

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

REPORT DEI DATI 2019

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.....	11
LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2019.....	14
BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO.....	16
OZONO.....	21
PARTICOLATO PM10.....	26
PARTICOLATO PM2.5.....	30
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.

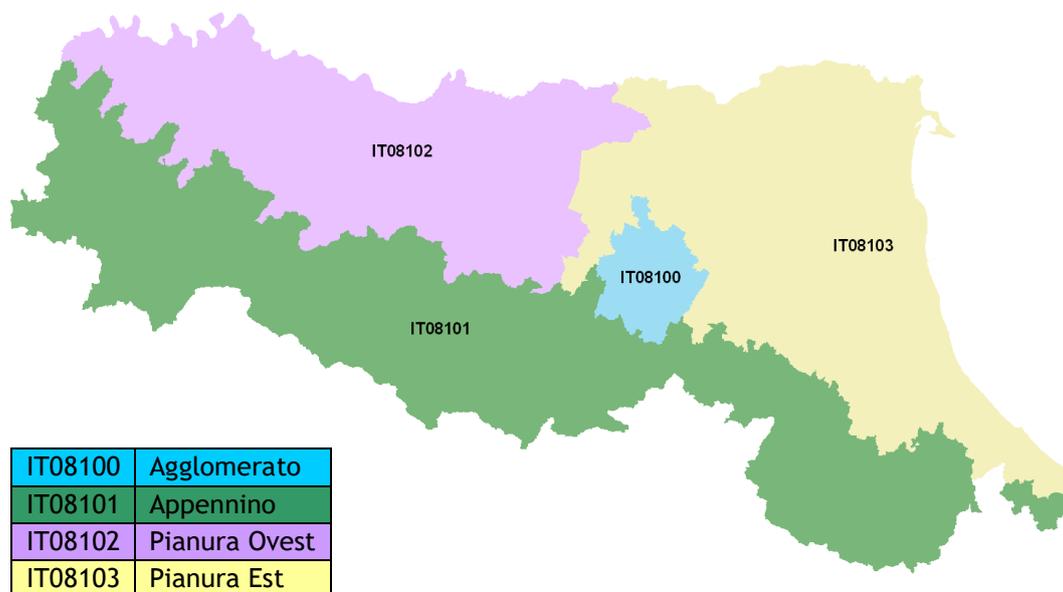


Figura 1 - Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011

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 risulta attualmente costituita da 7 stazioni di misurazione (Tabella 2), distribuite su 5 comuni, così come riportato nella Figura 2, nella quale è anche indicata la zonizzazione territoriale ai fini della qualità dell'aria.

	STAZIONE	TIPO	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	BTX
Agglomerato	Bologna - Porta San Felice	Traffico urbano	✓	✓	✓	✓		✓
	San Lazzaro - 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

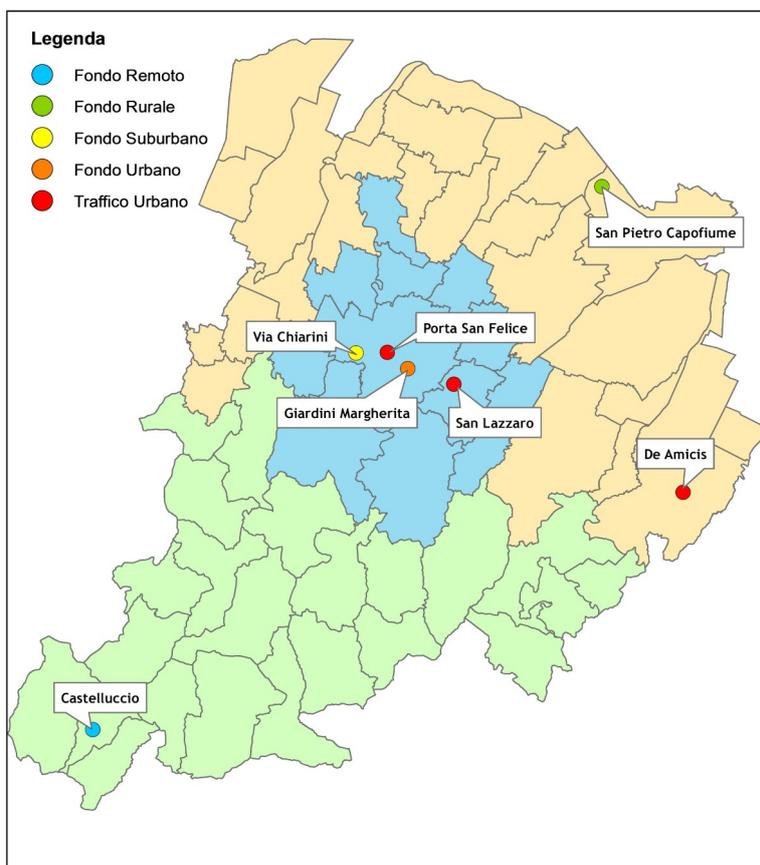


Figura 2 - Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria

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:

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

relativamente al periodo di osservazione (anno 2019) e alla stazione di Bologna Urbana, rappresentativa della principale area urbana della Città Metropolitana.

Per alcuni parametri è stato effettuato il confronto con il 2018 e con il clima di riferimento relativo al trentennio 1961-1990 per la stazione di Bologna - Borgo Panigale.

I dati dei parametri altezza di rimescolamento e stabilità per l'area urbana di Bologna derivano dalle analisi LAMA, prodotte grazie alle simulazioni operative del modello meteorologico COSMO il quale utilizza sia valori osservati sia una serie di informazioni sulle caratteristiche del territorio (orografia, uso del suolo, ecc).

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 2018.

Il 2019 è stato un anno decisamente caldo per la presenza di ondate anticicloniche persistenti soprattutto nei trimestri invernali. Le temperature medie orarie sono variate da un minimo di -2.1°C nel mese di gennaio ad un massimo di 37.8°C nel mese di giugno.

Le temperature minime sono scese al di sotto dei 0°C a gennaio (-2.1°C) e a dicembre (-0.7°C). Si osservano differenze negative rispetto al 2018 (tra -1 e -4 °C) in tutti i valori statistici di gennaio, aprile e giugno, mentre i mesi di febbraio, marzo, giugno e dicembre risultano tutti più caldi rispetto all'anno precedente (mediamente tra 2 e 3 °C).

Rispetto al riferimento climatico, le temperature orarie mensili sono risultate in generale più rigide nelle minime (con l'eccezione di agosto) e più calde nelle medie e nelle massime in tutti i mesi, queste ultime decisamente più elevate (da 2,4°C a maggio fino a 13,2°C di febbraio) rispetto al riferimento, tranne che a maggio risultato essere il più freddo dal 1961 (-2°C). Giugno invece ha fatto da subito registrare temperature elevatissime che ne fanno il secondo più caldo dal 1961 (dopo giugno 2003).

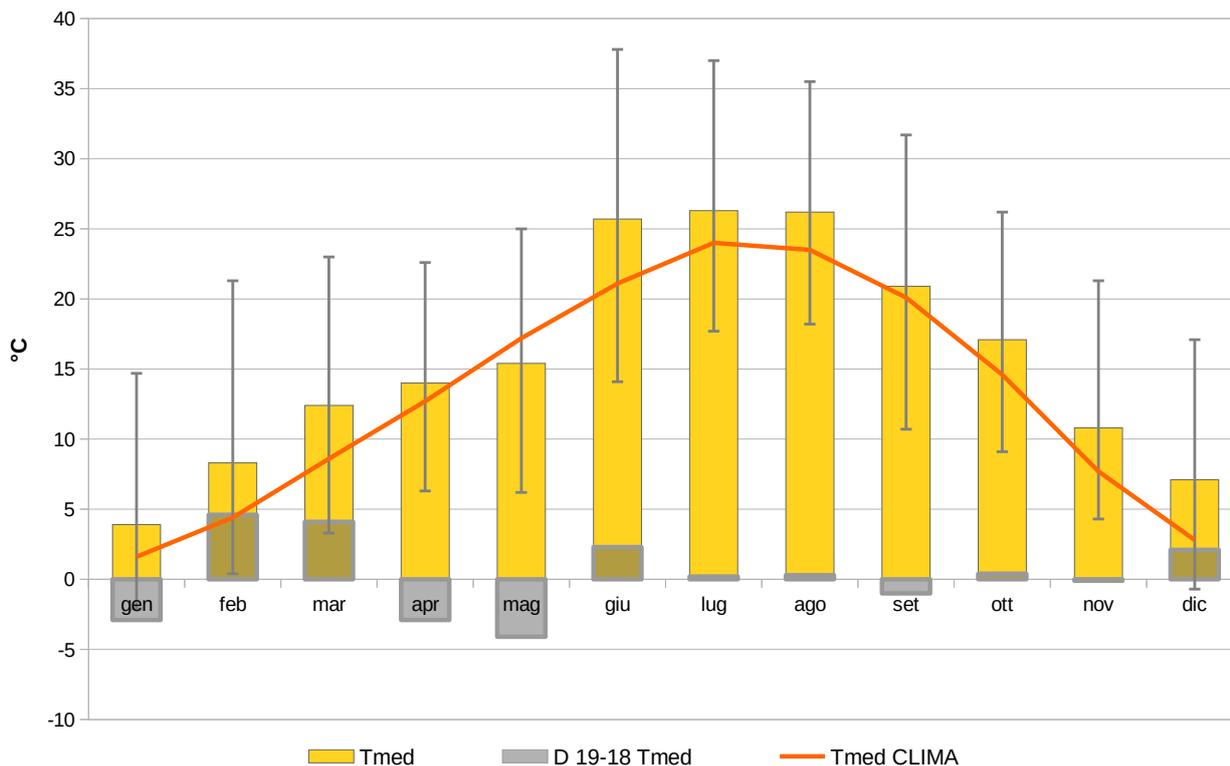


Figura 3 - Bologna: temperature mensili (°C)

Precipitazioni

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

Per quanto riguarda la quantità di precipitazioni, in Figura 4 sono rappresentate le cumulate mensili (mm) dell'anno in esame, i valori normali climatici di queste e gli scostamenti rispetto al 2018.

Il minor numero di perturbazioni sul nostro paese ha avuto come conseguenza una minor quantità totale di precipitazioni registrate, nonostante alcune anomalie mensili, tanto da rendere il 2019 un anno siccitoso. Le precipitazioni totali annuali registrano -8% rispetto al riferimento climatico (ppt CLIMA) e una variazione di circa il -13% rispetto al 2018 nei millimetri totali di pioggia: circa 748 mm nel 2018 e 653 mm nel 2019.

In generale i mesi di febbraio (circa 20 mm), marzo (14,4 mm), giugno (circa 26 mm) e ottobre (circa 38 mm) sono risultati i più siccitosi dell'anno e con scostamenti importanti rispetto al norma (tra -45% a -77%) e rispetto al 2018.

Nel 2019 il mese con le maggiori precipitazioni, circa 164 mm di pioggia (ovvero un quarto del quantitativo annuale), è stato maggio, seguito da novembre con 132 mm di pioggia.

Maggio a causa delle precipitazioni eccezionalmente elevate è risultato il più piovoso, e il più freddo, dal 1961 con circa un quantitativo tre volte superiori alla norma. Giugno invece è stato caratterizzato da scarsissime precipitazioni che ne fanno in assoluto tra i più siccitosi (assieme al 2012) dal 1961, tuttavia lo si ricorderà per la giornata del 22 quando il transito di un'onda depressionaria associata ad un nucleo di aria fresca in quota determina un rapido ma intenso peggioramento delle condizioni meteorologiche sull'Emilia Romagna. Il passaggio frontale attiva lo sviluppo di celle temporalesche che si organizzano in un sistema convettivo in movimento da Ovest verso Est con associate forti raffiche di vento lineari, intense precipitazioni e grandinate di grosse dimensioni.

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.

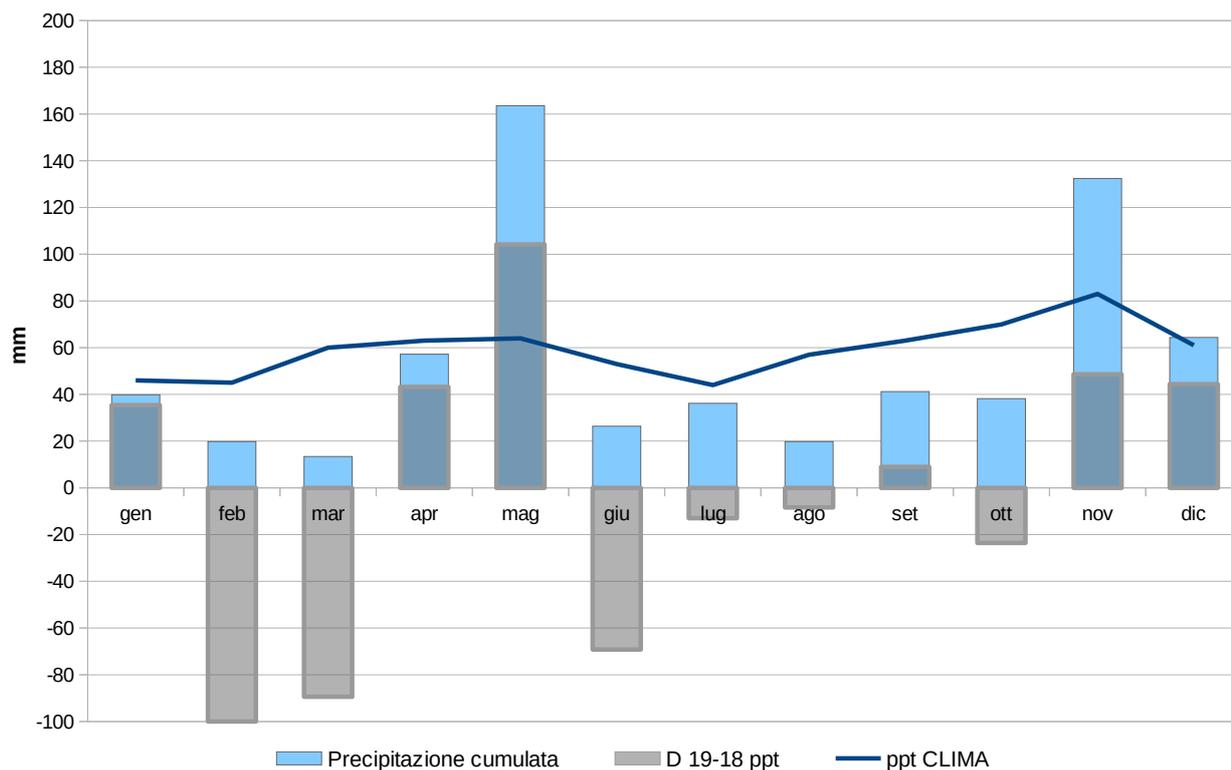


Figura 4 - Bologna: precipitazione cumulata mensile (mm)

Direzione e velocità del vento

Il vento costituisce un fattore determinante nella dinamica del trasporto in orizzontale 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 2019.

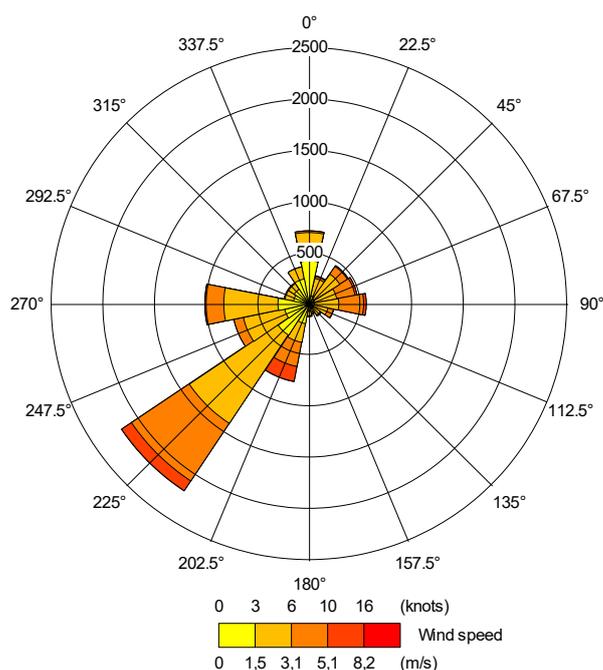


Figura 5 - Bologna: rosa dei venti, anno 2019

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.

La Figura 6 permette di evidenziare le diverse caratteristiche stagionali dell'anno in esame. Nei mesi invernali (gen-feb-dic) prevalgono le direzioni da Sud-Sud Ovest a Ovest e le velocità sono più frequentemente comprese entro i 3m/s. Nei mesi estivi (giu-lug-ago) si osserva una distribuzione molto più uniforme sia in direzione dai quadranti sud occidentali sia in frequenza, con una eguale presenza di velocità di classe da 3 a 5 m/s .

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 ed Ovest costituiscono le componenti dominanti e una maggior presenza di classi di velocità più elevate.

