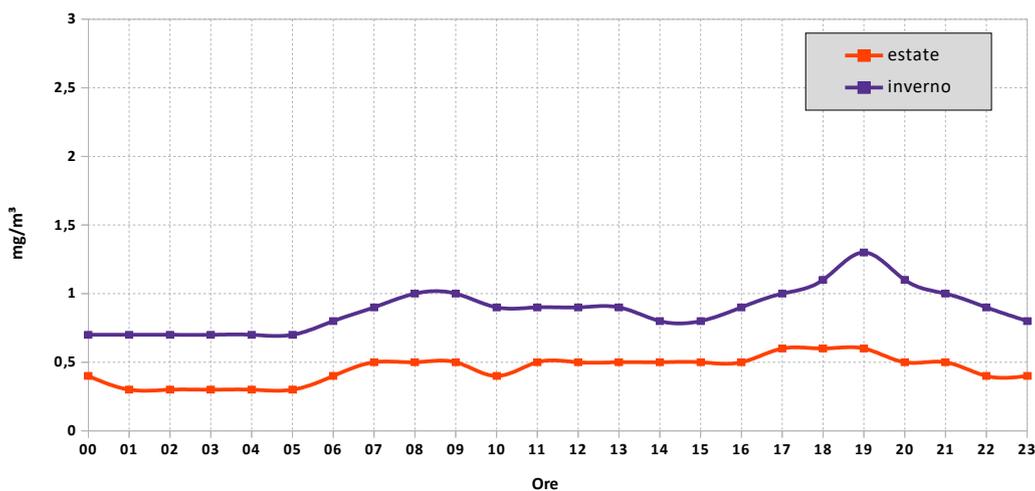


Figura 32 - Stazione da traffico, CO: giorno tipo invernale ed estivo

L'analisi dei dati medi delle serie storiche annuali (tabella 27) e l'andamento temporale delle medie annuali (figura 32), 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.

CO (mg/m ³) – medie annuali 2012-2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PORTA SAN FELICE	0,7	0,7	0,5	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7

Tabella 27 - CO confronto medie annuali 2012-2021

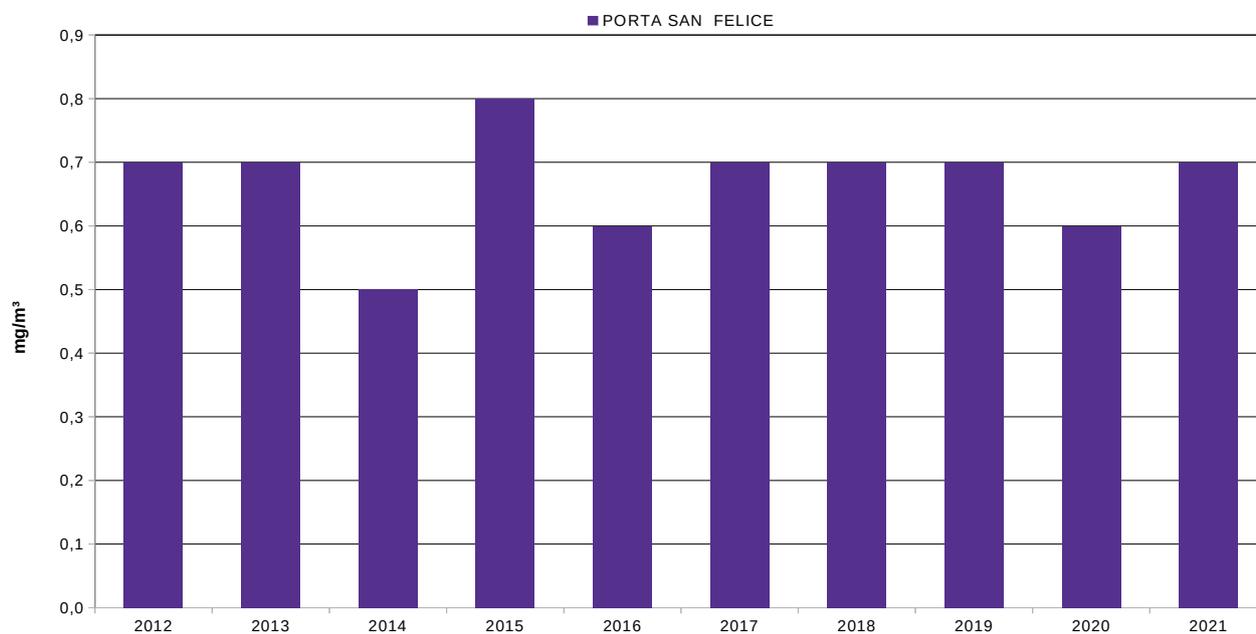


Figura 33 - CO Andamento temporale delle medie annuali

BENZENE - C₆H₆

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 2021 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8161	<0,5	0,7	0,9	1,8	2,3	2,9	8,8

VALORE LIMITE	Media annuale	5,0 µg/m ³
---------------	---------------	-----------------------

Tabella 28 - Benzene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge - anno 2021

