

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

REPORT DEI DATI 2020

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 2020.....	14
BIOSSIDO DI AZOTO E OSSIDI DI AZOTO.....	16
OZONO.....	21
PARTICOLATO PM10.....	27
PARTICOLATO PM2.5.....	32
MONOSSIDO DI CARBONIO.....	36
BENZENE.....	39
ANALISI SUL PARTICOLATO.....	42
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI.....	42
ARSENICO, CADMIO, NICHEL, PIOMBO.....	45
EFFETTI DELLE MISURE DI CONTENIMENTO ALLA DIFFUSIONE DEL SARS-COV-2.....	47
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	48

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.

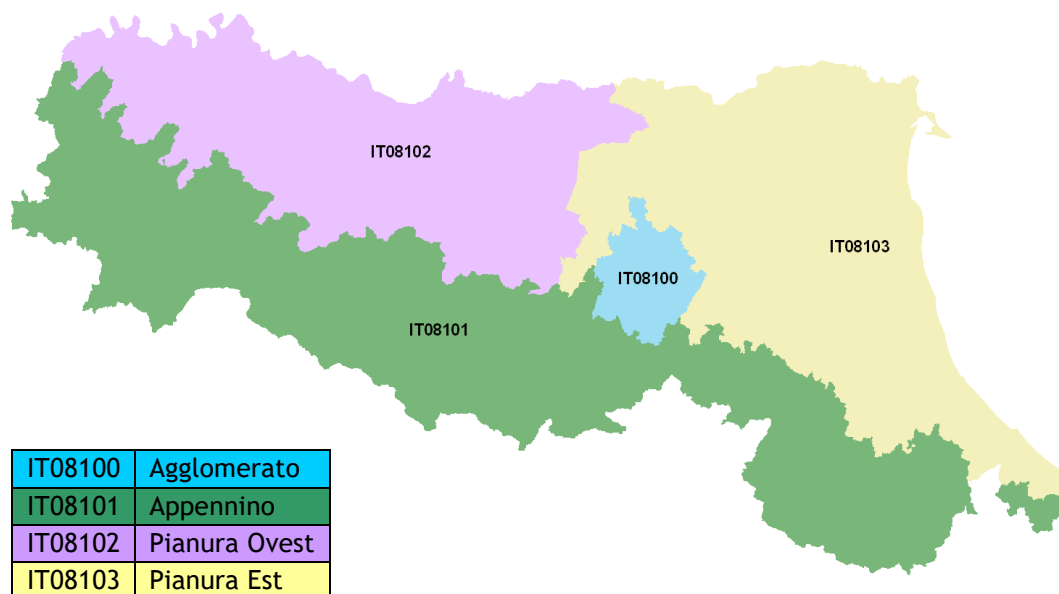


Figura 1 - Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011

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, Monterezenzo, 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

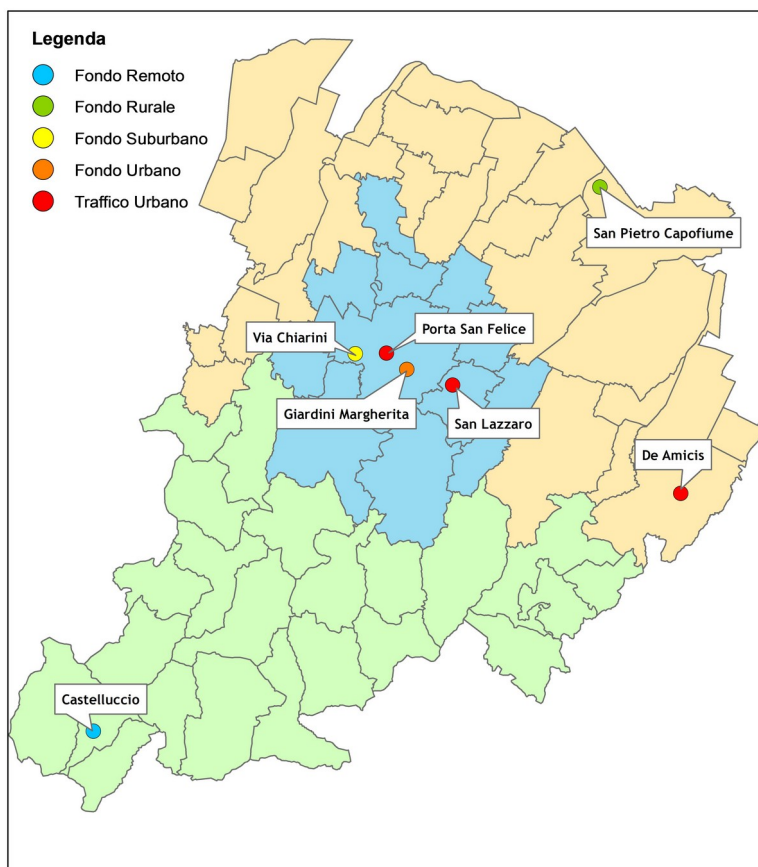


Figura 2 - Disposizione delle stazioni di misura di qualità dell'aria

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 2020) 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 2019 e con il clima di riferimento relativo al trentennio 1961-1990 per la stazione di Bologna - Borgo Panigale.