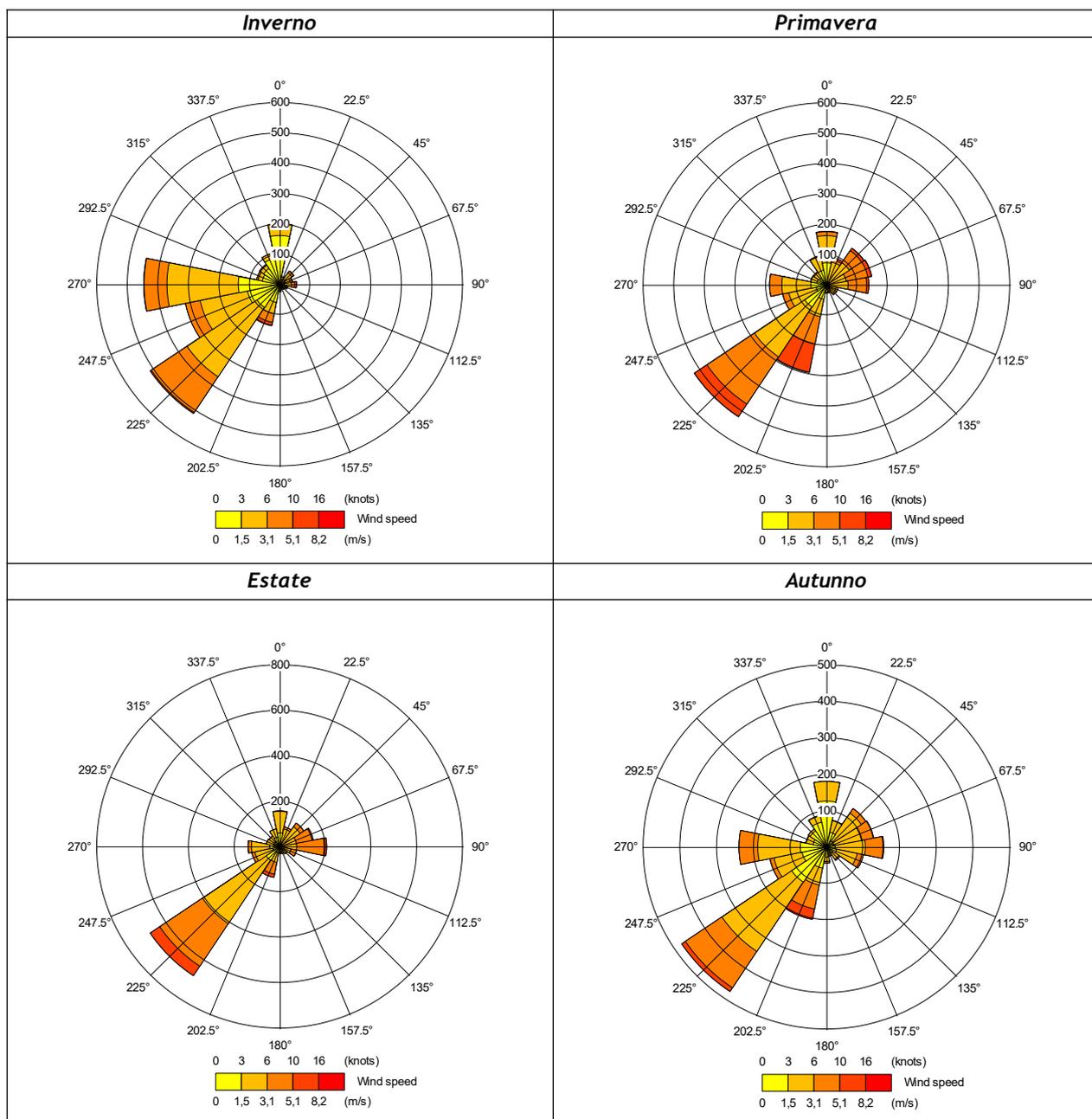


Figura 6 - Bologna: rose dei venti stagionali 2019

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 in assoluto i più frequenti, rappresentando quasi sempre dall'80 a oltre il 90% del campione mensile e circa l'84% 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 nel primo e nell'ultimo trimestre. Le classi associate a velocità

superiori risultano maggiormente popolate tra i mesi di marzo e giugno, fino a punte di grado 5 . Il maggior numero di “calme” (<0.2m/s) si è registrato nel mese di novembre.

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	0,1%	44,2%	46,6%	8,7%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	...
FEB	0,0%	33,6%	47,8%	15,5%	2,7%	0,4%	0,0%	0,0%	...
MAR	0,0%	24,5%	44,9%	21,9%	7,8%	0,9%	0,0%	0,0%	...
APR	0,1%	19,2%	57,6%	20,0%	2,9%	0,1%	0,0%	0,0%	...
MAG	0,1%	24,2%	45,7%	22,2%	7,7%	0,1%	0,0%	0,0%	...
GIU	0,0%	17,1%	53,2%	25,6%	4,2%	0,0%	0,0%	0,0%	...
LUG	0,0%	21,9%	54,3%	20,6%	3,1%	0,1%	0,0%	0,0%	...
AGO	0,0%	19,3%	66,0%	14,4%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	...
SET	0,0%	29,0%	52,4%	15,4%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	...
OTT	0,1%	41,9%	47,7%	9,0%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	...
NOV	0,4%	41,1%	47,2%	11,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	...
DIC	0,1%	46,8%	45,3%	7,5%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	...
ANNO	0,1%	30,2%	50,7%	16,0%	2,8%	0,1%	0,0%	0,0%	...

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

Tabella 3 - Distribuzione delle velocità del vento secondo la scala Beaufort, anno 2019

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.

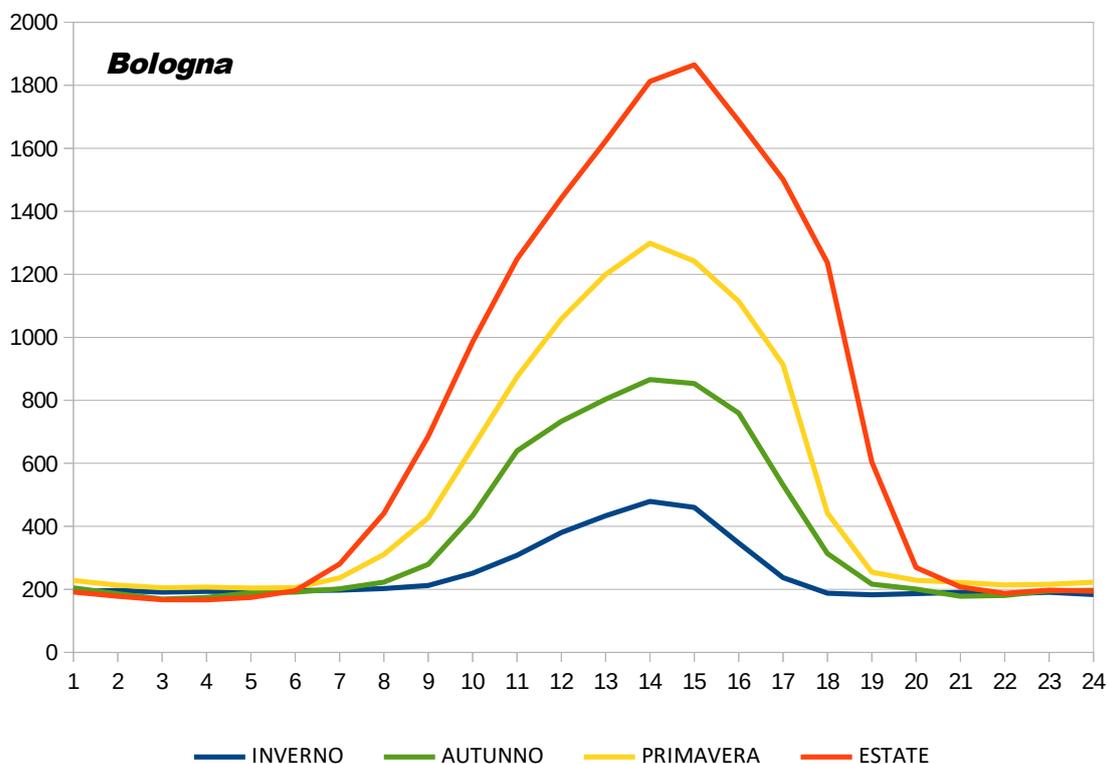


Figura 7 - Bologna: altezza di rimescolamento (m), giorno tipo stagionale 2019

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) per le varie stagioni del 2019.

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 1800 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.

Di seguito sono riportati i grafici relativi ai giorni tipo stagionali della frequenza percentuale con cui ricorrono le varie classi di stabilità per l'anno 2019 (Figura 8 e Figura 9).

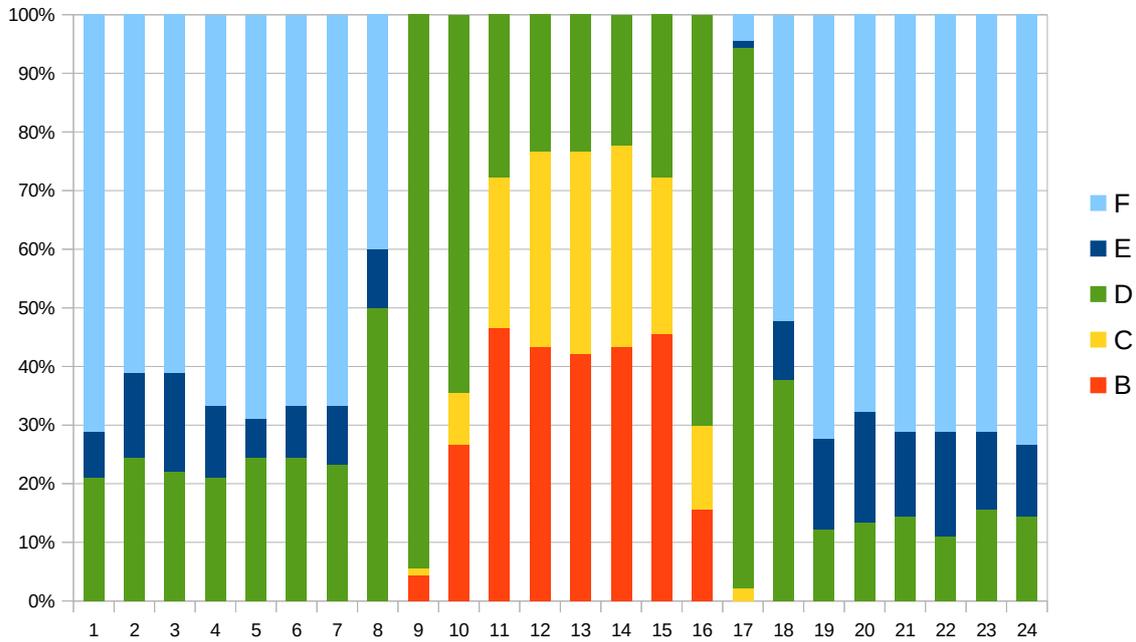
Si osserva la presenza di condizioni stabili (classe F) nelle prime ore del giorno e nelle ore serali, con una distribuzione temporale diversa a seconda della stagione: nel periodo autunno-inverno, a causa di temperature più basse che contribuiscono al mantenimento delle condizioni di inversione termica, la classe F persiste per un maggior numero di ore e con percentuali dal 40 al 70%; in estate invece, grazie a temperature più elevate che portano al dissolvimento anticipato delle inversioni termiche notturne, le condizioni stabili, con frequenza oltre il 70%, caratterizzano solo le prime ore del mattino fino alle 5 e si re-instaurano la sera a partire dalle ore 20-21.

Il confronto stagionale permette inoltre di evidenziare la maggior presenza della classe D riferita a condizioni neutre nelle giornate inverno-autunnali, con percentuali di occorrenza molto variabili e a tutte le ore del giorno.

La classe A, indicativa di condizioni fortemente instabili, è presente quasi esclusivamente nel periodo estivo-primaverile e con frequenza significativamente superiore al 10% nelle ore centrali della giornata, quando risultano maggiormente attivi i meccanismi di turbolenza termica.

Rispetto all'anno precedente si riscontra un maggior numero di ore in classe F e in classe B nel periodo invernale, mentre in estate sono aumentate le percentuali di occorrenza delle classi A. Il giorno tipico autunnale del 2019 mostra nella parte centrale della giornata un aumento delle percentuali di ore in classe B, invece in primavera si ha una leggera diminuzione delle classi instabili a favore di condizioni neutre.

Giorno Tipo Invernale



Giorno Tipo Primaverile

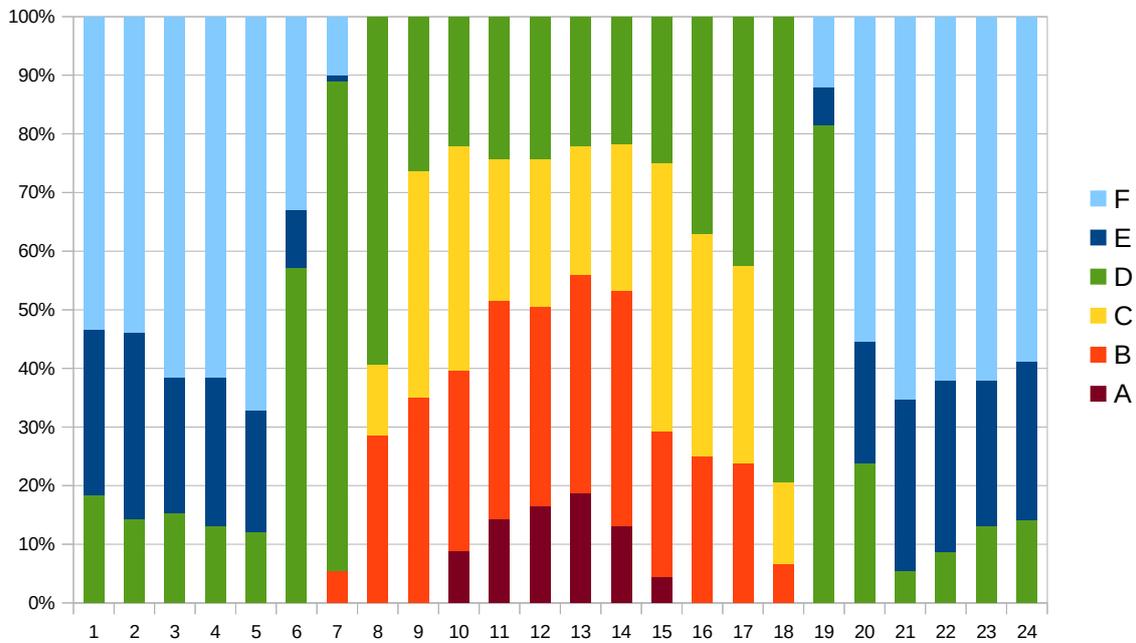
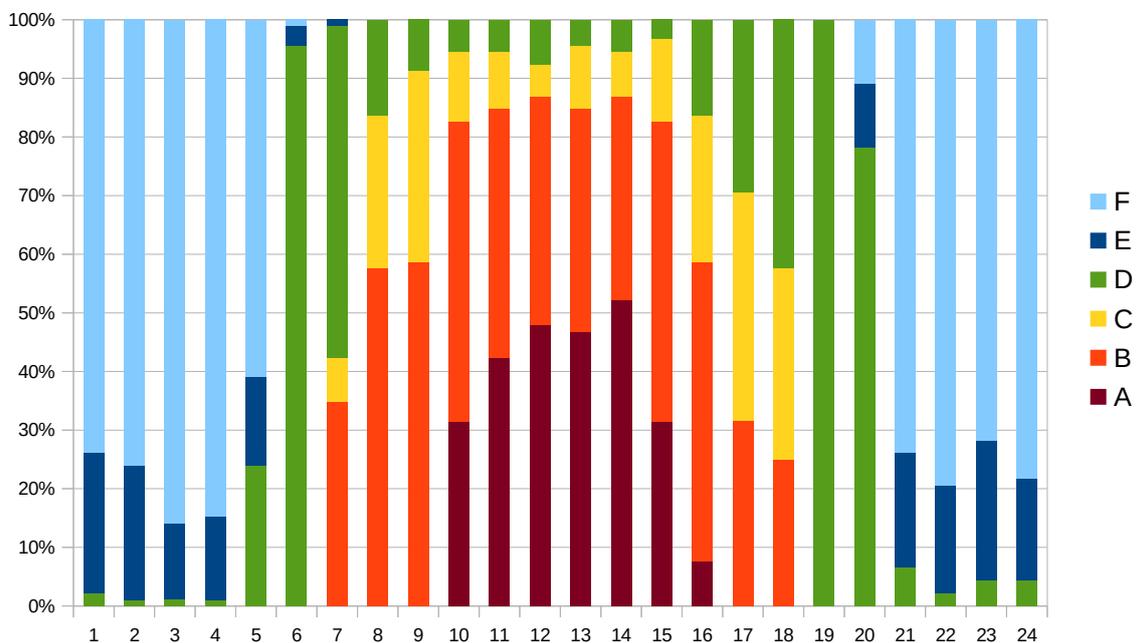


Figura 8 - Bologna: classi di stabilità, giorno tipo stagionale 2019

Giorno Tipo Estivo



Giorno Tipo Autunnale

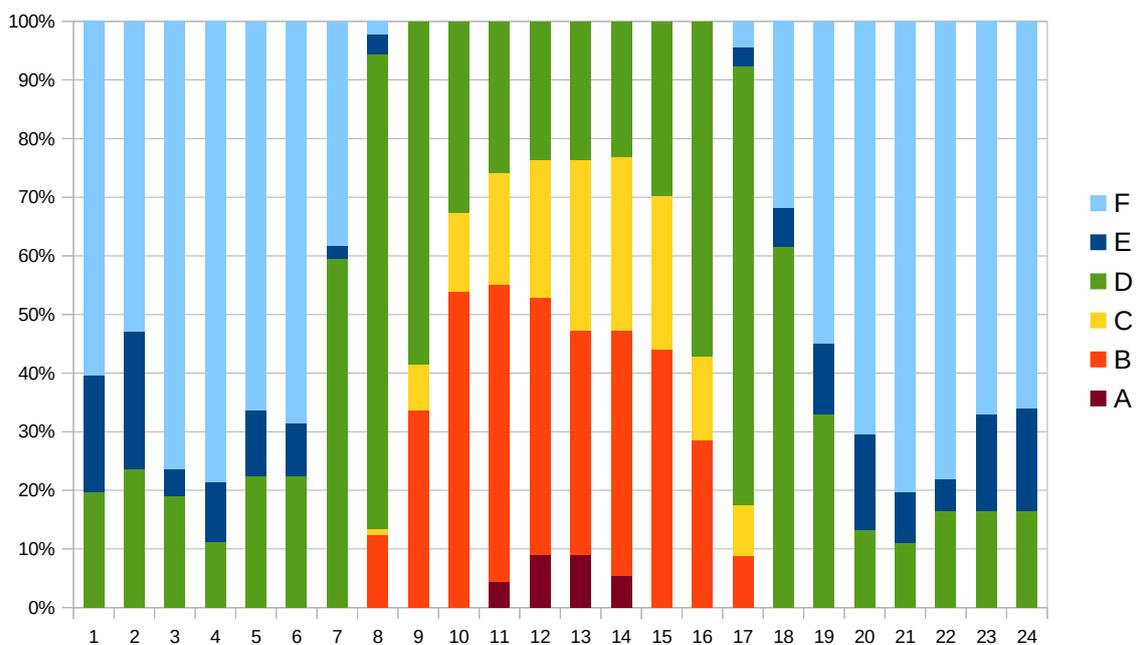


Figura 9 - Bologna: classi di stabilità, giorno tipo stagionale 2019

LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2019

L'esame dei dati rilevati nell'anno 2019 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 riferiti 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).

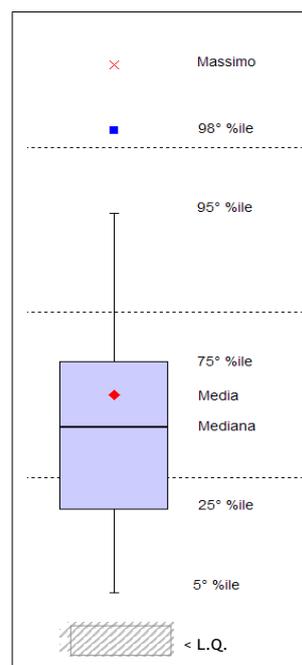


Figura 10 - Box-plot

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 2009, dove disponibile. 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). Per le stazioni di fondo suburbano di Via Chiarini e di fondo remoto di Castelluccio, installate più recentemente rispetto alle altre, le serie storiche sono disponibili soltanto a partire dal 2011 e 2012 rispettivamente.