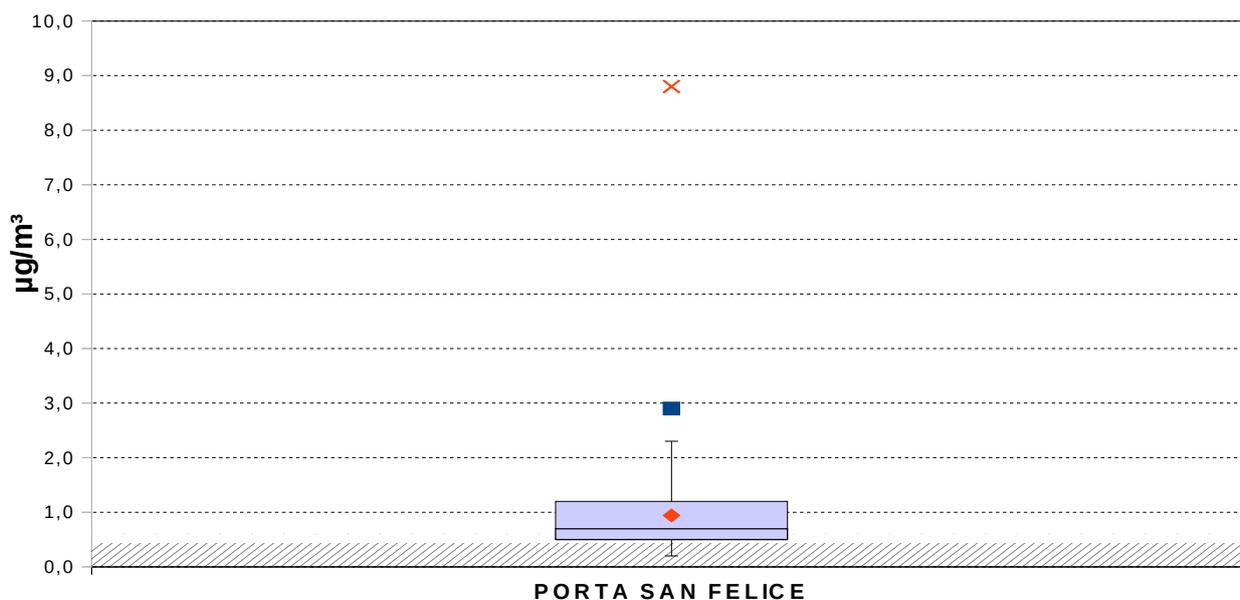


Figura 34 - C₆H₆ : Box Plot delle statistiche annuali 2021

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 34) presenta valori entro il 98° percentile inferiori al limite annuale.

In Tabella 29 e Figura 35 è riportato l'andamento della concentrazione media mensile. Le concentrazioni più elevate si osservano nei mesi invernali, con il valore massimo di 1,8 µg/m³ registrato a gennaio.

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	1,8	1,5	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	<0,5	0,7	1,0	1,2	1,6

percentuale di dati validi inferiore al 90%

percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 29 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2021

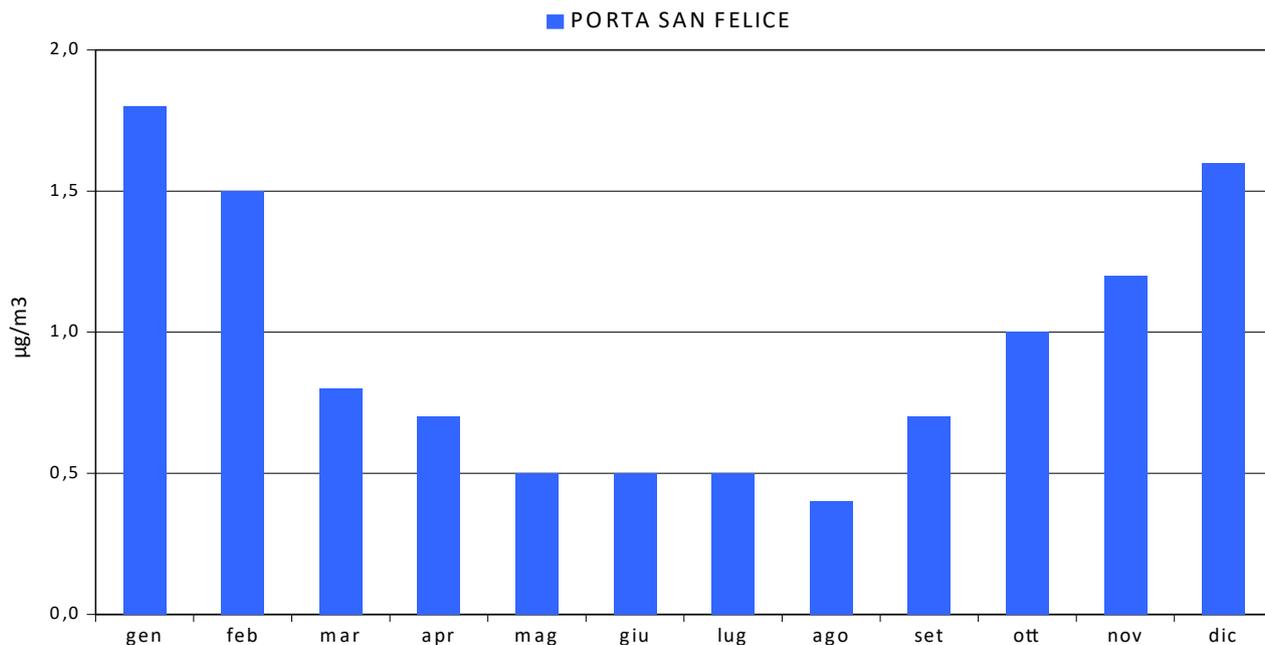


Figura 35 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2021

Il grafico successivo (Figura 36) illustra il giorno tipo invernale ed estivo. Gli andamenti evidenziano massimi orari nelle ore di punta del traffico diurne e serali; più marcati d'inverno. In estate i valori diminuiscono presentando un andamento più costante durante l'arco della giornata.