I dati di 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 2019.

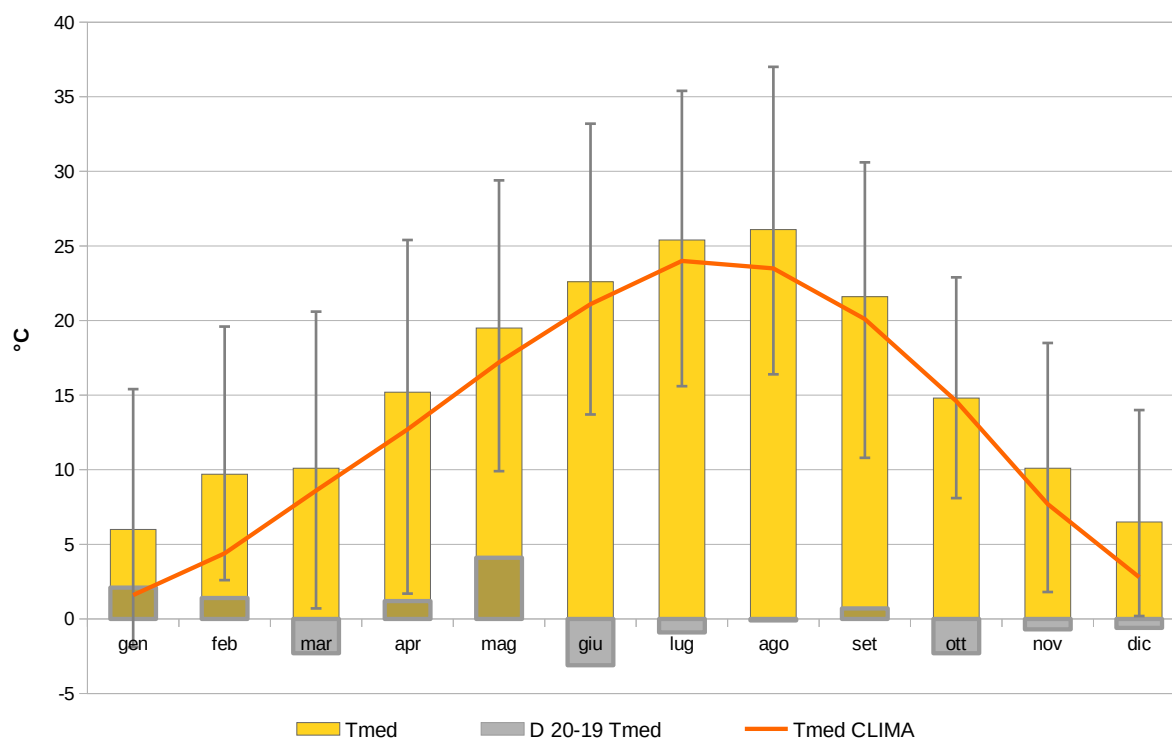


Figura 3 - Bologna: temperature mensili (°C)

Anche il 2020 è stato un anno decisamente caldo con temperature quasi sempre sopra al clima di riferimento. Le temperature medie mensili sono variate da un minimo di -1.9°C nel mese di gennaio ad un massimo di 37°C nel mese di luglio. Le minime sono scese al di sotto dei 0°C solo a gennaio.

I mesi di marzo, giugno e ottobre hanno segnato rispetto al 2019 differenze negative comprese fra -2 e -3°C , mentre i mesi di gennaio, febbraio e maggio, risultano più caldi rispetto all'anno precedente (mediamente tra 1.5 e 4°C).

Il confronto con il riferimento climatico, mostra temperature medie mensili in generale più rigide nelle minime (con l'eccezione di febbraio $1,9^{\circ}\text{C}$ e dicembre 0.4°C) e più calde nelle medie e nelle massime in tutti i mesi, queste ultime decisamente più elevate (da 4°C a ottobre fino a $11,5^{\circ}\text{C}$ di febbraio). L'estate non ha presentato anomalie climatiche rilevanti e a luglio si è verificata la prima breve, ma intensa, ondata di calore (27-31 luglio). 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 $2-4^{\circ}\text{C}$.