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 2019. 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	BTX
Bologna - Porta San Felice	99%	100%	98%	97%	-	96%
San Lazzaro	100%	-	99%	-	-	-
Bologna - Giardini Margherita	99%	-	96%	98%	100%	-
Bologna - Chiarini	100%	-	95%	-	100%	-
Imola - De Amicis	99%	98%	99%	-	-	92%
Molinella - San Pietro Capofiume	97%	-	97%	97%	98%	-
Porretta Terme - Castelluccio	93%	-	94%	93%	96%	-

Tabella 4 - Rendimenti annuali degli analizzatori della rete - anno 2019

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 2019 - 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	8318	< 12	46	46	69	78	89	148	0
GIARDINI MARGHERITA	8345	< 12	17	21	41	47	52	83	0
VIA CHIARINI	8372	< 12	17	21	42	51	60	116	0
SAN LAZZARO	8383	< 12	22	25	44	51	60	82	0
DE AMICIS	8300	< 12	21	24	45	53	63	112	0
SAN PIETRO CAPOFIUME	8104	< 12	< 12	15	34	41	48	74	0
CASTELLUCCIO	7772	< 12	< 12	< 12	< 12	12	14	39	0
VALORE LIMITE		<i>Media annuale</i>		40 µg/m ³		<i>n° max sup. consentiti</i>		18	

> valore limite

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

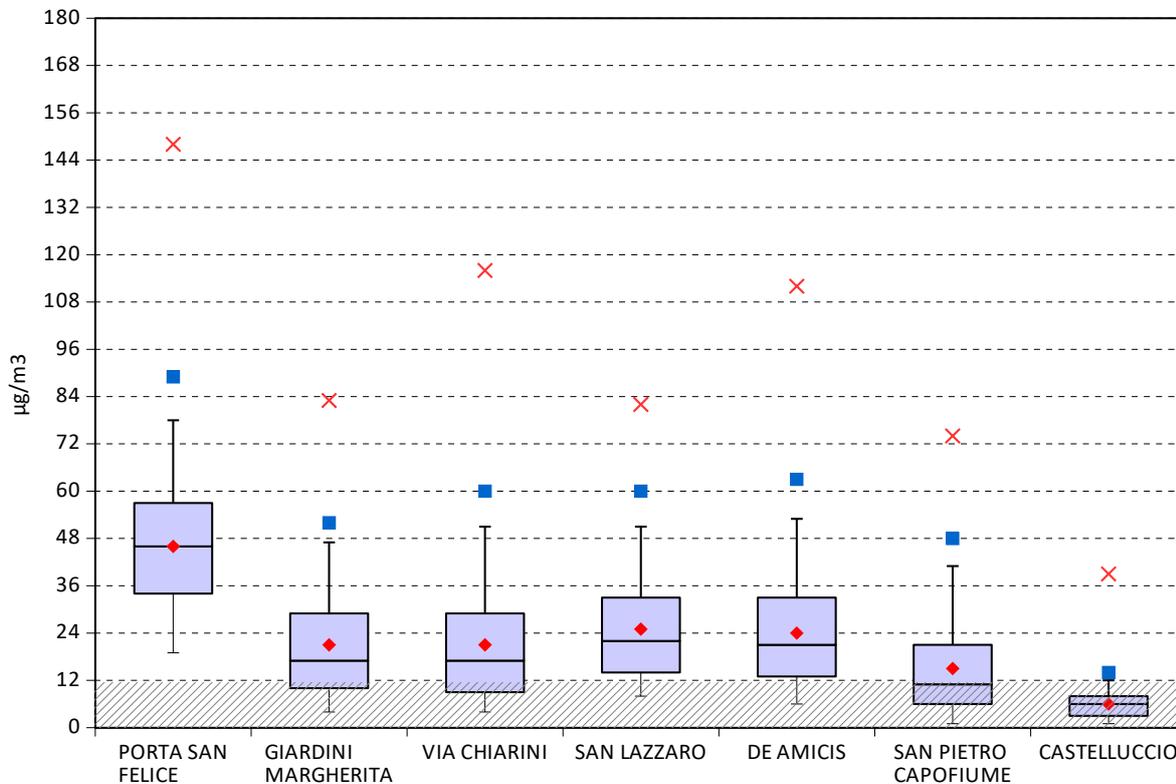


Figura 11 - NO₂ : Box Plot delle statistiche annuali 2019

Anche nel 2019, come nell'anno precedente, la media annuale di biossido di azoto non rispetta il valore limite di legge (40 µg/m³) nella sola stazione di Porta San Felice (Tabella 5).

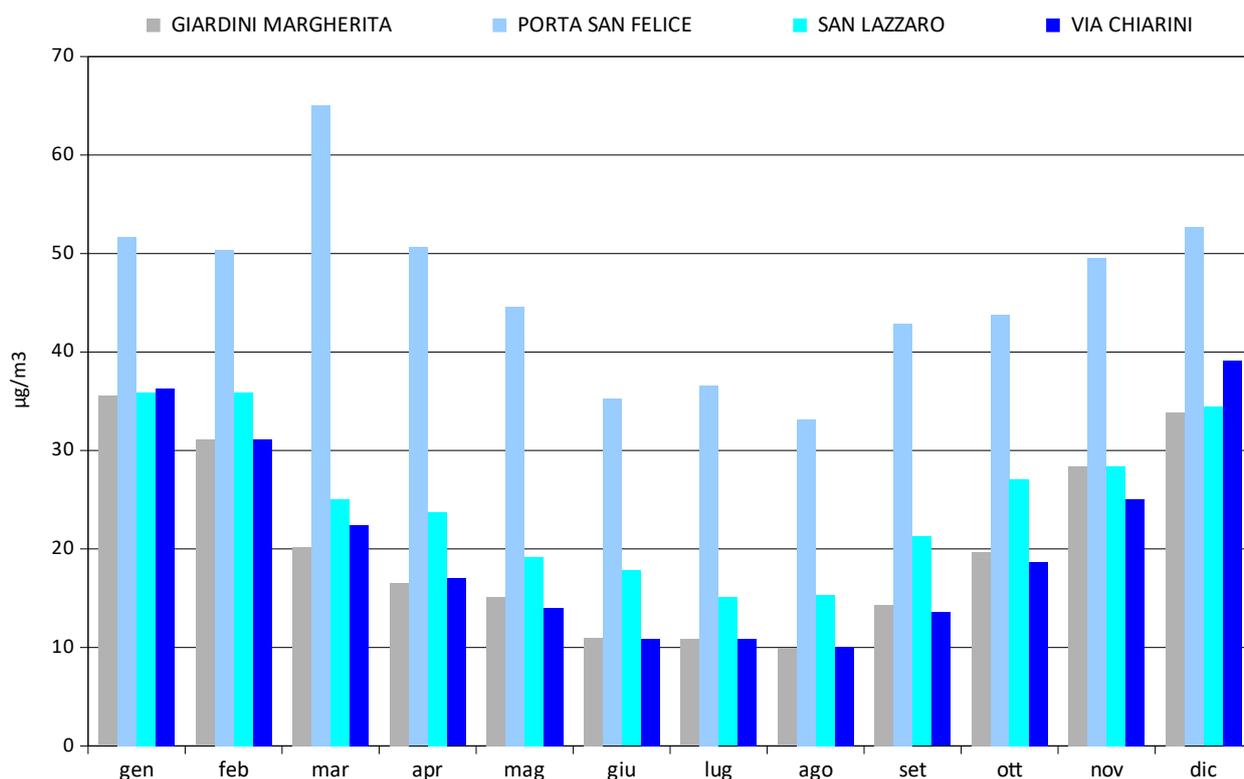


Figura 12 - Agglomerato - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2019

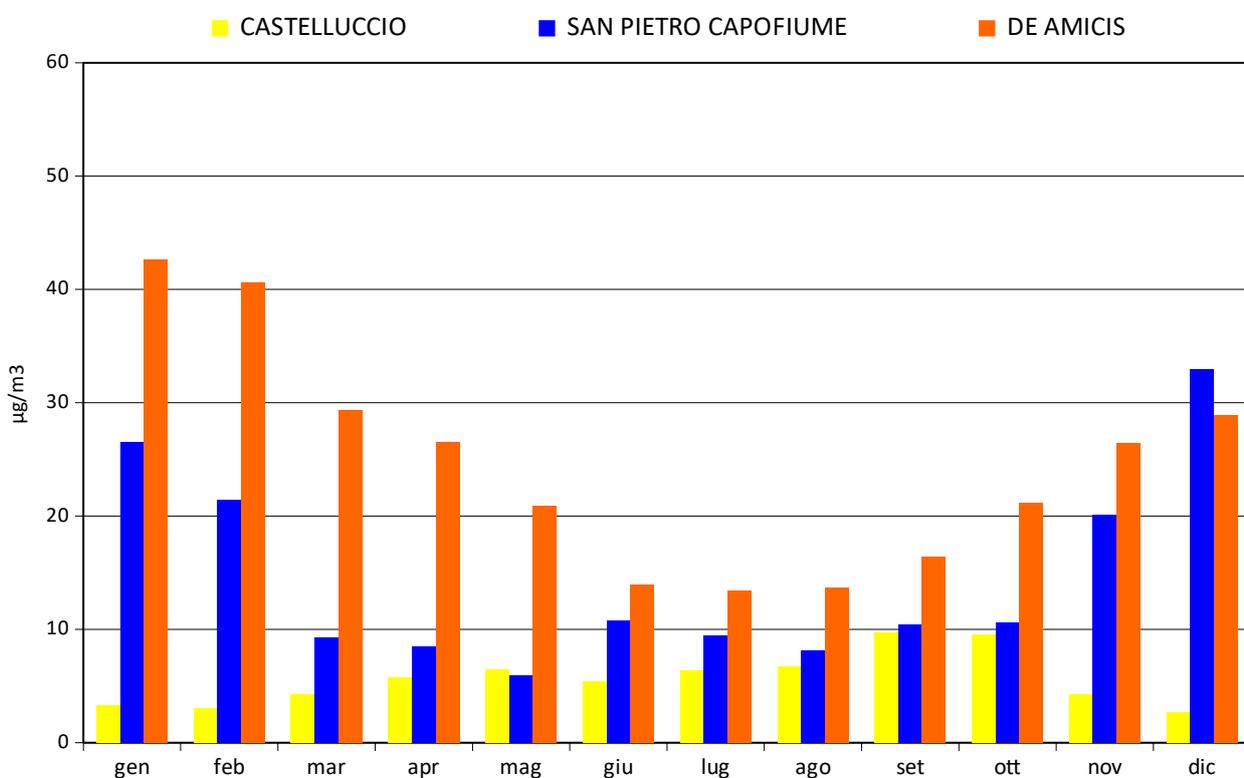


Figura 13 - Pianura e Appennino - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2019

Il valore limite sulla media oraria di 200 µg/m³, da non superare per più di 18 ore nel corso di un anno, viene rispettato in tutte le stazioni. Anche per il 2019 la soglia di allarme di 400 µg/m³ non è mai stata raggiunta da nessuna centralina. Questa situazione evidenzia che gli episodi acuti legati a concentrazioni orarie elevate di NO₂ non rappresentano un elemento di criticità.

Da notare che la stazione Castelluccio ha valori poco dispersi e concentrati intorno al valore medio, oltre che in gran parte al di sotto del limite di quantificazione.

L'analisi delle concentrazioni medie mensili calcolate per l'anno 2019 (Figure 12 e 13, Tabella 6) permette di evidenziare, sia nelle stazioni dell'Agglomerato che in quelle di Pianura, l'andamento stagionale: si osserva infatti un incremento nei mesi più freddi dell'anno. Tipicamente l'NO₂ raggiunge le concentrazioni più elevate durante l'inverno, quando la sua produzione raggiunge i valori massimi a causa del funzionamento degli impianti di riscaldamento. Durante i mesi più caldi, invece, viene efficacemente disperso dalle correnti ascensionali. Inoltre, prolungate condizioni di elevata intensità delle radiazioni ultraviolette innescano nell'atmosfera complesse reazioni chimiche, tra i cui effetti è compresa pure una rimozione di NO₂ a seguito della sua trasformazione in acido nitrico e nitrati.

Per quanto concerne le stazioni dell'Agglomerato, i valori medi di biossido di azoto più elevati sono stati registrati per tutto l'anno dalla stazione da traffico di Porta San Felice.

Le oscillazioni nelle medie mensili presso Castelluccio, stazione dell'Appennino, sono scarsamente rappresentative in quanto riguardanti valori inferiori al limite di quantificazione (12 µg/m³).

NO ₂ (µg/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	52	50	65	51	45	35	37	33	43	44	50	53
SAN LAZZARO	36	36	25	24	19	18	15	15	21	27	28	34
GIARDINI MARGHERITA	36	31	20	17	15	11	11	10	14	20	28	34
VIA CHIARINI	36	31	22	17	14	11	11	10	14	19	25	39
DE AMICIS	43	41	29	27	21	14	13	14	16	21	26	29
SAN PIETRO CAPOFIUME	27	21		8	6	11	9	8	10	11	20	33
CASTELLUCCIO	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12

▒ percentuale di dati validi inferiore al 90%

▒ percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 6 - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2019

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.

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).

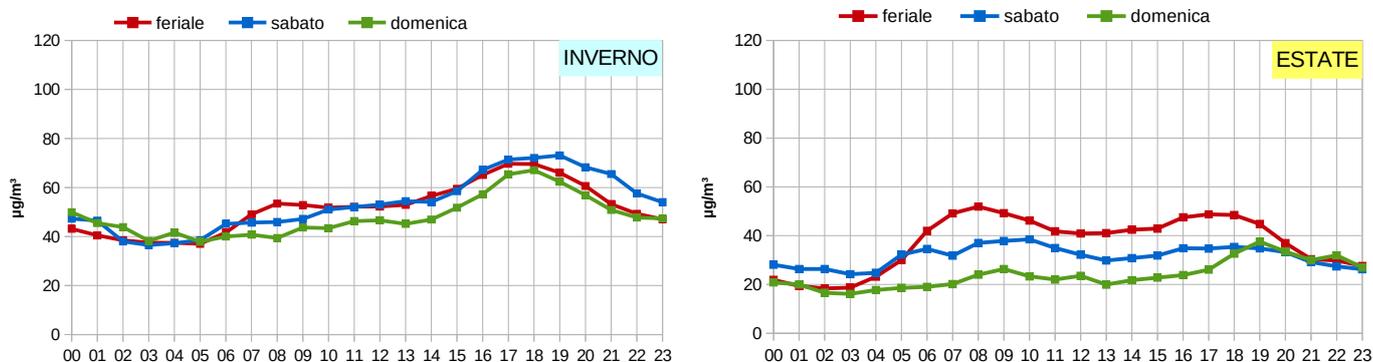


Figura 14 - Porta San Felice, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

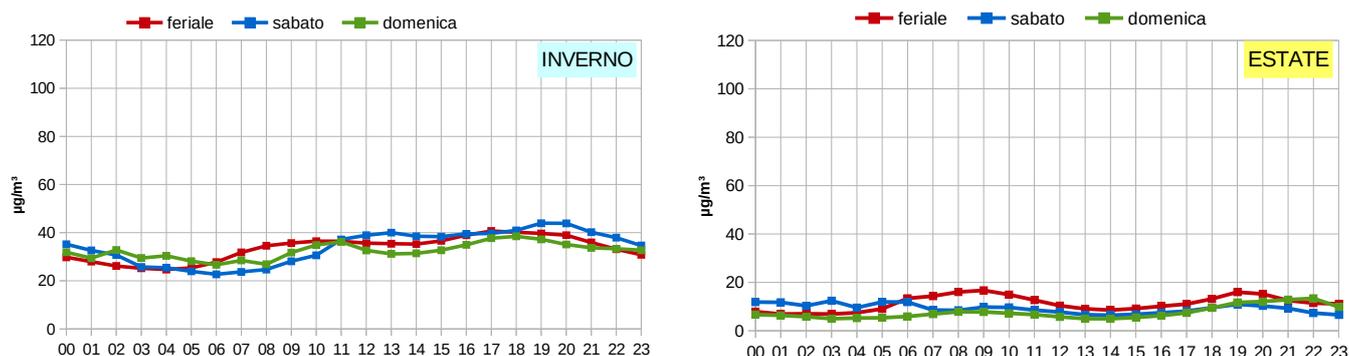


Figura 15 - Giardini Margherita, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

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 orizzontale 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 2009.

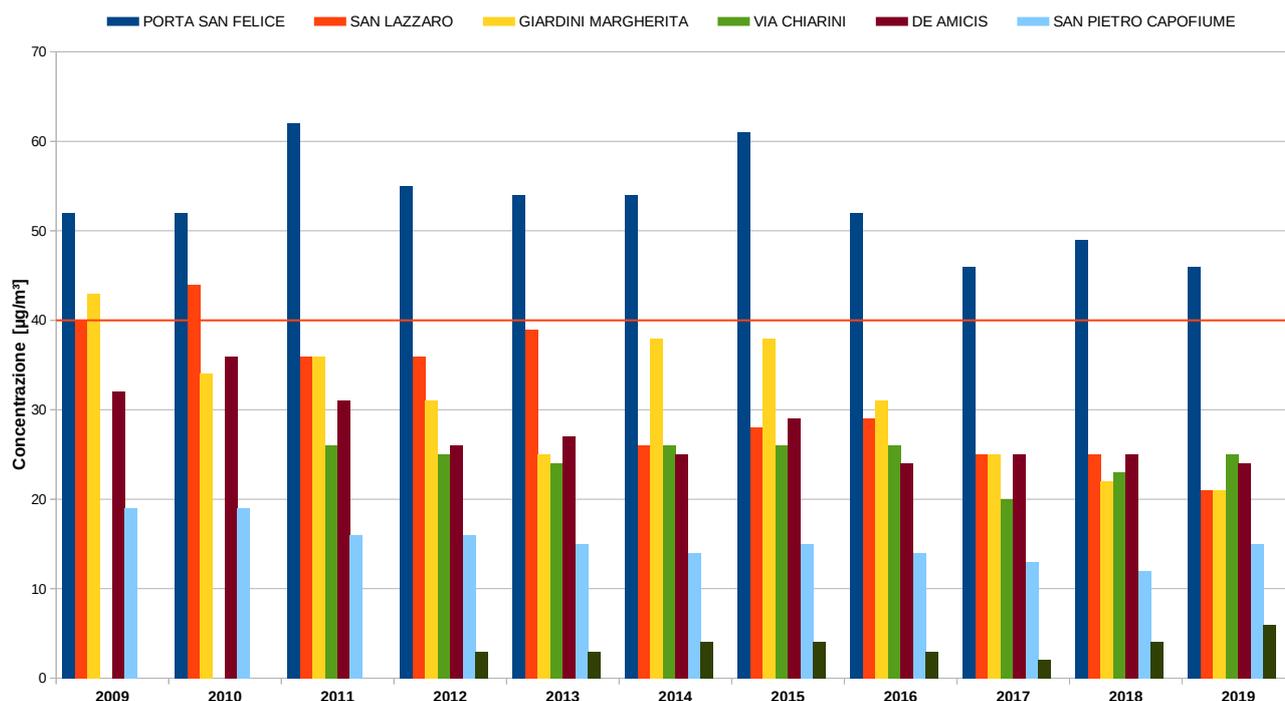


Figura 16 - NO₂ Confronto medie annuali 2009-2019

NO ₂ (µg/m ³) – Medie annuali 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	52	52	62	55	54	54	61	52	46	49	46
SAN LAZZARO	40	44	36	36	39	26	28	29	25	25	21
GIARDINI MARGHERITA	43	34	36	31	25	38	38	31	25	22	21
VIA CHIARINI	-	-	26	25	24	26	26	26	20	23	25
DE AMICIS	32	36	31	26	27	25	29	24	25	25	24
SAN PIETRO CAPOFIUME	19	19	16	16	15	14	15	14	13	12	15
CASTELLUCCIO	-	-	-	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12

- analizzatore non attivo

percentuale di dati validi inferiore al 90%

Tabella 7 - NO₂: Andamento temporale delle medie annuali

Non si evince un trend univoco sul lungo periodo per l'intervallo temporale preso in considerazione. In particolare si può osservare che per le stazioni da traffico il valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è stato sempre superato a Porta San Felice (Bologna), contrariamente a quanto avvenuto a Imola in viale De Amicis, dove tale valore non è stato raggiunto e dove la media negli ultimi anni è rimasta sostanzialmente invariata. Per le stazioni di diversa tipologia si osserva che le medie annuali non risultano più superiori al limite normativo per le stazioni di Giardini Margherita e San Lazzaro di Savena rispettivamente dal 2010 e dal 2011, mentre per le altre stazioni di fondo urbane (Chiarini) e non (San Pietro Capofiume e Castelluccio) le medie annuali del 2020, pur mantenendosi come sempre ben lontane dal limite, hanno fatto registrare lievi incrementi rispetto agli ultimi due anni.