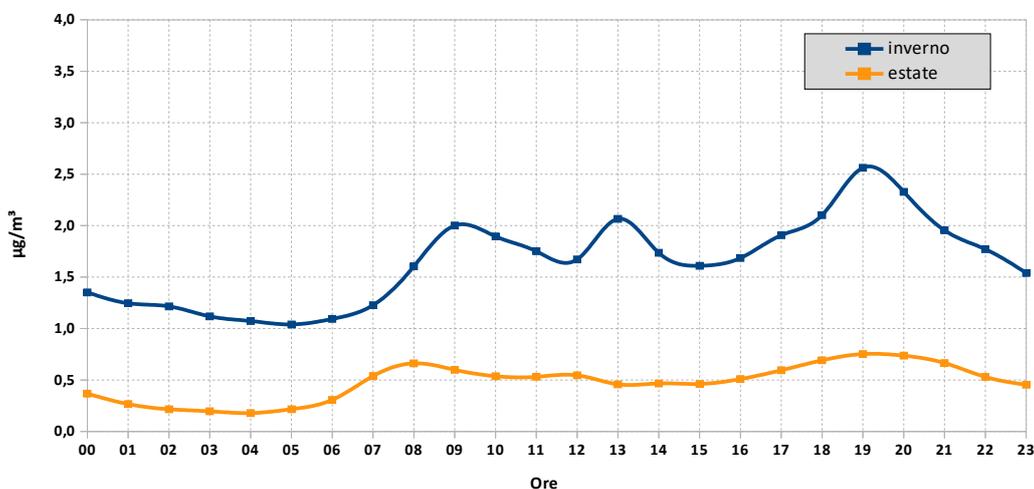


Figura 36 - Stazione da traffico, C₆H₆: giorno tipo invernale ed estivo

Il grafico rappresentato in figura 37 esprime la concentrazione media annuale nel decennio 2012-2021 ed 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.

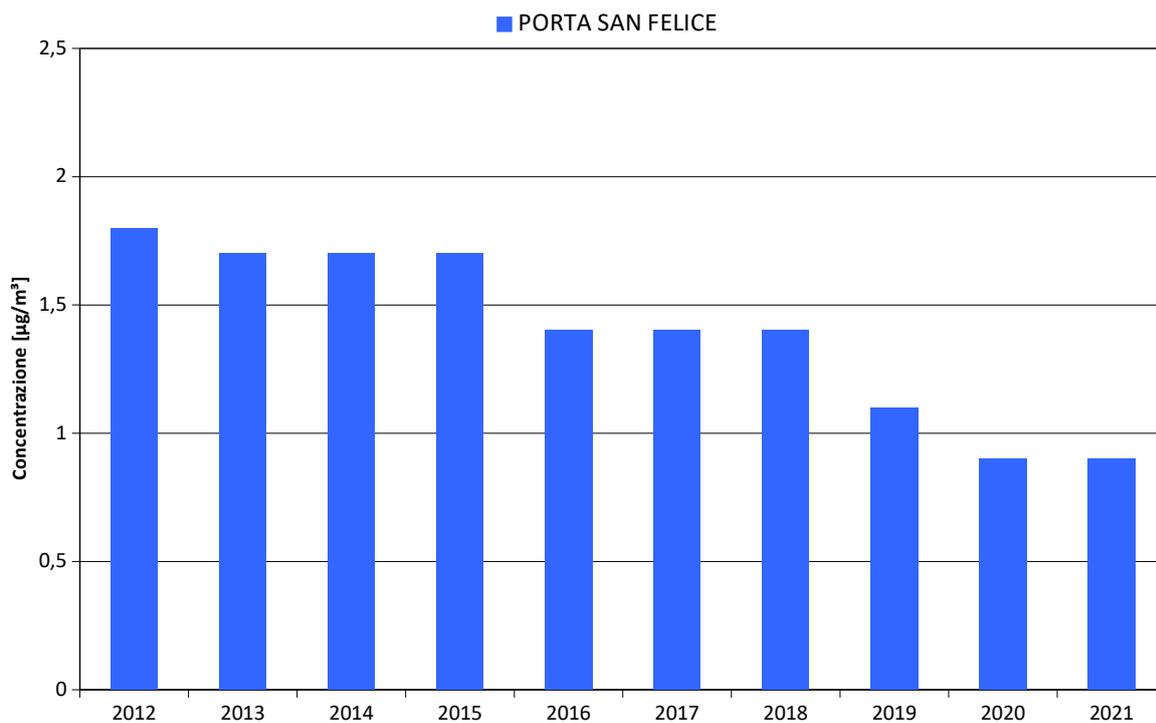


Figura 37 - C₆H₆ Confronto medie annuali 2012-2021

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – Medie annuali 2012 – 2021										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PORTA SAN FELICE	1,8	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,9	0,9

percentuale di dati validi inferiore al 90%

Tabella 30 - C₆H₆: Andamento temporale delle medie annuali

ANALISI SUL PARTICOLATO

Il particolato PM₁₀, 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 PM₁₀, calcolato come media su un anno civile, è pari ad 1 ng/m³.