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 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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. Questi criteri sono soddisfatti, per la rete di rilevamento della provincia di Bologna, dalle stazioni di fondo rurale San Pietro Capofiume e di fondo remoto Castelluccio, dove il limite per la protezione della vegetazione per il 2019 risulta rispettato (Tabella 8).

NO_x anno 2019 - Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
<i>Stazione</i>	<i>N. dati validi</i>	<i>MEDIA</i>
SAN PIETRO CAPOFIUME	8104	21
CASTELLUCCIO	7772	< 12

LIVELLO CRITICO	<i>Media annuale</i>	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
------------------------	----------------------	---

Tabella 8 - Protezione della Vegetazione: NO_x Media annuale 2019

OZONO - O₃**Che cos'è**

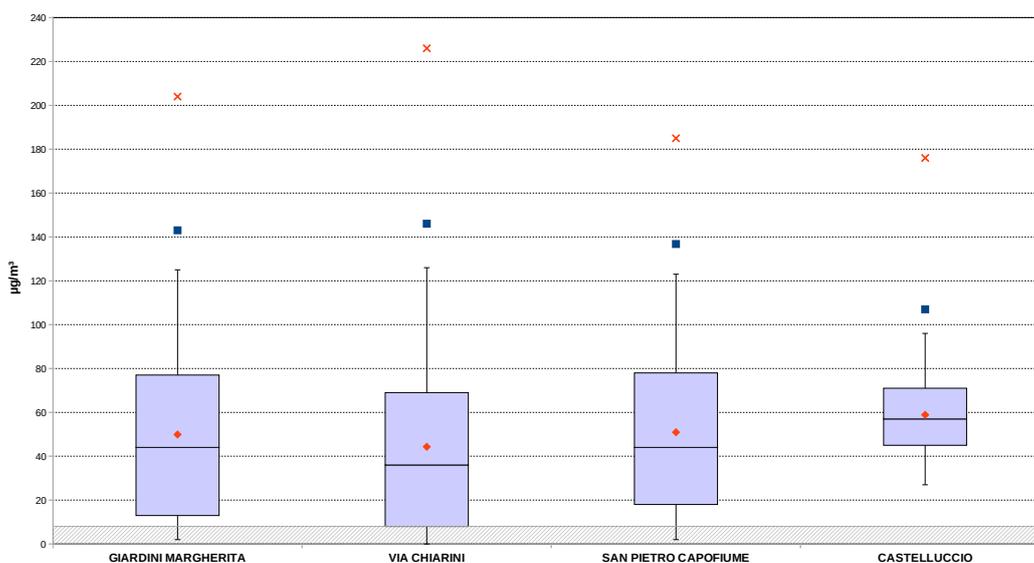
L'ozono è un componente gassoso dell'atmosfera, molto reattivo e aggressivo. Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. Invece negli strati bassi dell'atmosfera terrestre (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.

O ₃ anno 2019 – Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	8641	<8	44	50	107	125	143	204
VIA CHIARINI	8450	<8	36	44	104	126	146	226
SAN PIETRO CAPOFIUME	8262	<8	44	51	107	123	137	185
CASTELLUCCIO	8069	<8	57	59	86	96	107	176

Tabella 9 - Ozono: Parametri statistici - anno 2019

Figura 17 - O₃ : Box Plot delle statistiche annuali 2019

Il box plot (Figura 17) evidenzia che per Castelluccio la distribuzione dei dati risulta più simmetrica e 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 2019 (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; 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 rimangono relativamente alti e meno variabili in tutti i mesi invernali e in primavera.

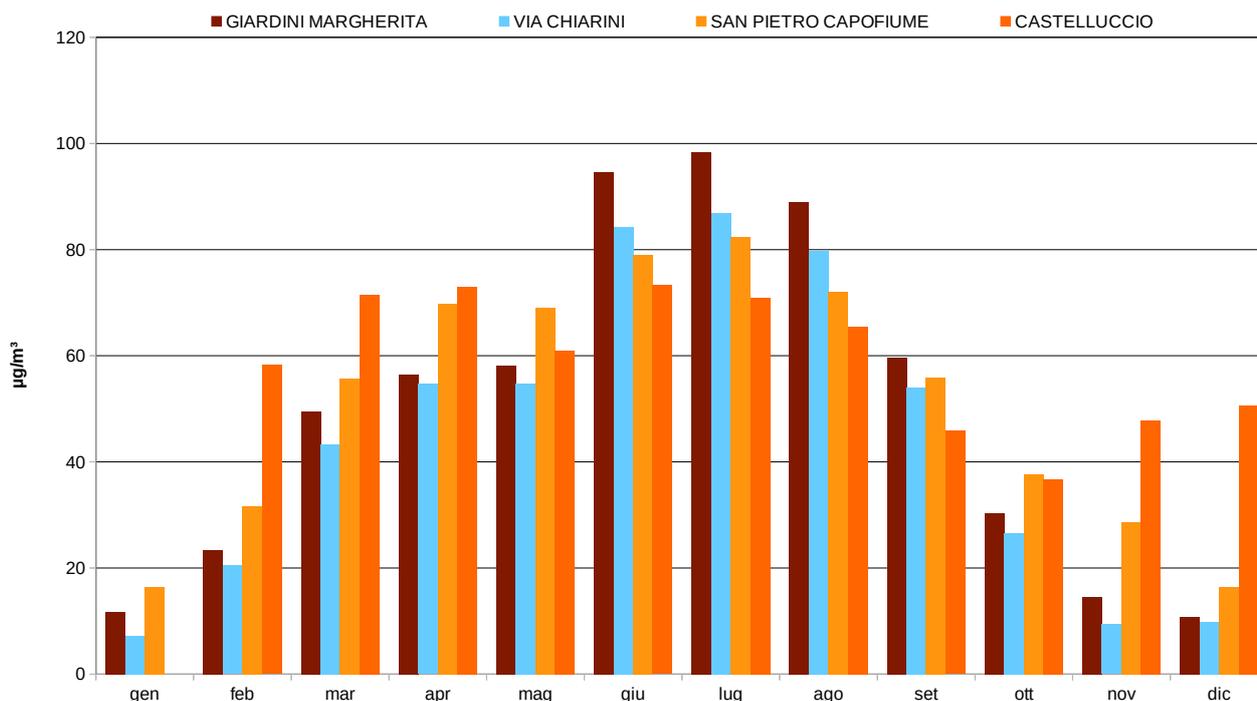


Figura 18 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2019

O ₃ (µg/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	12	23	49	56	58	95	98	89	60	30	15	11
VIA CHIARINI	< 8	20	43	55	55	84	87	80	54	27	9	10
SAN PIETRO CAPOFIUME	16	32	56	70	69	79	82	72	56	38	29	16
CASTELLUCCIO	-	58	72	73	61	73	71	65	46	37	48	51

■ percentuale inferiore al 90% ■ percentuale inferiore al 75%

Tabella 10 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2019

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 normativa il calcolo del numero di superamenti nell'anno richiede una percentuale del 90% di dati validi per cinque mesi su sei nella stagione estiva (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. Per quanto riguarda la soglia di allarme non sono stati registrati superamenti in nessuna delle stazioni dell'area metropolitana.

O ₃ anno 2019 – numero ore di superamento soglia di informazione (180 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2019
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	5	13	0	0	0	0	0	18
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	8	17	0	0	0	0	0	25
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
CASTELLUCCIO	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Tabella 11 - Ozono: Superamenti soglia di informazione - anno 2019

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

- il valore obiettivo pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 il superamento del limite normativo.

O3 anno 2019 – numero giorni di superamento valore obiettivo ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Stazione	media 3 anni	
GIARDINI MARGHERITA	50	
VIA CHIARINI	50	
SAN PIETRO CAPOFIUME	37	
CASTELLUCCIO	5	
LIMITE NORMATIVO		N° max sup. 25

 > valore limite

Tabella 12 - Ozono: Superamenti valore obiettivo per la salute umana - anno 2019

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

O ₃ anno 2019 – numero giorni di superamento obiettivo a lungo termine ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2019
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	16	19	22	2	0	0	0	59
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	17	18	21	4	0	0	0	60
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	2	4	0	17	18	7	3	0	0	0	51
CASTELLUCCIO	-	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	5

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

Tabella 13 - Ozono: Superamenti obiettivo a lungo termine per la salute umana - anno 2019

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 urbano dell'agglomerato (Giardini Margherita e via Chiarini); tuttavia tali dati non si sono discostati molto da quelli rilevati nella stazione di fondo rurale di San Pietro Capofiume. 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.

Un altro aspetto interessante legato ai giorni tipo di Castelluccio 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.

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 NO e composti organici.

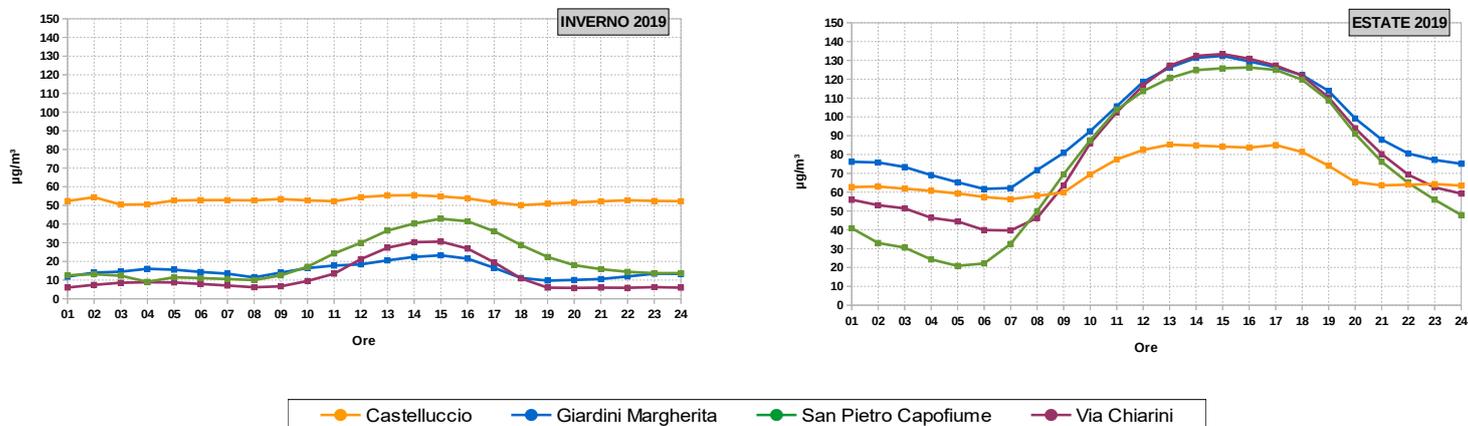


Figura 19 - Ozono: Giorno tipo invernale ed estivo

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 2019 si evidenziano medie superiori ai limiti normativi in tutte le postazioni considerate, ad eccezione del valore obiettivo come media su 5 anni di Castelluccio (Tabella 14).

AOT40 anno 2019 - Concentrazioni in µg/m ³ *h			
Stazione	N. dati validi	Valore obiettivo (media 5 anni)	Valore obiettivo a lungo termine
VIA CHIARINI	1063	26840	29659
SAN PIETRO CAPOFIUME	1047	21216	29616
CASTELLUCCIO	1090	5848	8383
LIMITE NORMATIVO		18000	6000

> valore limite

Tabella 14 - Protezione della Vegetazione: AOT40 anno 2019

In Tabella 15 e Tabella 16 sono riportate le serie storiche 2009 - 2019 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.

O3 soglia di informazione – numero ore di superamento media oraria (180 µg/m³) 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GIARDINI MARGHERITA	2	0	20	10	74	15	7	9	15	0	18
VIA CHIARINI	-	-	16	39	26	6	35	9	29	0	25
SAN PIETRO CAPOFUME	1	10	0	2	4	0	0	4	0	0	2
CASTELLUCCIO	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- analizzatore non attivo mesi estivi validi < 5

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

O3 obiettivo a lungo termine – numero giorni di superamento max media 8 h (120 µg/m³) 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GIARDINI MARGHERITA	42	15	66	58	75	44	40	45	52	39	59
VIA CHIARINI	-	-	73	70	52	25	55	46	51	39	60
SAN PIETRO CAPOFUME	70	58	83	58	40	16	36	45	15	45	51
CASTELLUCCIO	-	-	0	12	5	2	14	1	11	0	5

- 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.

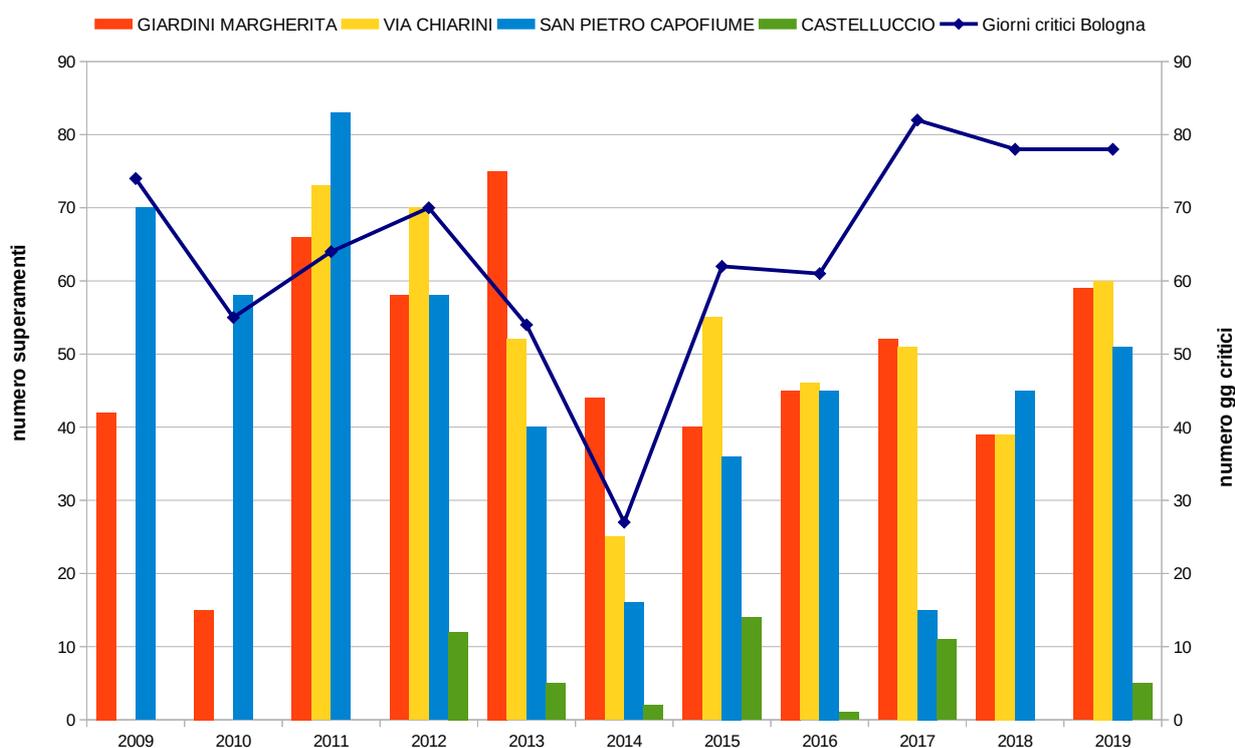


Figura 20 - O₃ Confronto superamenti obiettivo a lungo termine e numero di giorni critici

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 2019 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	357	<5	22	26	48	57	67	84
SAN LAZZARO	361	<5	21	25	45	57	66	75
GIARDINI MARGHERITA	351	<5	18	22	41	53	62	77
VIA CHIARINI	347	<5	22	25	43	54	62	71
DE AMICIS	360	<5	20	23	42	52	60	76
SAN PIETRO CAPOFIUME	355	<5	21	24	47	56	68	89
CASTELLUCCIO	343	<5	9	10	19	23	26	41

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

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

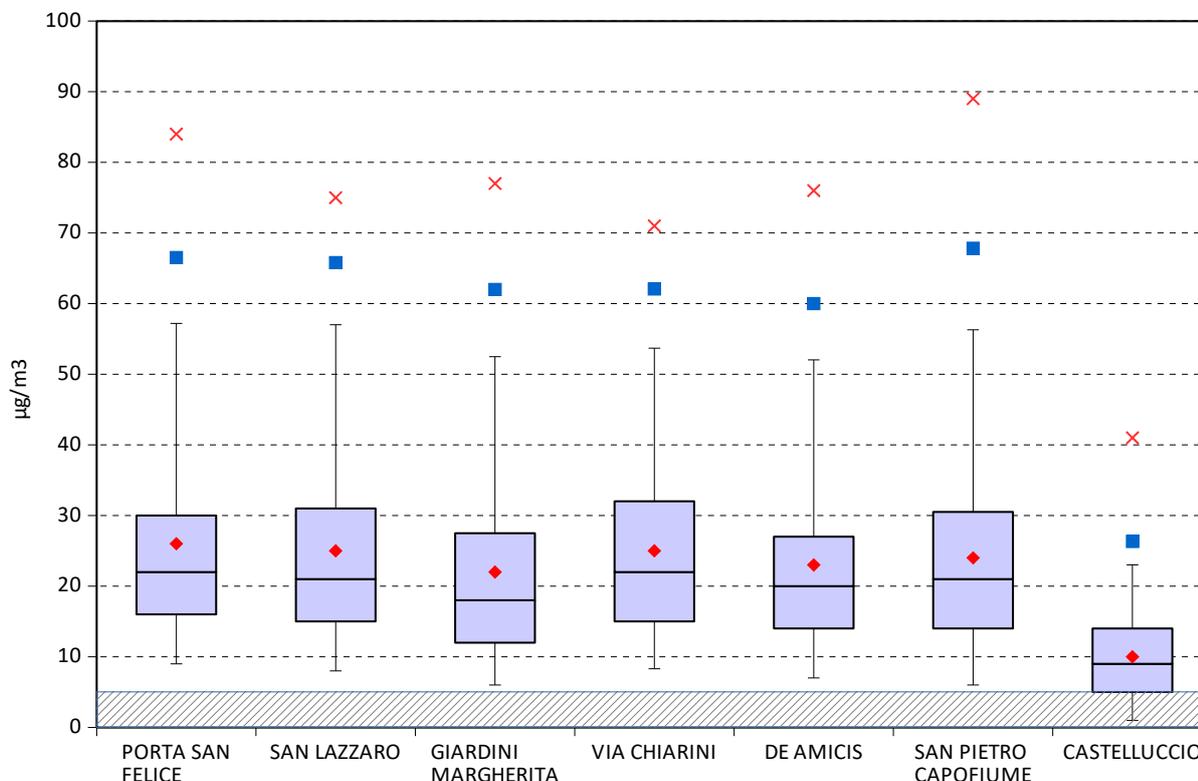


Figura 21 - PM10 : Box Plot delle statistiche annuali 2019

La valutazione delle concentrazioni estesa all'intero anno (Tabella 17) mostra che nel 2019 le medie annuali ottenute non superano il valore limite di 40 µg/m³ in nessuno dei siti di misura, inclusa la stazione da traffico Porta San Felice nell'agglomerato di Bologna. Dal box plot di Figura 21 emerge come le

distribuzioni annuali dei dati siano maggiormente disperse verso i valori massimi per la maggior parte delle stazioni e tutte molto 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.

Le medie mensili delle stazioni dell'Agglomerato (Figura 22) evidenziano un andamento stagionale con concentrazioni più elevate nel semestre invernale per tutte le centraline. 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 più abbondanti che nel resto del territorio, sia ad un aumento estivo dell'altezza dello strato di rimescolamento, che consente apporti di particolato da quote inferiori.

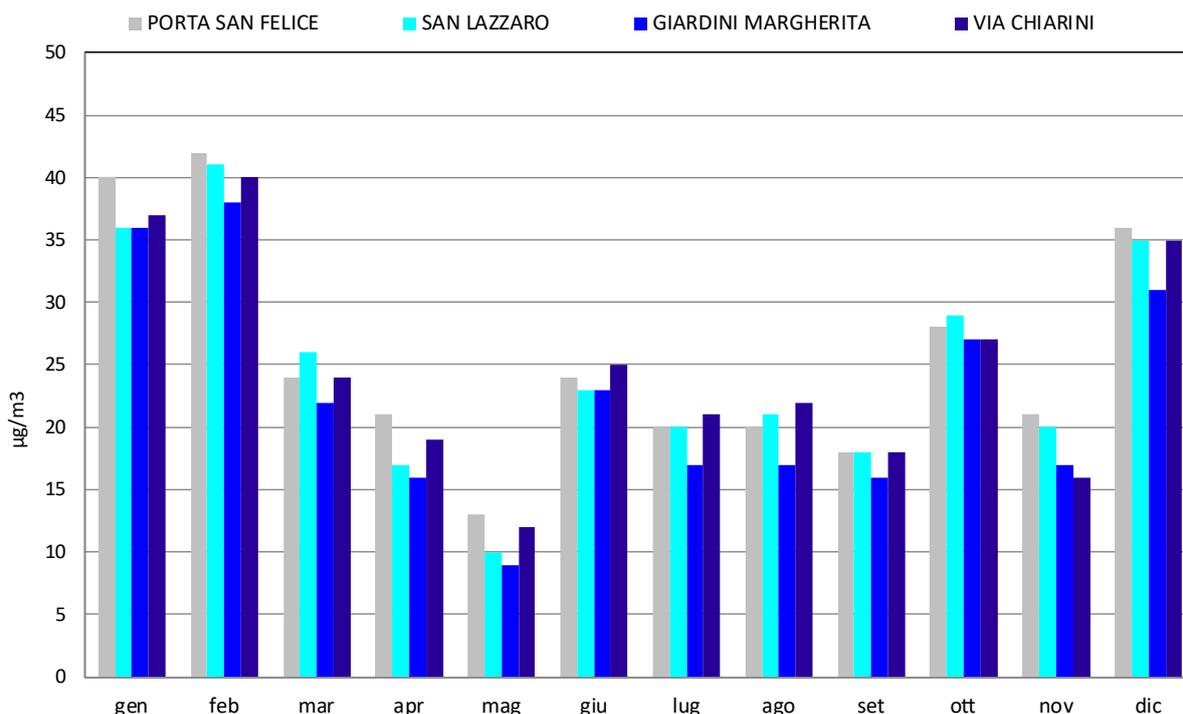


Figura 22 - Agglomerato - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2019

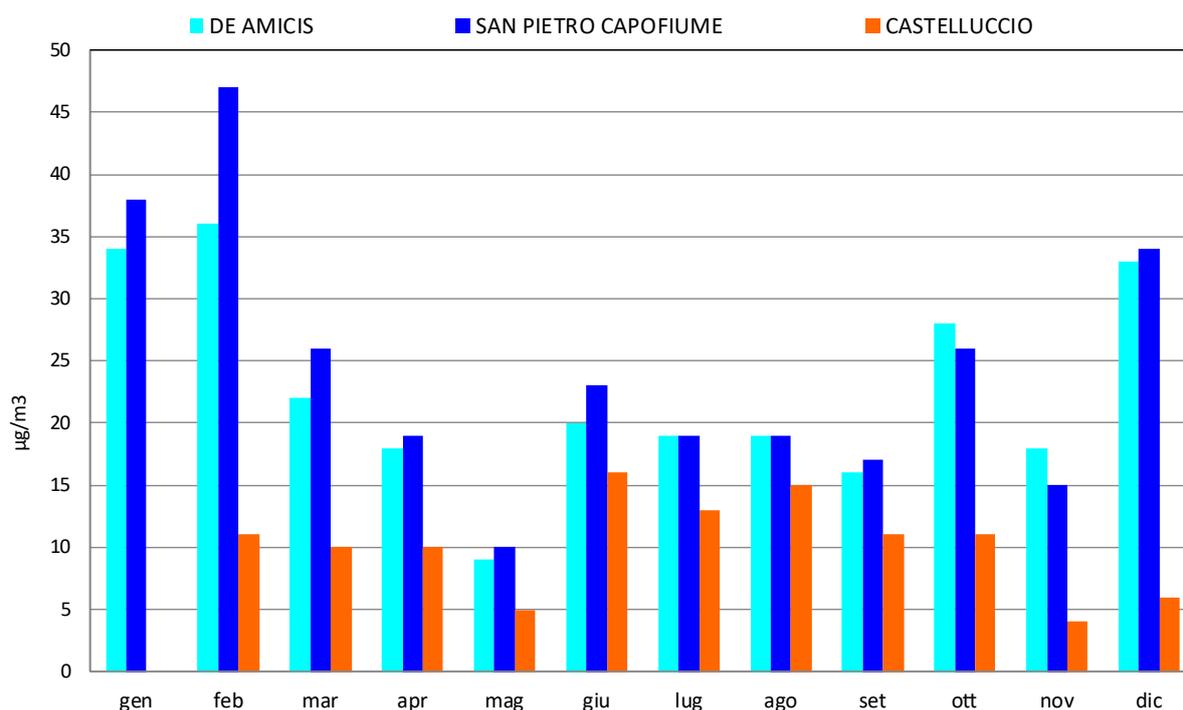


Figura 23 - Pianura e Appennino - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2019

PM ₁₀ (µg/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	40	42	24	21	13	24	20	20	18	28	21	36
SAN LAZZARO	36	41	26	17	10	23	20	21	18	29	20	35
GIARDINI MARGHERITA	36	38	22	16	9	23	17	17	16	27	17	31
VIA CHIARINI	37	40	24	19	12	25	21	22	18	27	16	35
DE AMICIS	34	36	22	18	9	20	19	19	16	28	18	33
SAN PIETRO CAPOFIUME	38	47	26	19	10	23	19	19	17	26	15	34
CASTELLUCCIO		11	10	10	5	16	13	15	11	11	<5	6

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

Tabella 18 - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2019

Il numero dei giorni di superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nell'anno 2019 è riportato in Tabella 19: nessuna delle stazioni di monitoraggio ha superato il numero annuale massimo di 35 giorni, consentiti dalla normativa. Il maggior numero di superamenti si è verificato in gennaio e febbraio. Rispetto al 2018, il numero di superamenti del valore limite giornaliero dell'anno in esame è tornato ai livelli degli anni precedenti (Tabella 20).

PM ₁₀ anno 2019 – 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	2019
PORTA SAN FELICE	9	10	2	0	0	0	0	0	0	4	0	7	32
SAN LAZZARO	7	10	2	0	0	0	0	0	0	4	0	6	29
GIARDINI MARGHERITA	4	8	2	0	0	0	0	0	0	4	0	5	23
VIA CHIARINI	6	7	2	0	0	0	0	0	0	3	0	3	21
DE AMICIS	5	5	2	0	0	0	0	0	0	2	0	6	20
SAN PIETRO CAPOFIUME	7	12	2	0	0	0	0	0	0	3	0	7	31
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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 2019

Confrontando il numero stimato di giorni favorevoli all'accumulo di particolato (giorni critici), con gli effettivi superamenti del valore limite di 50 µg/m³ della media giornaliera di PM₁₀ dal 2009 al 2019 (Figura 24), si evidenzia che a partire dal 2014 in generale vi è una maggiore distanza tra i due andamenti.

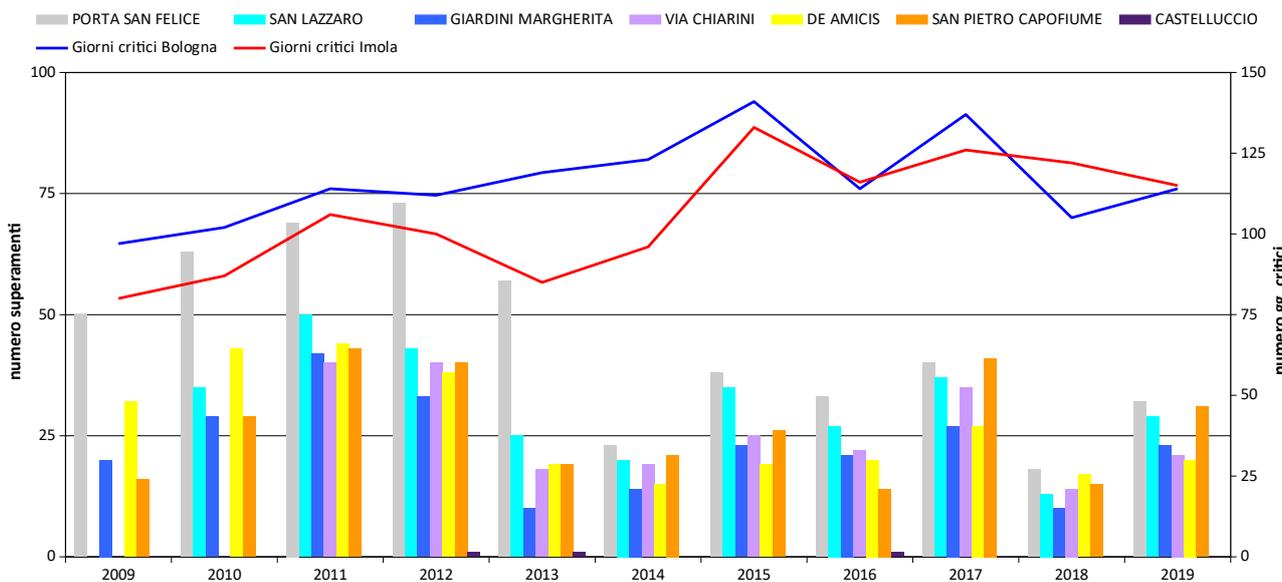


Figura 24 - PM₁₀ Confronto superamenti 50 µg/m³ e numero di giorni critici

PM10 – numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³) 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	50	63	69	73	57	23	38	33	40	18	32
SAN LAZZARO	-	35	50	43	25	20	35	27	37	13	29
GIARDINI MARGHERITA	20	29	42	33	10	14	23	21	27	10	23
VIA CHIARINI	-	-	40	40	18	19	25	22	35	14	21
DE AMICIS	32	43	44	38	19	15	19	20	27	17	20
SAN PIETRO CAPOFUME	16	29	43	40	19	21	26	14	41	15	31
CASTELLUCCIO	-	-	-	1	1	0	0	1	0	0	0

- analizzatore non attivo

percentuale di dati validi inferiore al 90%

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

In Figura 25 e Tabella 21 è riportato il trend 2009 - 2019 dei valori medi annuali di PM₁₀. Dai dati si può rilevare un leggero decremento negli anni 2008-2009, associabile anche ad un calo nel numero di giorni critici. Dal 2014 in poi i dati di concentrazione media annuale tendono a livellarsi tra loro mantenendo un trend sostanzialmente costante inferiore al valore limite di 40 µg/m³, ad eccezione della peculiarità della stazione di fondo di Castelluccio che rimane stabile nelle sue basse concentrazioni.

Rispetto allo scorso anno le concentrazioni del 2019 di PM₁₀ si sono riallineate ai valori dell'ultimo quinquennio.

PM10 (µg/m ³) – Medie annuali 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	34	34	37	37	32	25	29	26	29	26	26
SAN LAZZARO	-	27	31	30	25	24	28	25	28	24	25
GIARDINI MARGHERITA	24	24	29	26	19	20	26	23	25	22	22
VIA CHIARINI	-	-	31	29	24	22	26	24	28	24	25
DE AMICIS	28	28	30	29	23	21	25	23	25	23	23
SAN PIETRO CAPOFUME	25	25	30	28	23	21	26	22	27	23	24
CASTELLUCCIO	-	-	-	11	9	9	10	9	10	10	10

- analizzatore non attivo

percentuale di dati validi inferiore al 90%

percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 21 - PM₁₀: Andamento temporale delle medie annuali

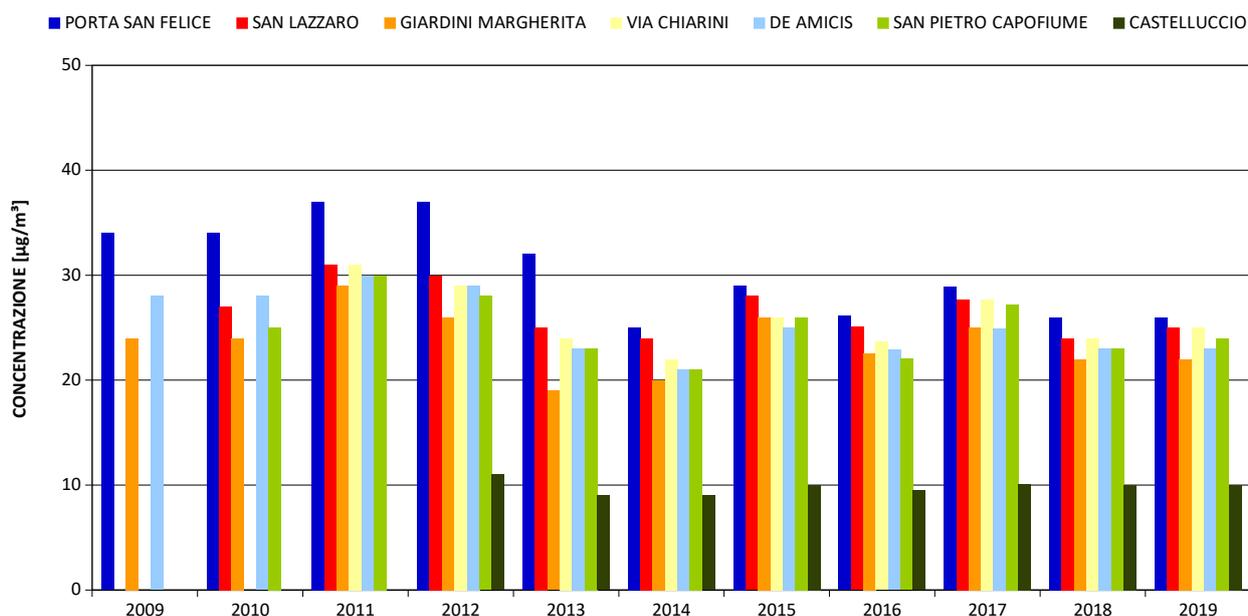


Figura 25 - PM₁₀ Andamento delle medie annuali 2009-2019

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 2019 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	355	<5	12	16	34	41	50	64
GIARDINI MARGHERITA	356	<5	10	14	32	38	48	61
SAN PIETRO CAPOFUME	355	<5	13	17	36	45	54	73
CASTELLUCCIO	338	<5	5	6	12	14	16	21

VALORE LIMITE Media annuale **25 µg/m³**

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

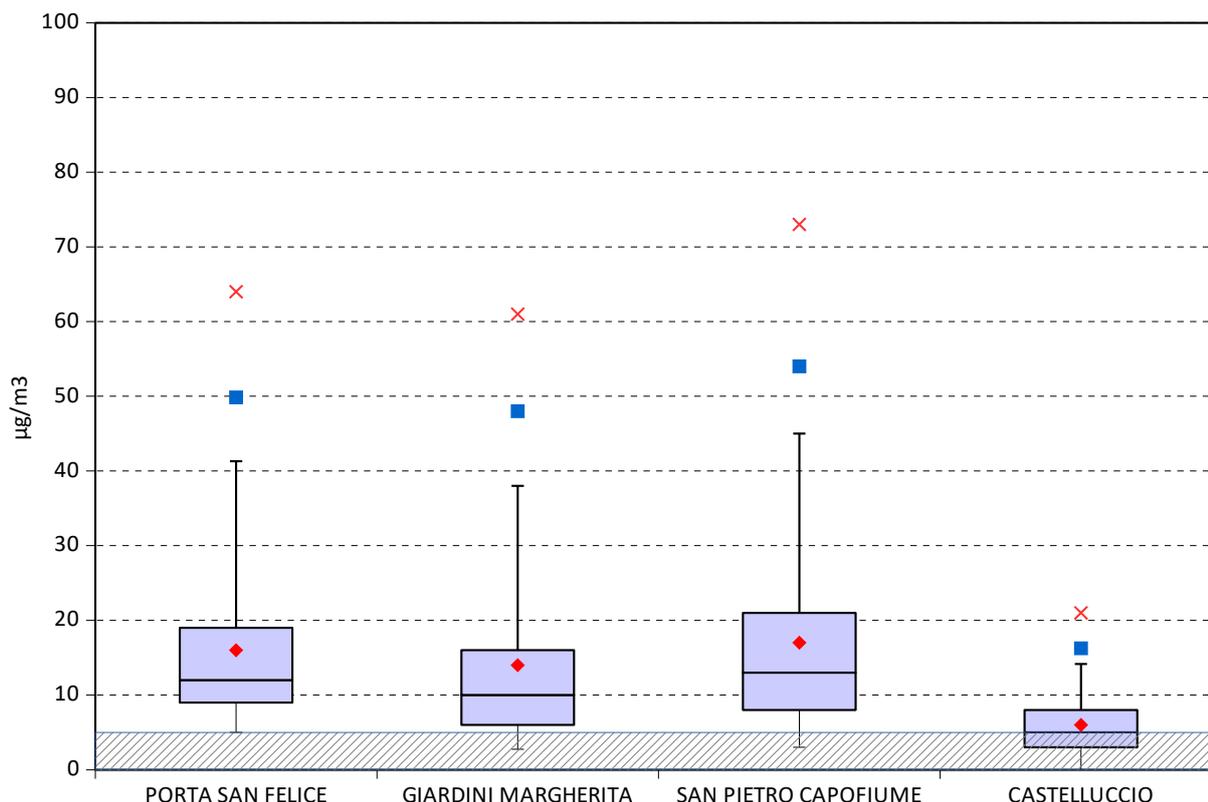


Figura 26 - PM_{2.5} : Box Plot delle statistiche annuali 2019

Le concentrazioni medie annue risultano nel 2019 significativamente inferiori al valore limite di 25 µg/m³, in 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}. Come già visto per il particolato PM₁₀ anche in questo caso Castelluccio ha un comportamento a sé stante.