Il D.Lgs. 155/2010 indica inoltre per arsenico, cadmio e nichel i valori obiettivo rispettivamente di 6 ng/m³, di 5 ng/m³ e di 20 ng/m³ e per il piombo il valore limite di 0.5 µg/m³, 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 - IPA

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.

Benzo(a)pirene anno 2021 - Concentrazioni in ng/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	12	0,003	0,083	0,146	0,408	0,429	0,435	0,439
GIARDINI MARGHERITA	12	0,003	0,042	0,094	0,312	0,327	0,329	0,329
SAN PIETRO CAPOFIUME	12	0,003	0,084	0,131	0,335	0,370	0,395	0,411

LIMITE NORMATIVO	Media annuale	1,0	ng/m ³
------------------	---------------	-----	-------------------

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

Dall'analisi della Tabella 31 emerge come i valori medi annuali di benzo(a)pirene per il 2021 risultino di un ordine di grandezza inferiori al limite normativo.

Nelle tabelle e nei grafici che seguono sono riportate le concentrazioni medie dei diversi IPA relative alle stazioni di riferimento, sia per i periodi mensili (Tabella 32 e Figura 38) che per l'intero anno 2021 (Tabella 33 e Figura 39).

Benzo(a)Pirene (ng/m ³) – medie mensili anno 2021												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,421	0,296	0,094	0,072	0,028	0,003	0,014	0,020	0,037	0,126	0,200	0,439
GIARDINI MARGHERITA	0,326	0,185	0,072	0,003	0,003	0,004	0,007	0,017	0,016	0,066	0,105	0,329
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,411	0,337	0,140	0,056	0,003	0,003	0,007	0,013	0,022	0,112	0,159	0,315

Tabella 32 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2021

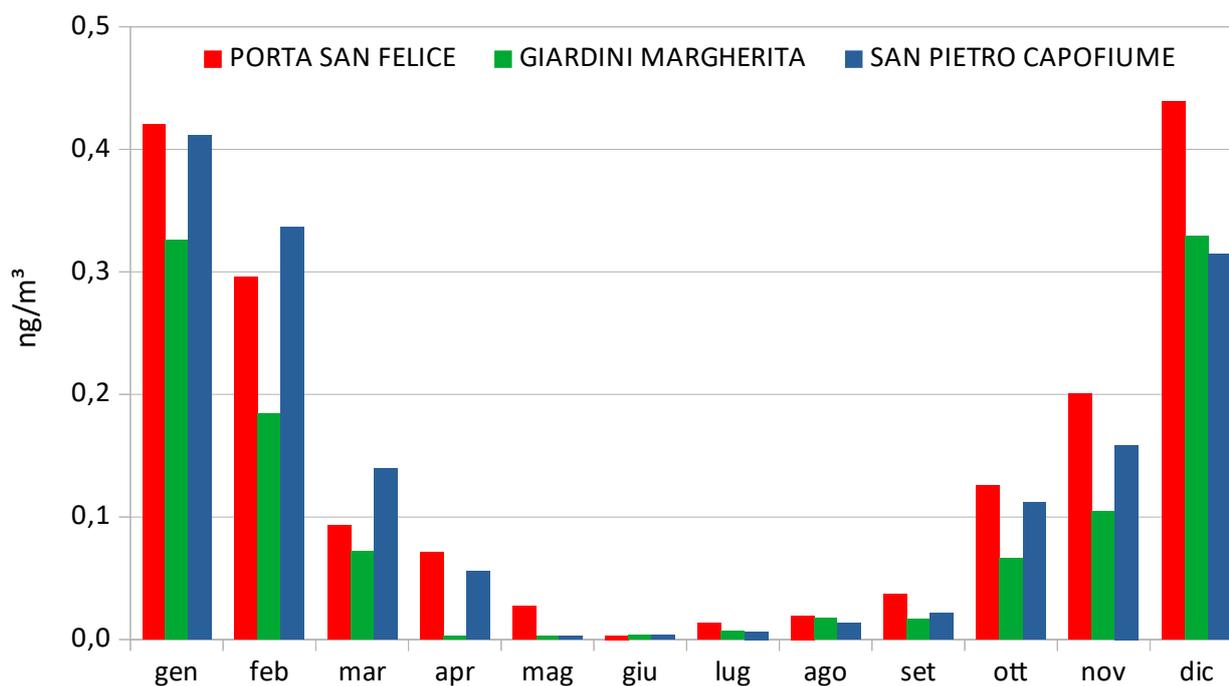


Figura 38 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2021 (ng/m³)

Come si può vedere, l'analisi delle concentrazioni mensili presenta gli andamenti tipici al variare della stagionalità, evidenziando le massime concentrazioni per le diverse stazioni nei mesi invernali (gennaio e dicembre).

IPA di interesse sanitario (D.Lgs 155/2010) [ng/m ³] – medie anno 2021						
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	0,147	0,129	0,358	0,129	0,153	0,008
GIARDINI MARGHERITA	0,099	0,063	0,268	0,091	0,121	0,011
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,132	0,093	0,353	0,119	0,149	0,011

Tabella 33 - IPA: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) 2021

Infine, in Tabella 34 e in Figura 40 sono riportate le serie delle medie annuali del Benzo(a)pirene, espresse in ng/m³, relativa agli ultimi 10 anni (dal 2012 al 2021). Si può notare come tutte le concentrazioni riportate siano largamente inferiori al valore obiettivo.