In Tabella 23 e in Figura 27 vengono raccolte le medie mensili dei valori di concentrazione del particolato PM_{2.5} per l'anno 2019, che raggiungono i valori più elevati in autunno e in inverno.

PM _{2.5} (µg/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	30	30	15	12	7	12	11	12	10	17	13	27
GIARDINI MARGHERITA	25	27	12	9	<5	10	9	11	9	17	10	24
SAN PIETRO CAPOFIUME	30	35	17	12	6	12	11	12	10	17	11	27
CASTELLUCCIO		7	6		<5	9	8	9	5	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 2019

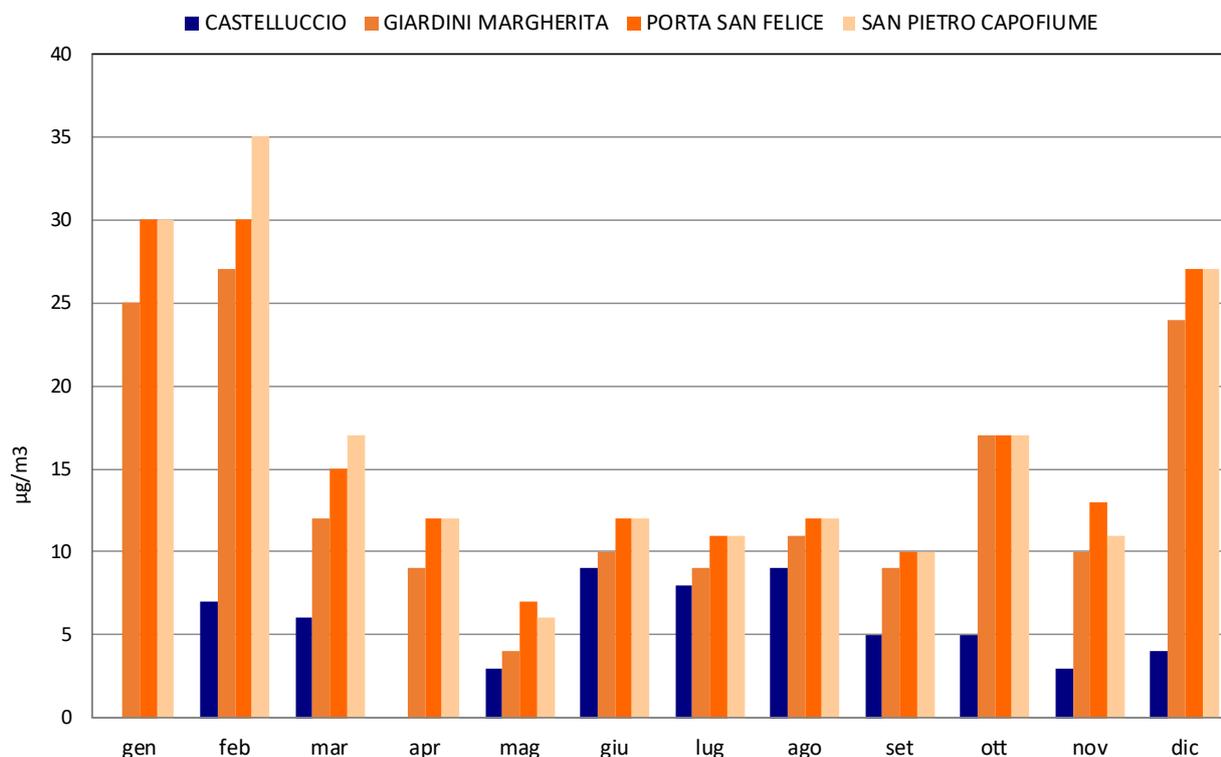


Figura 27 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie mensili - 2019

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 da fattori stagionali.

I minimi sono misurati 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 2019 (Figura 28) mostra un comportamento simile tra i siti anche se con valori diversi, comunque più elevati nei mesi invernali e nelle stazioni di pianura. Il rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ è variato a Porta San Felice da un minimo del 50% nel mese di giugno ad un massimo del 75% in gennaio e dicembre, mentre a San Pietro Capofiume da un minimo del 52% nel mese di giugno e un massimo del 79% a gennaio e dicembre.

Nella postazione di Giardini Margherita si ha un minimo del 43% nel mese di giugno e un massimo del 77% nel mese di dicembre. Il rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ relativo alla stazione di Castelluccio, ha raggiunto il minimo a settembre e ottobre (45%) ed il valore massimo ad aprile (80%).

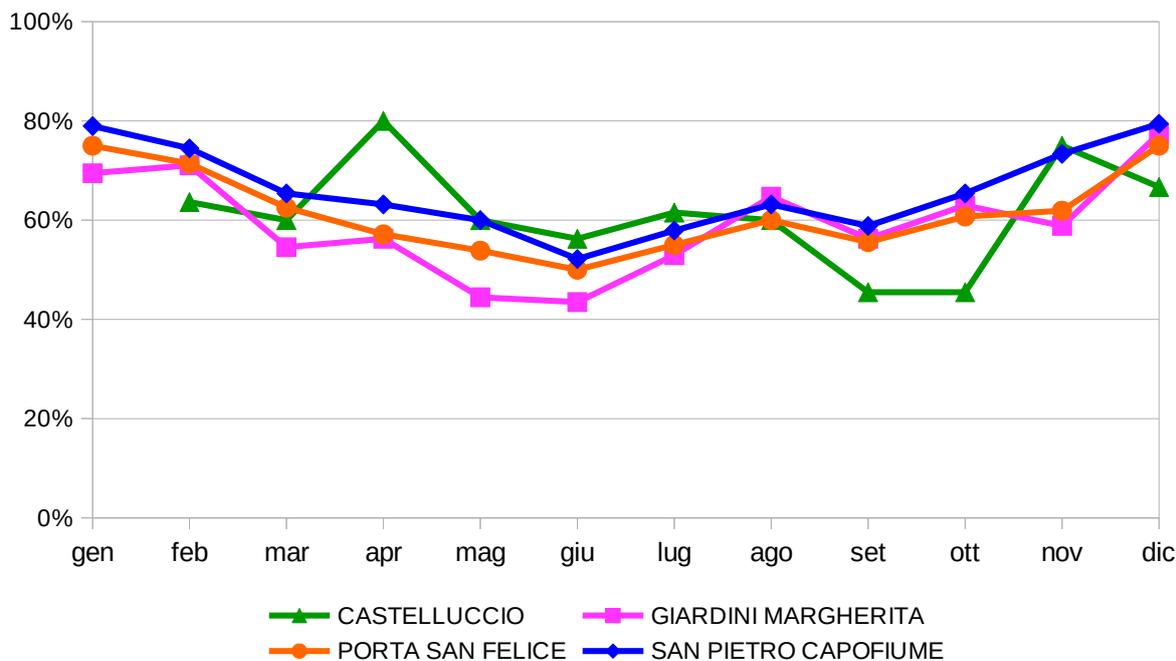


Figura 28 - Rapporto PM_{2.5}/PM₁₀ : medie mensili 2019

Nel grafico di Figura 29 e nella 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 e di San Pietro Capofiume per tutti gli anni considerati; dall'inizio del 2009 nella stazione di Giardini Margherita e a partire dal 2012 nella stazione di Castelluccio.

Si può rilevare un andamento più continuo rispetto al PM₁₀ anche se tendenzialmente in diminuzione nel lungo periodo. Il rispetto del valore limite annuale (25 µg/m³) si è consolidato a partire dal 2008.

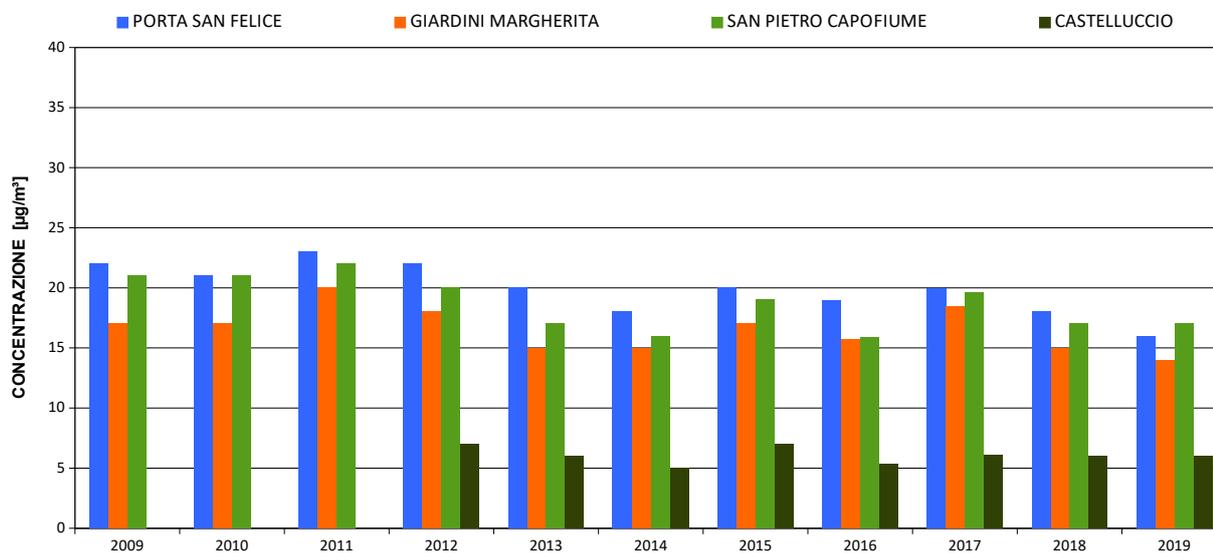


Figura 29 - PM_{2.5} Confronto medie annuali 2009-2019

PM _{2.5} (µg/m ³) – Medie annuali 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	22	21	23	22	20	18	20	19	20	18	16
GIARDINI MARGHERITA	17	17	20	18	15	15	17	16	18	15	14
SAN PIETRO CAPOFIUME	21	21	22	20	17	16	19	16	20	17	17
CASTELLUCCIO	-	-	-	7	6	5	7	5	6	6	6

- analizzatore non attivo

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 2019 – Concentrazioni in mg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8423	<0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	4,8
DE AMICIS	8260	<0,4	<0,4	0,4	0,8	0,9	1,1	1,8

Tabella 25 - Monossido di carbonio: Parametri statistici - anno 2019

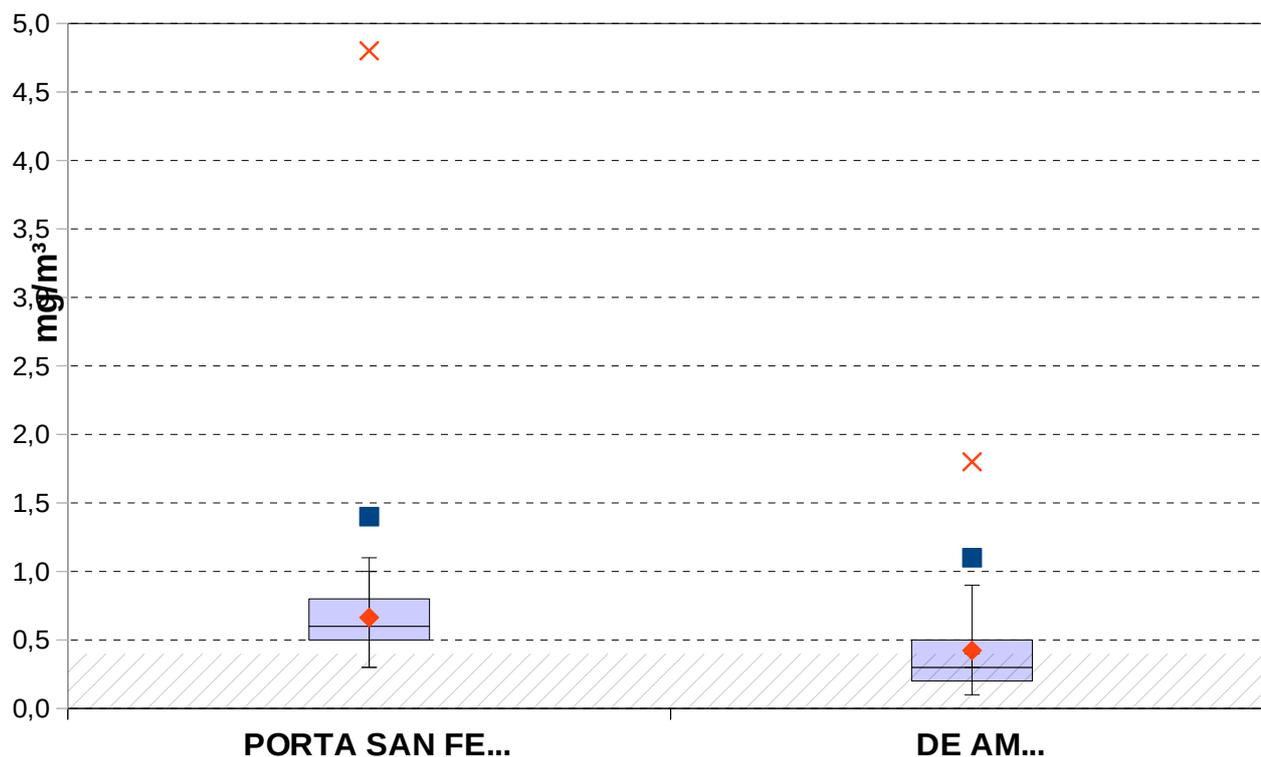


Figura 30 - CO : Box Plot delle statistiche annuali 2019

Nell'ambito della revisione del sistema qualità di Arpae, nel corso del 2019 è stato adottato un nuovo limite di quantificazione per il monossido di carbonio (0,4 mg/m³) in luogo di quello adottato negli scorsi anni (0,6 mg/m³).

Il box plot (figura 30) evidenzia per De Amicis una distribuzione più compatta dei valori rispetto a quelli di Porta San Felice.

Il Decreto Legislativo n. 155/2010 stabilisce per il monossido di carbonio un valore limite pari a 10 mg/m³ come massima concentrazione media giornaliera su 8 ore.

Il valore limite di 10 mg/m³ fissato dalla normativa non è mai stato superato nel 2019 in nessuna delle due postazioni di misura, con concentrazioni di CO nettamente inferiori, di uno o due ordini di grandezza, rispetto al valore limite. 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 e sostanzialmente più bassi nei mesi centrali dell'anno. Le concentrazioni registrate a Porta San Felice sono sempre superiori rispetto a quelle di De Amicis.

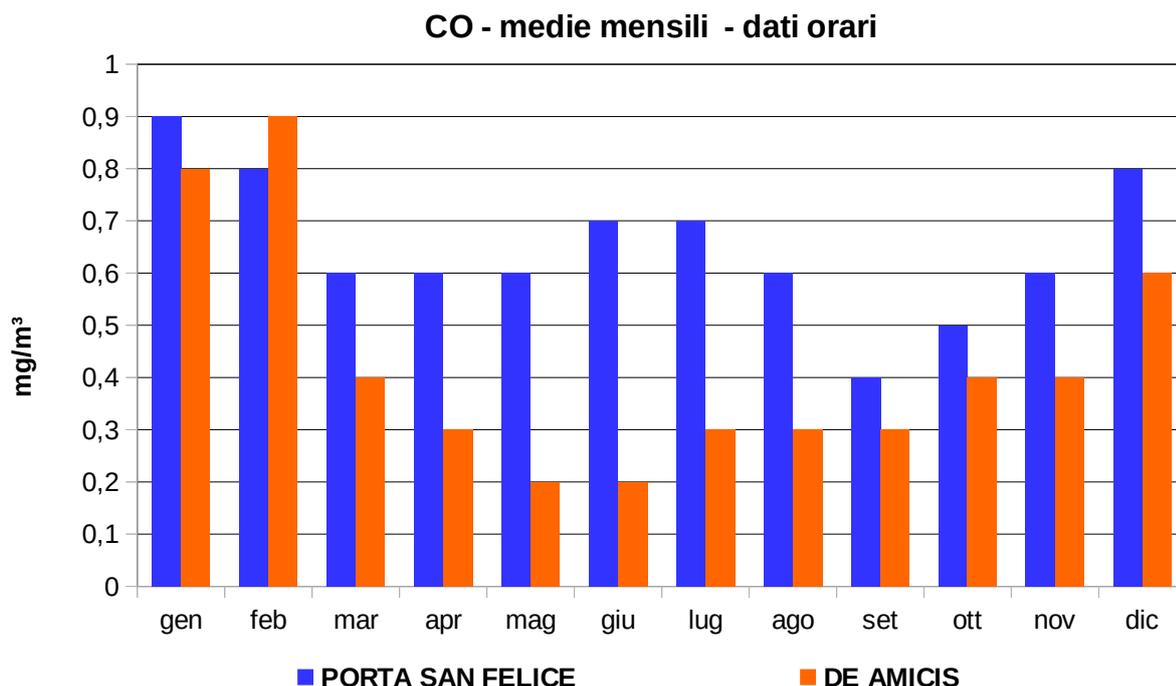


Figura 31 - CO Concentrazioni medie mensili 2019

CO (mg/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,4	0,5	0,6	0,8
DE AMICIS	0,8	0,9	0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,4	0,4	0,6

percentuale di dati validi inferiore al 90%

percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 26 - CO Concentrazioni medie mensili 2019

L'analisi dei dati medi delle serie storiche annuali (tabella 27) e l'andamento temporale delle medie annuali (figura 32) mostrano, dal 2011 sulla stazione di De Amicis valori inferiori al limite di quantificazione adottato fino al 2019 e pari allo stesso nell'anno in oggetto mentre, sulla stazione di Porta san Felice si sono registrati valori appena superiori al limite di quantificazione.

In entrambi i casi i valori si collocano intorno ad una media molto lontana dal limite legislativo, analogamente a quanto rilevato su tutto il territorio regionale.

CO (mg/m3) – Medie annuali 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	<0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7
DE AMICIS	0,6	0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,4

Tabella 27 - CO confronto medie annuali 2009-2019

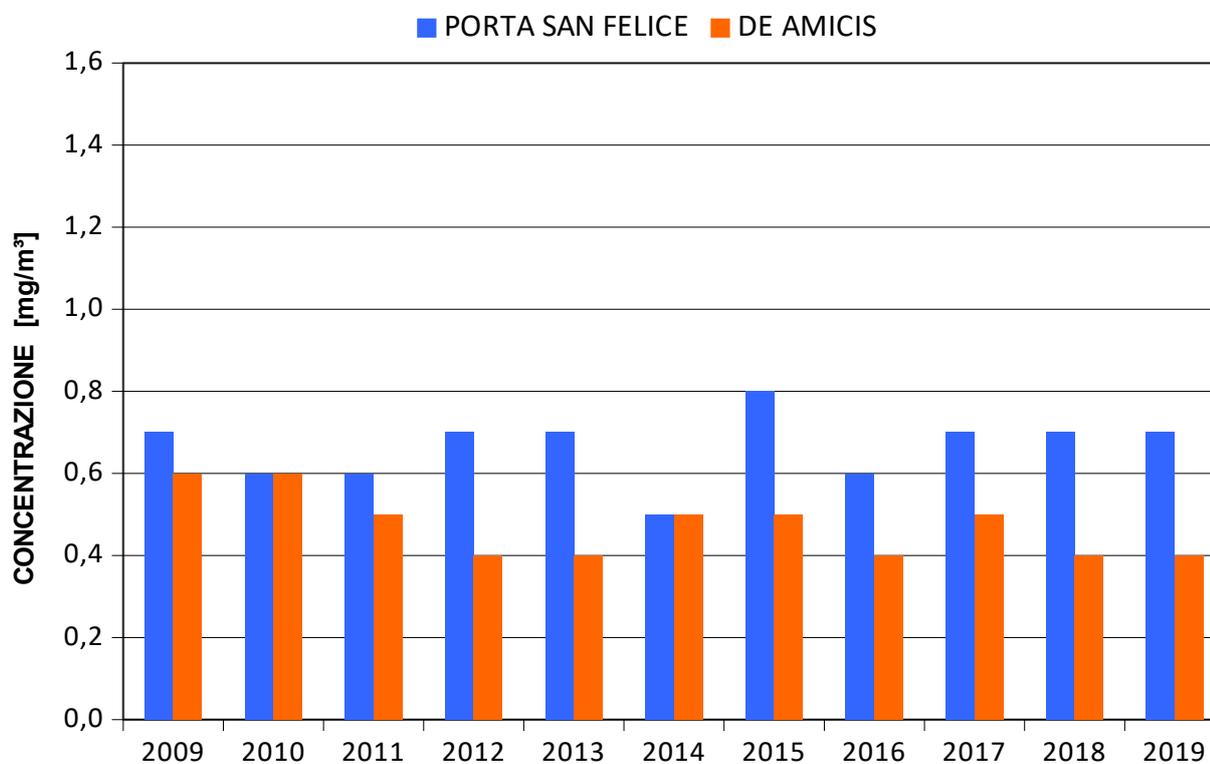


Figura 32 - CO Andamento temporale delle medie annuali

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 2019 – Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8038	0,1	0,9	1,1	2,1	2,6	3,5	16,2
DE AMICIS	7744	< 0,1	0,5	0,7	1,6	2,1	2,7	11,5
VALORE LIMITE		<i>Media annuale</i>		5,0 µg/m ³				

Tabella 28 - Benzene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge - anno 2019

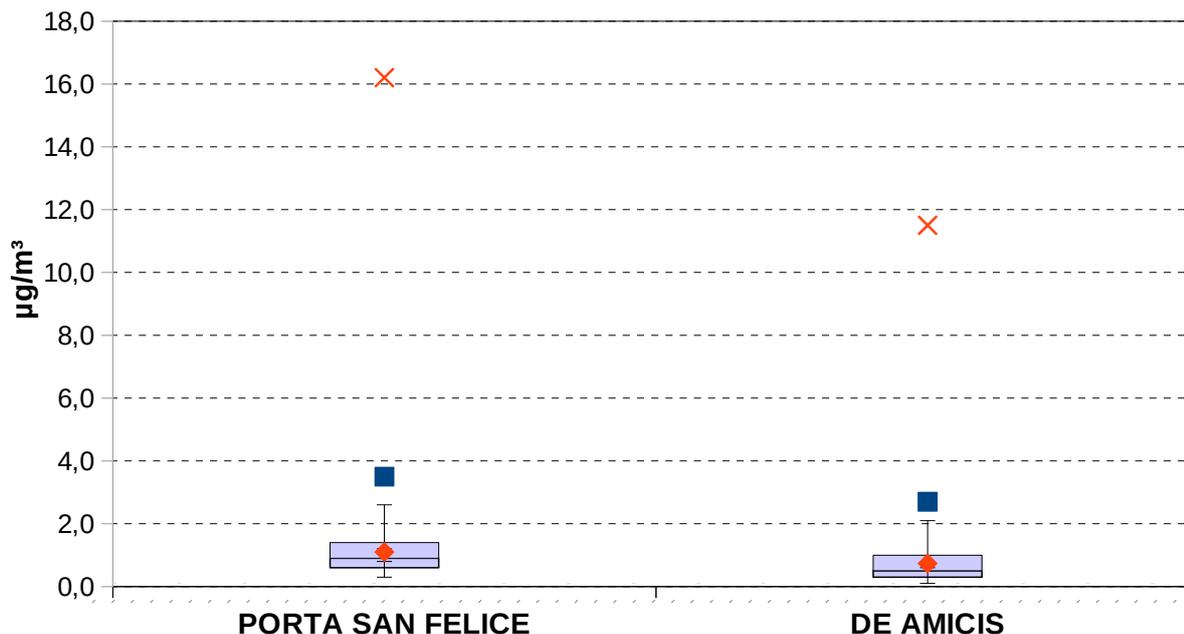


Figura 33 - C₆H₆ : Box Plot delle statistiche annuali 2019

Come presentato in Tabella 28, i valori medi annuali misurati presso entrambe le stazioni da traffico risultano significativamente inferiori al valore limite di 5 µg/m³.

La distribuzione dei dati delle due stazioni (Figura 33) presenta valori entro il 98° percentile inferiori al limite annuale.

Nel grafico di Figura 34 sono riportate le concentrazioni medie mensili.

Le concentrazioni di Porta San Felice risultano più elevate nei mesi invernali di gennaio, febbraio e dicembre, raggiungendo il valore massimo di 2,3 µg/m³ a gennaio.

Anche in viale De Amicis si presentano valori massimi a gennaio, e a dicembre che risultano sempre inferiori, talvolta anche sensibilmente, rispetto a quelli di Porta San Felice.

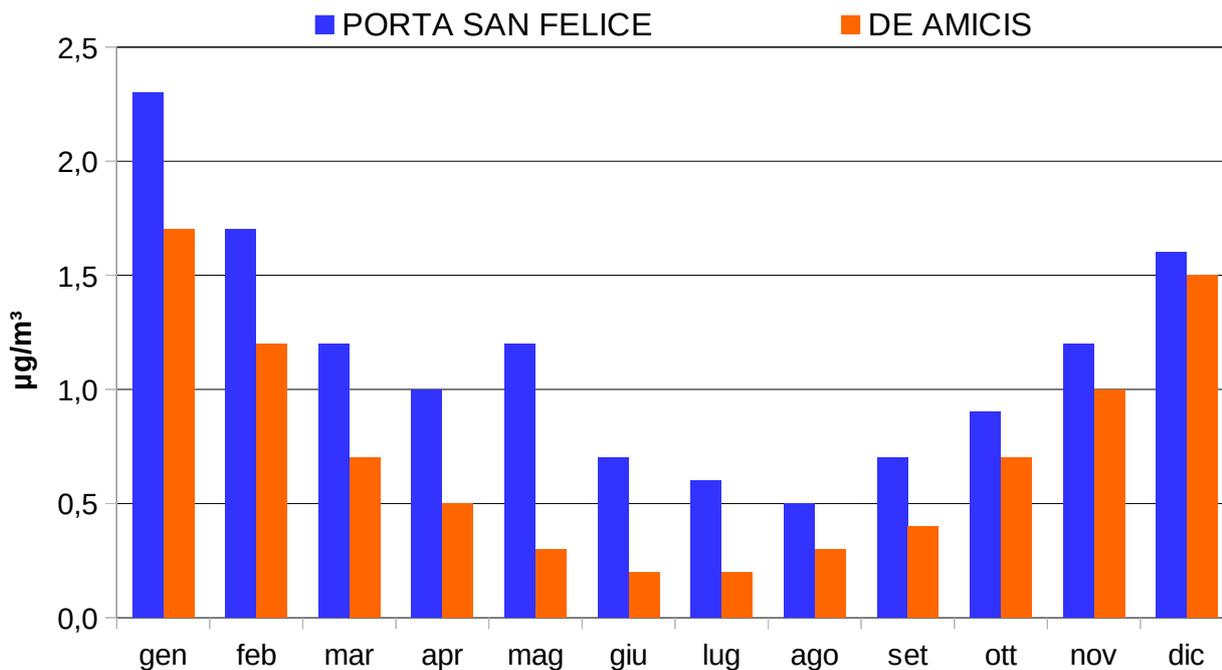


Figura 34 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2019

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	2,3	1,7	1,2	1,0	1,2	0,7	0,6	0,5	0,7	0,9	1,2	1,6
DE AMICIS	1,7	1,2	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,5

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

Tabella 29 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2019

I grafici successivi (Figura 35) illustrano il giorno tipo invernale ed estivo per le due stazioni considerate. Gli andamenti evidenziano massimi orari nelle ore di punta del traffico diurne e serali; più accentuati d'inverno e più evidenti nella stazione di Porta San Felice.

In estate i valori diminuiscono in entrambe le stazioni presentando un andamento più costante durante l'arco della giornata.

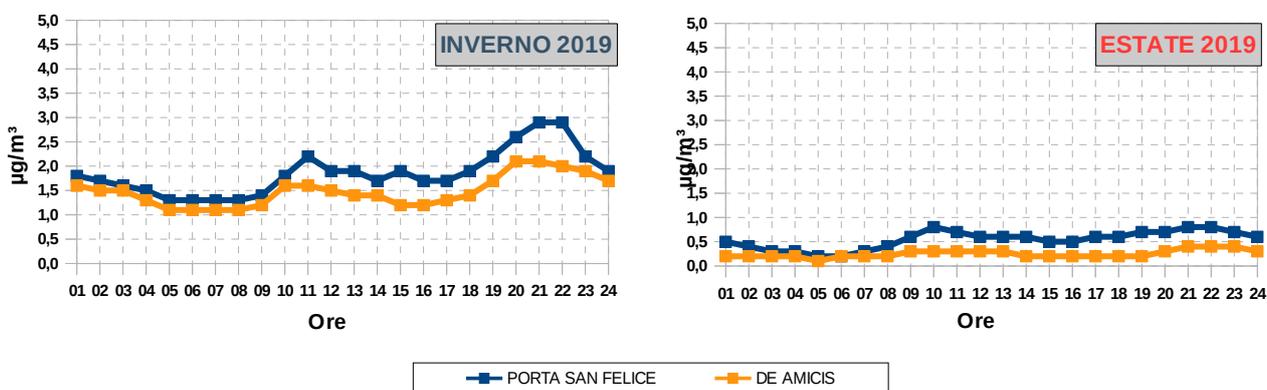


Figura 35 - Stazioni da traffico, C₆H₆: giorno tipo invernale ed estivo

Dai dati rilevati nella stazione urbana da traffico di Porta San Felice dal 2009 al 2019 (Figura 36 e Tabella 30) emerge una tendenza alla progressiva riduzione della concentrazione media annuale, con due periodi (dal 2012 al 2015 e dal 2016 al 2018) caratterizzati da medie annuali sostanzialmente stabili. Va comunque sottolineata la netta riduzione tra la media del 2018 e quella del 2019 arrivata a 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nella stazione urbana da traffico di Imola in viale De Amicis si registra per l'anno 2019 una concentrazione media annua pari a 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, che risulta essere la più bassa di tutta la serie storica dal 2010. Nel complesso l'andamento delle medie annuali di entrambe le stazioni considerate evidenzia una diminuzione della criticità di questo parametro.

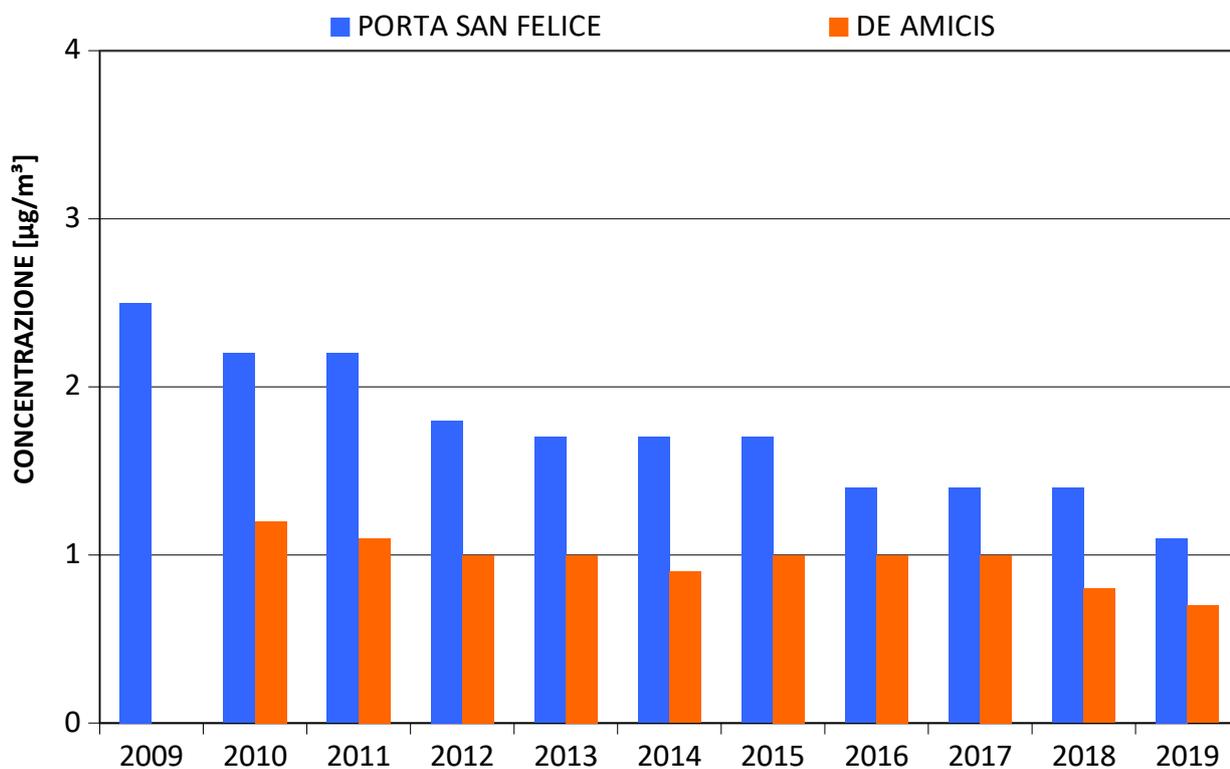


Figura 36 - C₆H₆ Confronto medie annuali 2009-2019

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – Medie annuali 2009 – 2019											
Stazione	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	2,5	2,2	2,2	1,8	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1
DE AMICIS	-	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7

- analizzatore non attivo

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 2019 - Concentrazioni in ng/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	12	0,003	0,079	0,168	0,344	0,545	0,685	0,779
GIARDINI MARGHERITA	12	0,003	0,035	0,133	0,432	0,519	0,565	0,596
SAN PIETRO CAPOFIUME	12	0,003	0,046	0,207	0,508	0,784	0,979	1,110
LIMITE NORMATIVO		<i>Media annuale</i>		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 2019 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, sia per i periodi mensili (Tabella 32 e Figura 37) sia per l'intero anno 2019 (Tabella 33 e Figura 38), relative alle stazioni di riferimento.

L'analisi delle concentrazioni mensili (Tabella 32 e Figura 37) mostra la stagionalità dell'andamento dei valori, evidenziando le concentrazioni massime raggiunte nel mese di gennaio in tutte le stazioni, con il picco registrato a San Pietro Capofiume.