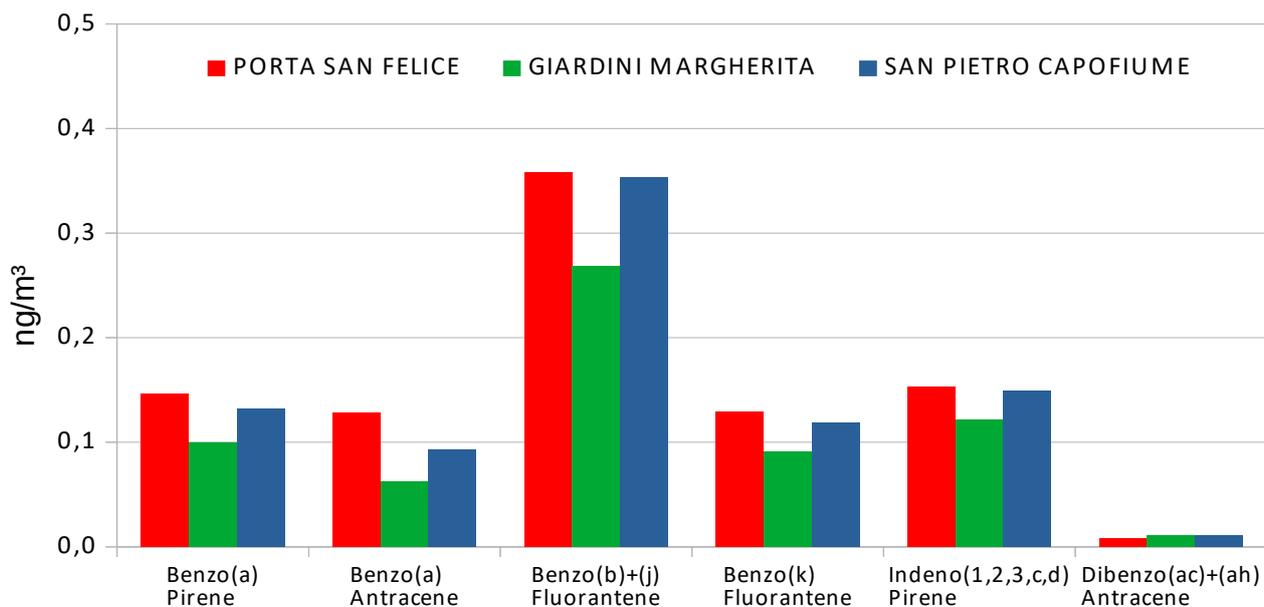


Figura 39 - IPA: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) 2021

Benzo(a)Pirene - Medie annuali 2012-2021 in ng/m ³										
Stazione	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PORTA SAN FELICE	0,20	0,24	0,13	0,11	0,22	0,20	0,18	0,17	0,17	0,15
GIARDINI MARGHERITA	0,23	0,17	0,12	0,18	0,13	0,15	0,11	0,13	0,12	0,10
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,17	0,15	0,08	0,08	0,20	0,29	0,19	0,21	0,18	0,13

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

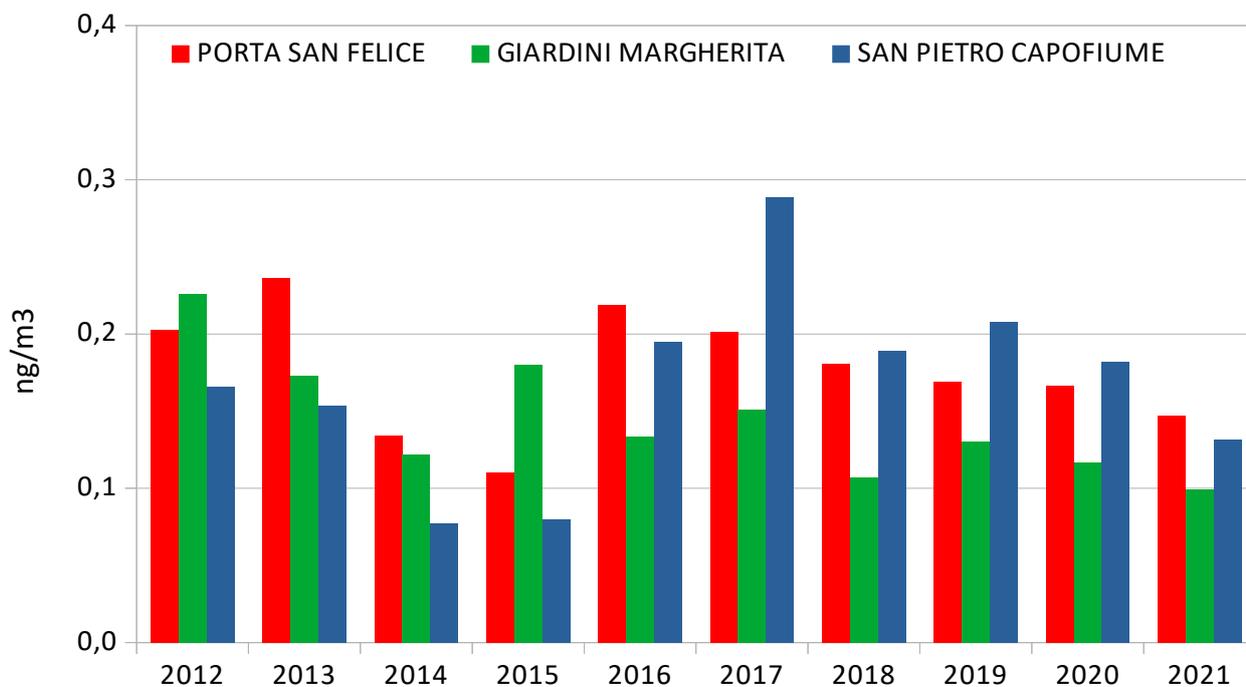


Figura 40 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie annuali (ng/m³)

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 e grafico, per l'anno 2021, i valori di concentrazione media mensile rilevati sul particolato di Giardini Margherita relativi ad Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo (Tabella 35 e Figura 41).

Giardini Margherita – Concentrazioni medie mensili anno 2021 (ng/m ³)												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Arsenico	0,193	0,221	0,213	0,199	0,193	0,230	0,222	0,299	0,214	0,393	0,199	0,388
Cadmio	0,134	0,107	0,087	0,040	0,038	0,046	0,044	0,060	0,043	0,100	0,081	0,121
Nichel	0,772	0,885	0,854	0,797	0,697	0,920	0,888	1,196	0,764	0,772	0,798	0,772
Piombo	4,556	4,414	2,616	1,497	0,386	1,382	1,264	0,598	1,769	3,172	2,852	4,202

Tabella 35 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento medie mensili anno 2021

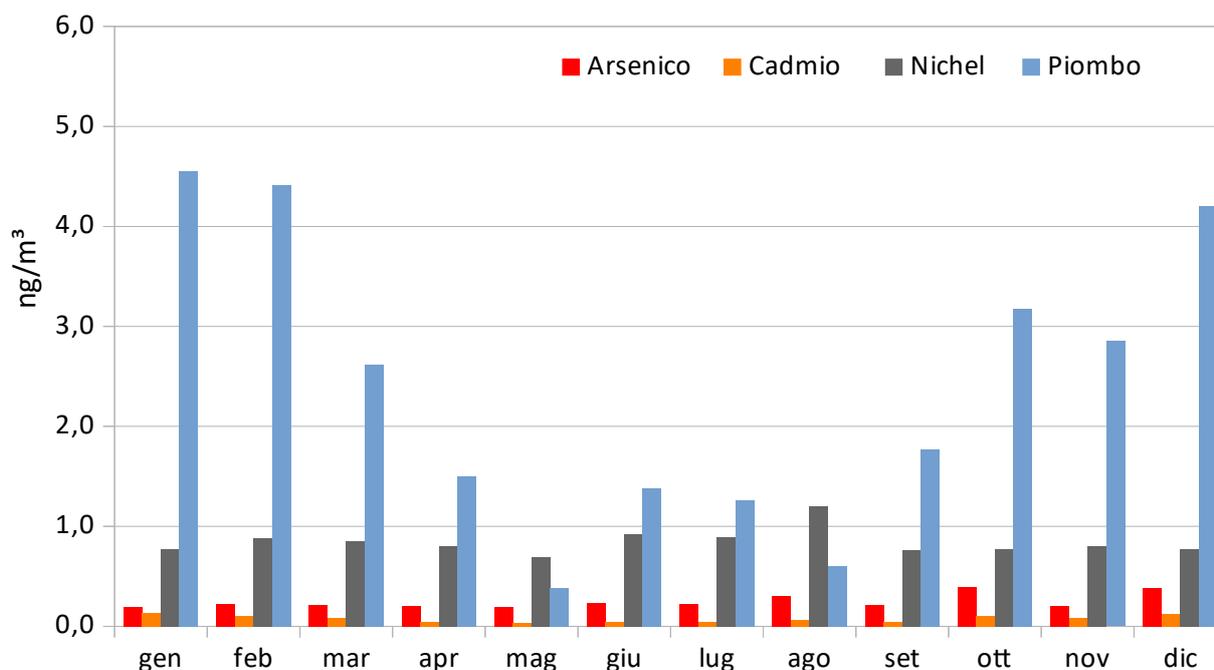


Figura 41 - Metalli: Concentrazioni medie mensili (ng/m³) - Giardini Margherita 2021

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 42 è infine riportato l'andamento temporale delle medie annuali a partire dal 2012. Tutte le concentrazioni riportate (esprese in nanogrammi per metro cubo) sono largamente inferiori ai rispettivi valori obiettivo e, per il Piombo, al valore limite annuale.