Benzo(a)Pirene (ng/m ³) – medie mensili anno 2019												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,779	0,354	0,124	0,057	0,054	0,010	0,016	0,003	0,040	0,101	0,218	0,257
GIARDINI MARGHERITA	0,596	0,212	0,099	0,033	0,036	0,012	0,003	0,003	0,008	0,020	0,114	0,456
SAN PIETRO CAPOFIUME	1,110	0,517	0,151	0,050	0,030	0,011	0,004	0,003	0,016	0,041	0,126	0,426

Tabella 32 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2019

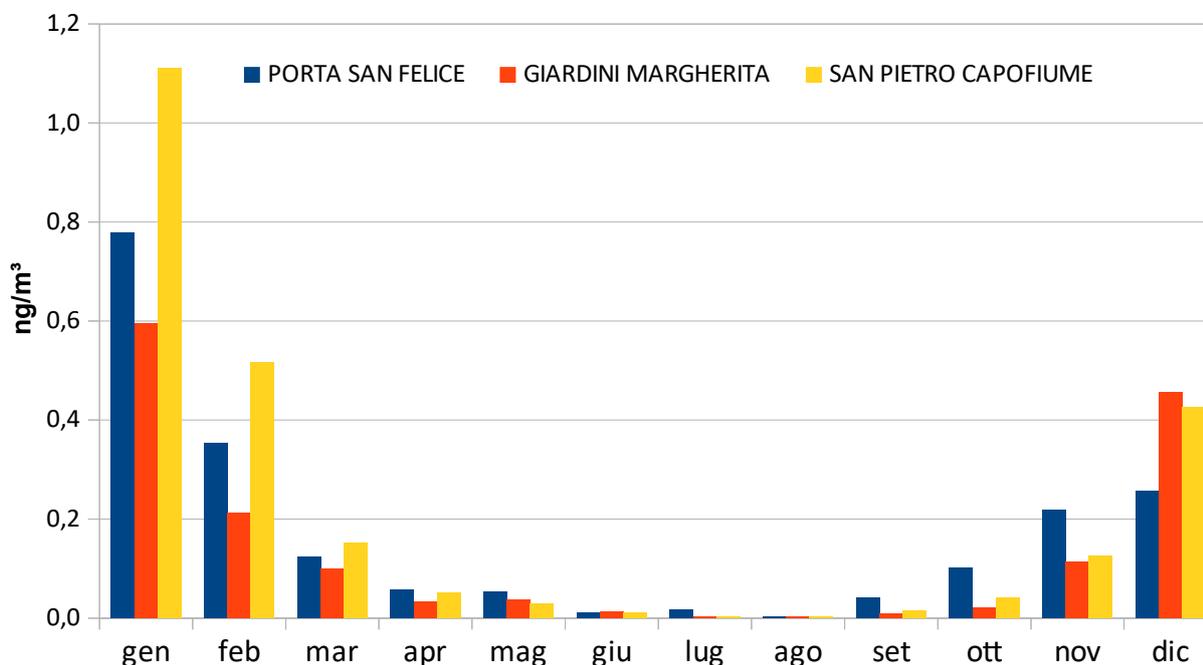


Figura 37 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2019 (ng/m³)

IPA di interesse sanitario (D.Lgs 155/2010) [ng/m ³] – medie anno 2019						
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	0,169	0,166	0,437	0,140	0,189	0,020
GIARDINI MARGHERITA	0,130	0,121	0,346	0,124	0,155	0,014
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,208	0,177	0,541	0,157	0,228	0,023

Tabella 33 - IPA: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) 2019

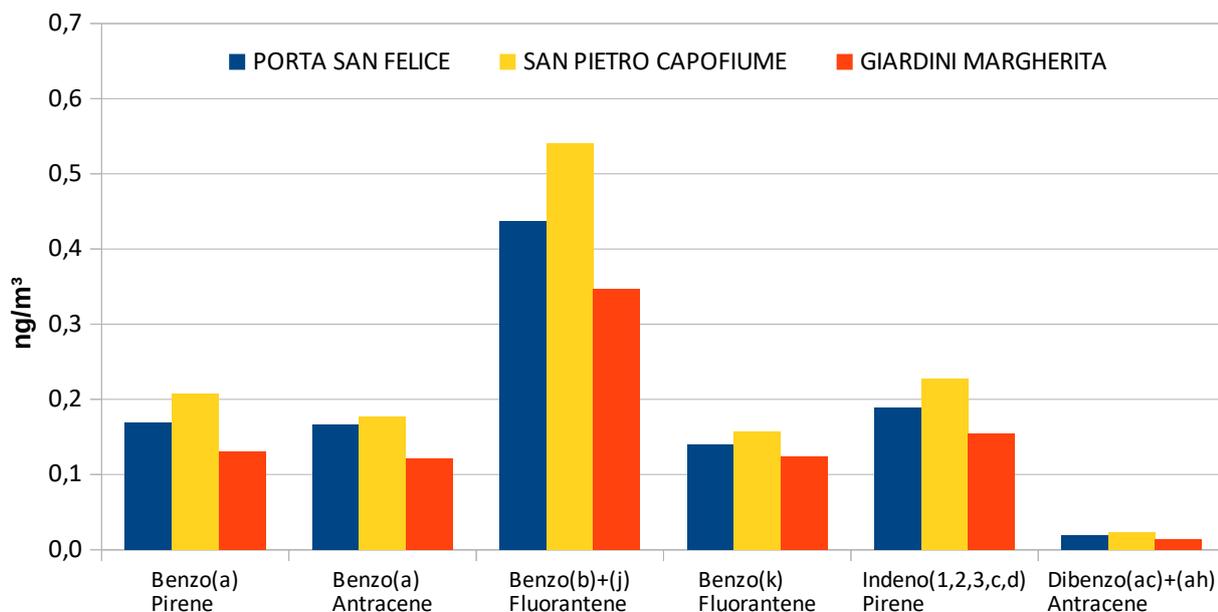


Figura 38 - IPA: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) 2019

In Tabella 34 e in Figura 39 è infine riportata la serie delle medie annuali del Benzo(a)pirene, espresse in ng/m³, relativa agli ultimi 10 anni (dal 2010 al 2019). Si può notare come tutte le concentrazioni riportate siano largamente inferiori al valore obiettivo.

Benzo(a)Pirene - Medie annuali 2010-2019 in ng/m ³										
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PORTA SAN FELICE	0,16	0,28	0,20	0,24	0,13	0,11	0,22	0,20	0,18	0,17
GIARDINI MARGHERITA	0,08	0,12	0,23	0,17	0,12	0,18	0,13	0,15	0,11	0,13
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,19	0,28	0,17	0,15	0,08	0,08	0,20	0,29	0,19	0,21

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

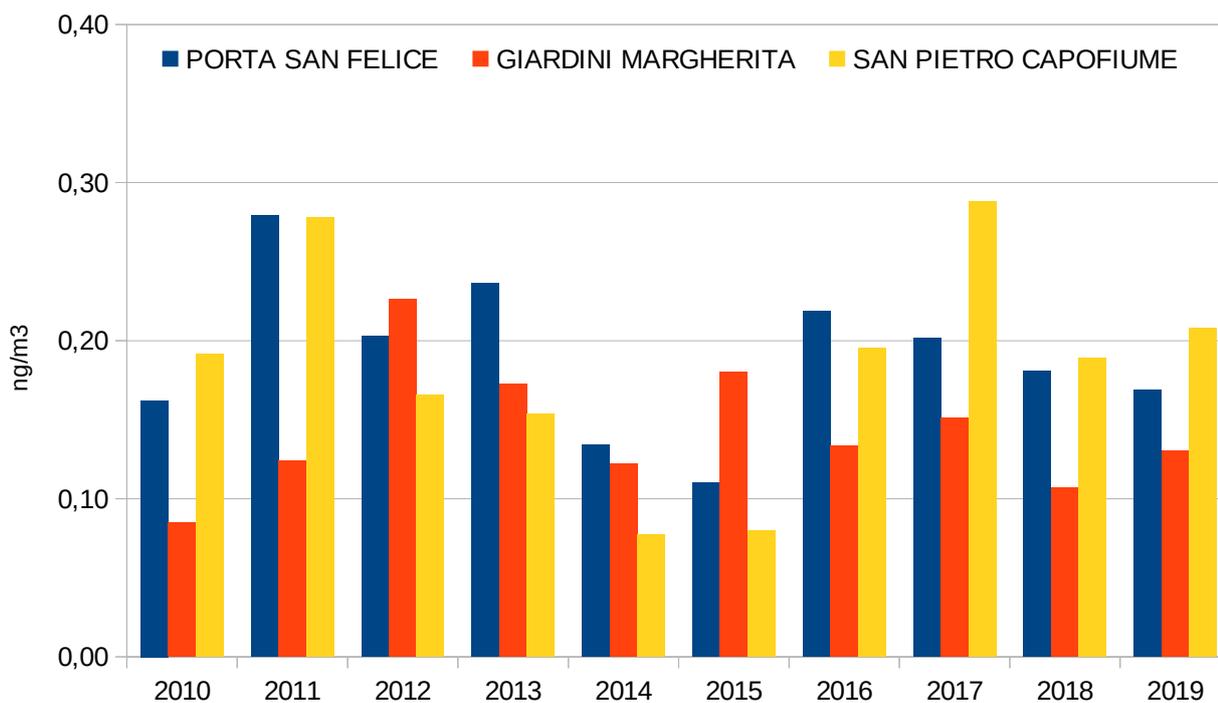


Figura 39 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie annuali (ng/m³)

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 2019, i valori di concentrazione media mensile rilevati sul particolato di Giardini Margherita relativi ad Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo (Tabella 35 e Figura 40).

Giardini Margherita – Concentrazioni medie mensili in ng/m ³												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Arsenico	0,230	0,221	0,193	0,199	0,206	0,239	0,223	0,193	0,206	0,193	0,199	0,199
Cadmio	0,162	0,044	0,038	0,090	0,041	0,048	0,045	0,038	0,041	0,089	0,103	0,104
Nichel	0,920	1,979	21,614	0,798	0,825	0,957	1,940	0,772	0,825	0,772	1,835	0,797
Piombo	4,140	5,209	3,488	3,075	4,681	1,963	1,550	1,669	1,925	2,713	2,457	4,009

Tabella 35 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento medie mensili anno 2019

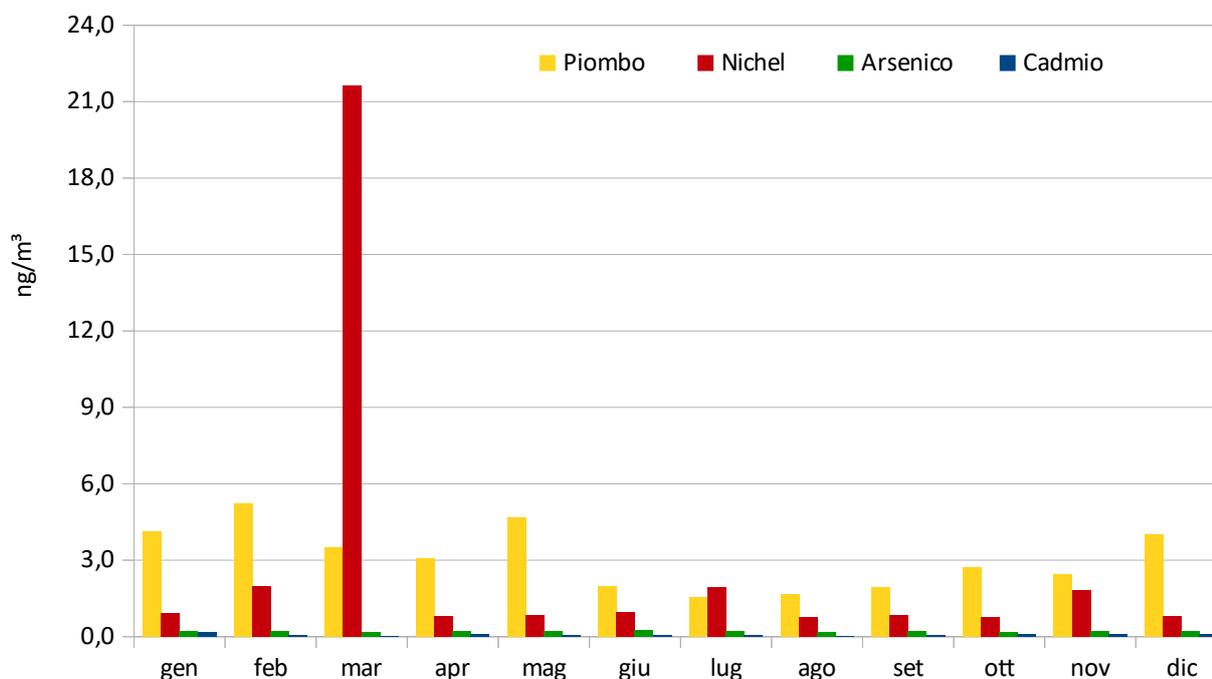


Figura 40 - Metalli: Concentrazioni medie mensili (ng/m³) - Giardini Margherita 2019

L'analisi dei grafici permette di osservare un'influenza della stagionalità nei livelli di concentrazione misurati, con una tendenza ad una maggior presenza di tutti gli elementi nel periodo invernale. I valori di

concentrazione si mantengono comunque sempre abbondantemente al di sotto dei valori obiettivo o limite previsti dalla normativa. L'unica anomalia è rappresentata dal valore analitico riscontrato sul nichel nel campione relativo al mese di marzo. In considerazione dell'entità della concentrazione misurata ed in assenza di riscontri oggettivi circa la presenza di cause ambientali specifiche, si ipotizza che tale dato sia da attribuire ad una contaminazione accidentale del campione. Comunque, in assenza di certezze a riguardo, si è ritenuto di mantenere il campione di marzo tra quelli validi, anche se ciò implicherà un inevitabile innalzamento anche sulla media annuale.

In Tabella 36 e Figura 41 è infine riportato l'andamento temporale delle medie annuali a partire dal 2010. 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 2010-2019 (ng/m ³)											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Valore obiettivo
Arsenico	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	6
Cadmio	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
Nichel	1,3	1,5	1,4	1,1	1,0	1,0	1,5	1,6	1,3	3,0	20
											Valore limite
Piombo	5,0	6,4	4,5	3,3	3,4	4,0	4,4	4,3	2,8	3,1	500

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

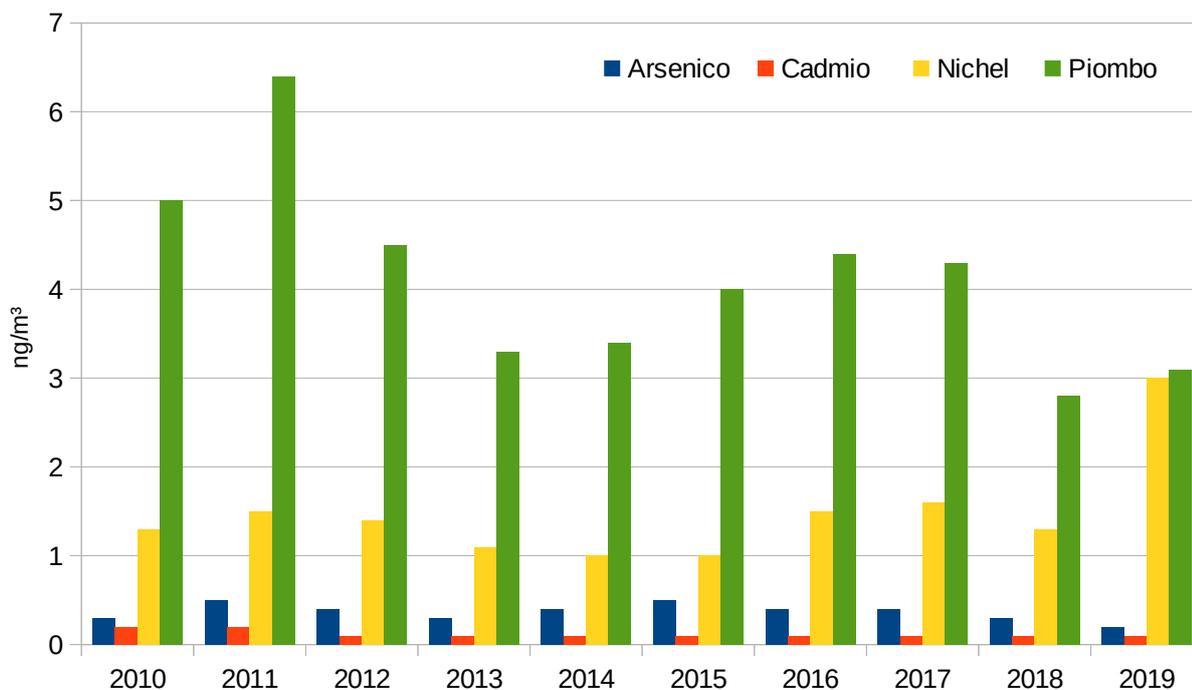


Figura 41 - Metalli: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) dal 2010 al 2019

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

Il 2019 è stato per quanto riguarda le temperature un anno piuttosto simile al precedente, anche se con un complessivo lieve incremento della temperatura nel periodo invernale (gennaio, febbraio, dicembre) e in quello estivo (giugno, luglio, agosto) ed una lieve riduzione in quelli primaverile (marzo, aprile, maggio) e autunnale (settembre, ottobre, novembre) rispetto al 2018.

L'anno 2019 si è caratterizzato climaticamente anche per una riduzione complessiva delle precipitazioni rispetto all'anno precedente, anche se in alcuni mesi si sono avuti degli incrementi, talvolta anche sensibili, come soprattutto ad aprile, maggio, novembre e dicembre.

Il numero di giorni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di PM_{10} è stato, nel 2019, superiore nell'area di Bologna e lievemente inferiore in quel di Imola rispetto all'anno precedente. Stabile invece il numero di giorni meteorologicamente favorevoli alla formazione di ozono.

Nell'anno in esame, la media annuale di biossido di azoto non rispetta il valore limite di legge ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nella sola stazione di Porta San Felice, mentre 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, viene rispettato in tutte le stazioni.

Anche per il 2019 la soglia di allarme di $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non è mai stata raggiunta da nessuna centralina.

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 verificato un maggior numero di superamenti del valore limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), anche se in nessuna delle stazioni di rilevamento della Città Metropolitana è stato raggiunto il numero massimo di 35 superamenti fissato dalla normativa. Pure il limite per la concentrazione media annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato rispettato da tutte le stazioni, che hanno registrato valori simili a quelli del 2018.

Il maggior numero di superamenti del valore limite giornaliero sé è stato rilevato dalla stazione di Bologna - Porta San Felice (32), dove si è pure riscontrata la concentrazione media annuale più elevata, $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La più alta concentrazione giornaliera è stata invece rilevata a San Pietro Capofiume con $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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).

Non si sono verificati superamenti della soglia di allarme di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al contrario, per quanto riguarda la soglia di informazione fissata a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dopo il 2018 in cui non se ne erano registrati, nel corso del 2019 il numero di superamenti è tornato a presentare valori confrontabili con quelli del 2017.

Il numero di superamenti del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato simile sia per le stazioni dell'agglomerato che per quelle della pianura e molto più ridotto nella stazione della zona appenninica. Confrontando i valori con l'anno precedente, si osserva un netto incremento del numero di superamenti, che sono tornati sui livelli del 2012 e che comunque per ciascuna stazione interessata sono i più elevati a partire dal 2013; 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 le stazioni di via Chiarini e Giardini Margherita a Bologna, in aumento rispetto allo scorso anno (45), così come nella stazione appenninica di Castelluccio dove i superamenti annui sul triennio sono passati da 4 a 5.

Per quanto riguarda il parametro AOT40 relativo alla protezione della vegetazione, anche nel 2019, come negli anni precedenti, risulta superato il valore obiettivo su 5 anni nelle stazioni di Chiarini e San Pietro Capofiume, mentre sul lungo termine, oltre che per le due già citate, il valore obiettivo è superato anche per la stazione di fondo remoto di Castelluccio.

I valori degli altri inquinanti ($PM_{2.5}$, monossido di carbonio, benzene, benzo(a)pirene, arsenico, cadmio, nichel e piombo) sono rimasti entro i limiti di legge in tutte le stazioni di rilevamento.



**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 2020