Giardini Margherita - Medie annuali 2012-2021 (ng/m3)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Valore obiettivo
Arsenico	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	6
Cadmio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
Nichel	1,4	1,1	1,0	1,0	1,5	1,6	1,3	3,0	0,8	0,8	20
											Valore limite
Piombo	4,5	3,3	3,4	4,0	4,4	4,3	2,8	3,1	2,4	2,5	500

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

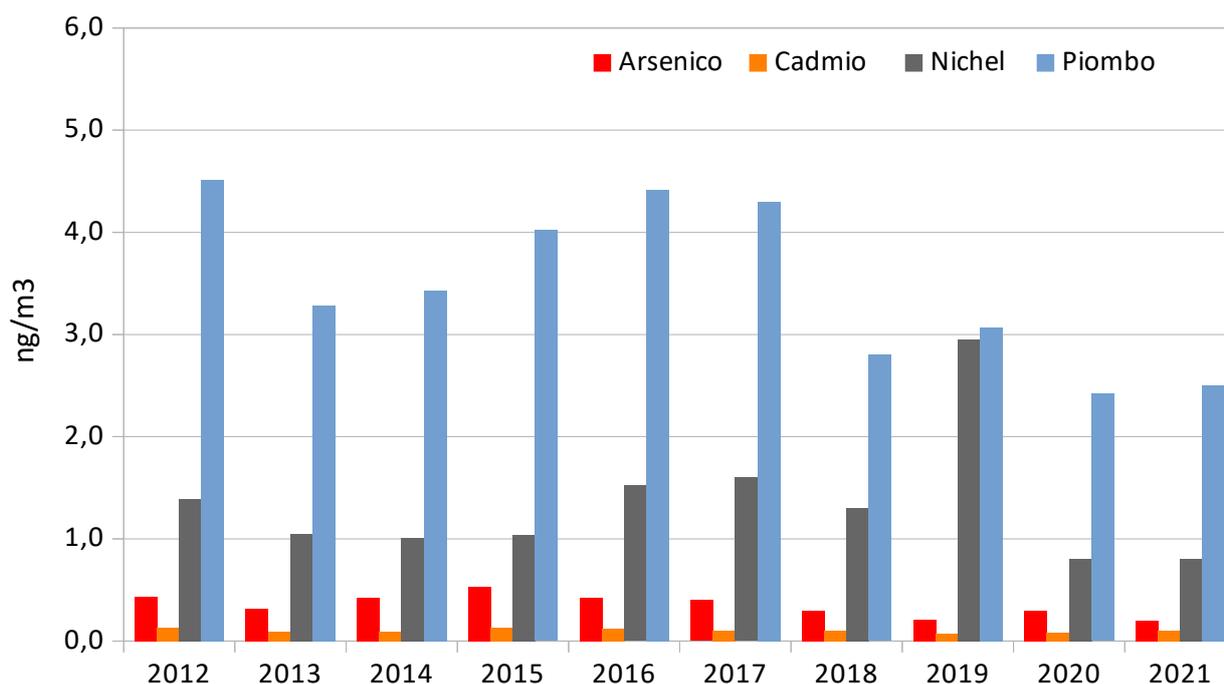


Figura 42 - Metalli: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) dal 2012 al 2021

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

Relativamente alle temperature, il 2021 è stato un anno tutto sommato simile al precedente, che ha visto un incremento delle temperature nel periodo estivo (giugno, luglio, agosto) nei confronti dell'anno precedente ma con una riduzione delle stesse nei periodi invernale (gennaio, febbraio, dicembre) e primaverile (marzo, aprile e maggio), sempre rispetto al 2020.

Climaticamente, il 2021 ha visto una nuova riduzione, seppur più contenuta rispetto agli ultimi anni, nel volume complessivo delle precipitazioni piovose; in particolare nella parte centrale dell'anno (maggio-agosto) le piogge sono state sensibilmente più ridotte rispetto allo stesso periodo del 2020.

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 2021, lievemente superiori agli analoghi dati dell'anno passato.

Anche l'anno in esame, come già il precedente, è stato caratterizzato dall'emergenza legata all'epidemia di Sars-CoV-2; tuttavia, nel 2021 i provvedimenti per il contenimento della sua diffusione sono stati meno limitanti rispetto al 2020 (anche grazie alla contemporanea diffusione dei vaccini). Così se da un lato si è protratto l'utilizzo del lavoro agile ("smart working"), non sono più stati attivati periodi di chiusura generalizzata delle attività non necessarie ("lockdown"); di conseguenza, le ripercussioni della pandemia sulle condizioni della qualità dell'aria si sono fatte meno importanti ed evidenti.

A riprova di ciò, dopo un anno di "pausa", nel 2021 la media annuale di biossido di azoto presso la stazione da traffico urbana di Bologna (Porta San Felice) ha nuovamente superato il limite di legge ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), rimanendo comunque al di sotto di tale soglia in tutti gli altri casi ed in generale registrando livelli senza sostanziali differenze dall'anno precedente, ma confermando, in un confronto su periodi più lunghi, un trend di riduzione presso le stazioni di fondo urbane e non. Come negli anni precedenti, anche nel 2021 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.

Per quanto riguarda il particolato PM_{10} , rispetto all'anno precedente si è verificata una diminuzione abbastanza netta del numero di superamenti del valore limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), con il contemporaneo rispetto, per tutte le stazioni della rete presenti nella Città Metropolitana di Bologna, del limite delle 35 giornate di superamento del limite giornaliero consentite nel corso dell'anno. Salvo alcuni casi limitati (Imola e San Pietro Capofiume), non si osservano invece grosse differenze nei livelli di concentrazione annuale media rispetto allo scorso anno.

Un prolungato episodio di trasporto di sabbie sahariane nel febbraio 2021 ha indotto una serie di superamenti del limite normativo giornaliero per il PM_{10} nella stazione appenninica di Castelluccio.

Analogamente al PM_{10} , le concentrazioni annuali di $PM_{2,5}$ si sono mantenute sostanzialmente sui livelli già osservati nel 2020. Non si registrano superamenti né del valore annuale limite ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), né di quello obiettivo a lungo termine ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

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

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

Per quanto riguarda la soglia di informazione fissata a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nel corso del 2021 il numero di superamenti è risultato lo stesso del 2020, ma anziché la sola stazione di via Chiarini, i superamenti hanno interessato le due stazioni di fondo extraurbano di San Pietro Capofiume e Castelluccio, entrambe con 3 casi.

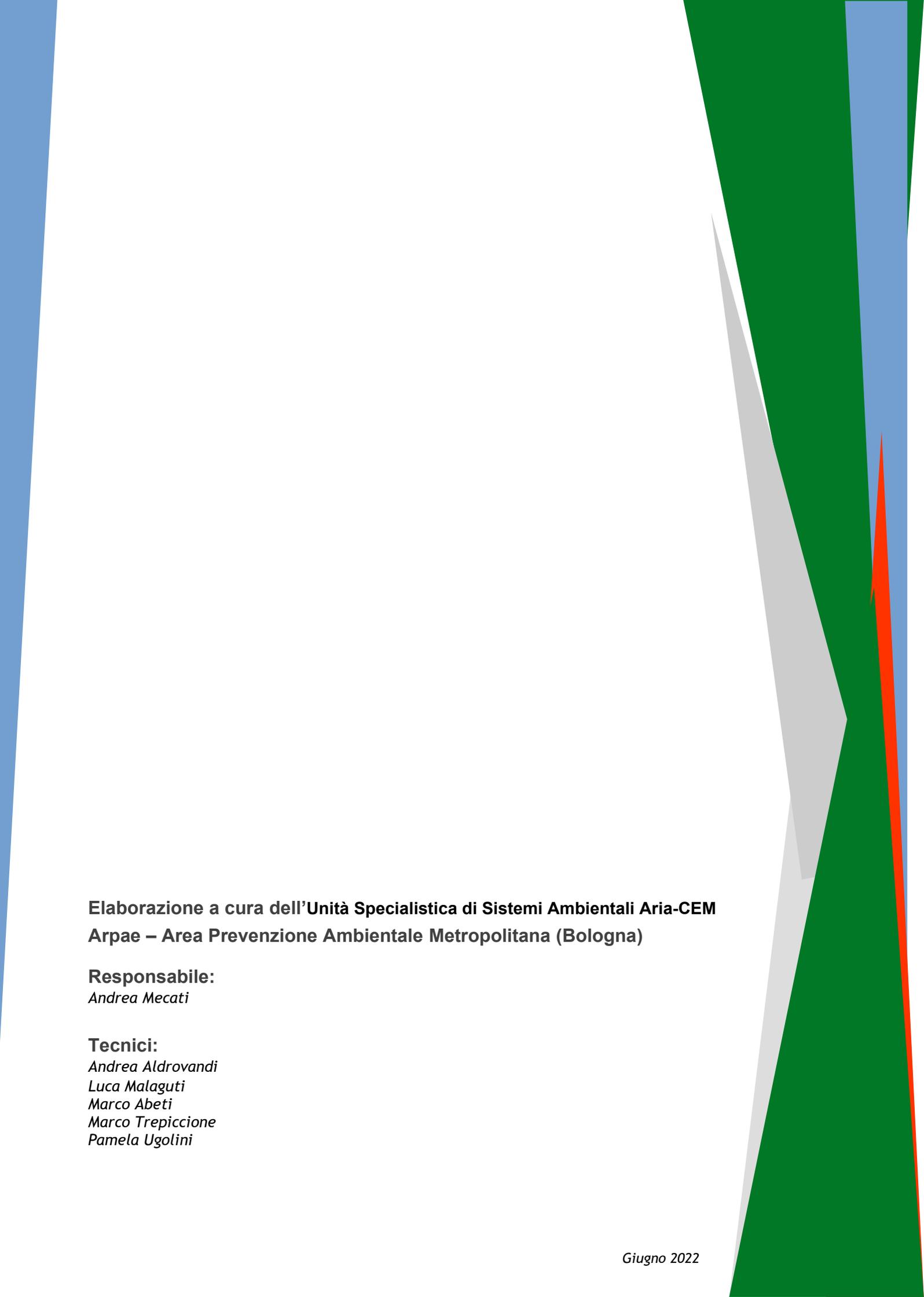
Il numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è invece risultato in netto incremento rispetto ai valori 2020 dello stesso indicatore, su tutte le stazioni bolognesi della rete.

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 45 volte/anno presso la stazione di via Chiarini a Bologna.

Per quanto riguarda il parametro AOT40 relativo alla protezione della vegetazione, anche nel 2021, 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; tuttavia, mentre per il monossido di carbonio si è osservato un lieve incremento della concentrazione media annuale, per tutti gli altri parametri si sono osservati valori in diminuzione (benzo(a)pirene) o sostanzialmente invariati rispetto al 2020 (benzene, metalli).





**Elaborazione a cura dell'Unità Specialistica di Sistemi Ambientali Aria-CEM
Arpae – Area Prevenzione Ambientale Metropolitana (Bologna)**

Responsabile:

Andrea Mecati

Tecnici:

Andrea Aldrovandi

Luca Malaguti

Marco Abeti

Marco Trepiccione

Pamela Ugolini

Giugno 2022