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.

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 2019.

Le precipitazioni totali annuali registrano -37% rispetto al riferimento climatico (ppt CLIMA nel grafico) e una variazione di circa il -32% rispetto al 2019 nei millimetri totali di pioggia: circa 653 mm nel 2019 e 442 mm nel 2020.

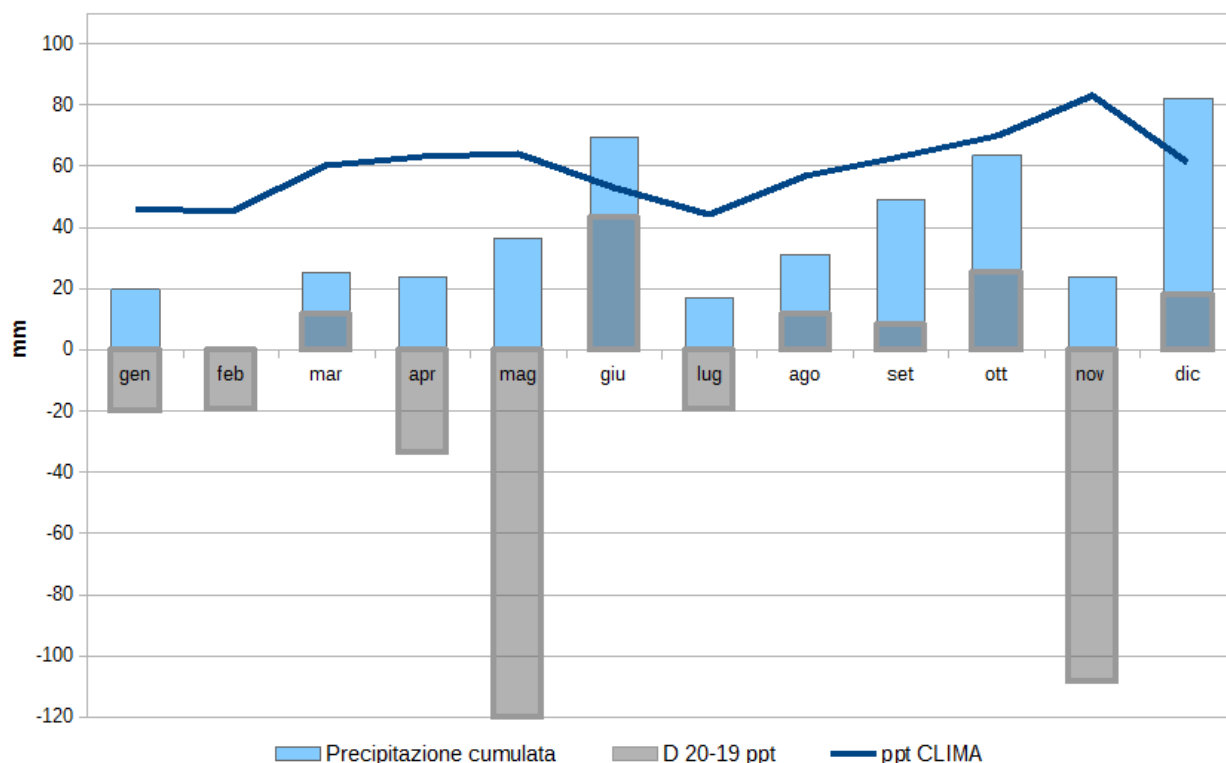


Figura 4 - Bologna: precipitazione cumulata mensile (mm)

Il 2020 è stato un anno decisamente secco con sensibili anomalie mensili. L'anno ha esordito con una sequenza di cinque mesi di piogge scarse, risultata nel valore più basso di precipitazioni medie regionali totali dal 1° gennaio al 31 maggio, mai misurato dal 1961 a oggi (Arpae Rapporto IdroMeteoClima 2020).

Scostamenti negativi importanti si sono registrati in maggio e novembre, sia rispetto alla norma sia al 2019, mentre anomalie positive pluviometriche sono state osservate a giugno (16%) e dicembre (21%). In generale il mese con le maggiori precipitazioni, circa 82 mm di pioggia (ovvero un quinto del quantitativo annuale), è stato dicembre, risultato il più piovoso dal 1961, seguito da giugno con 69 mm di pioggia. Febbraio invece è stato caratterizzato da scarsissime precipitazioni (0,4 mm), risultando in assoluto il mese con quantitativi più bassi rispetto alla norma.

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 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 2020.

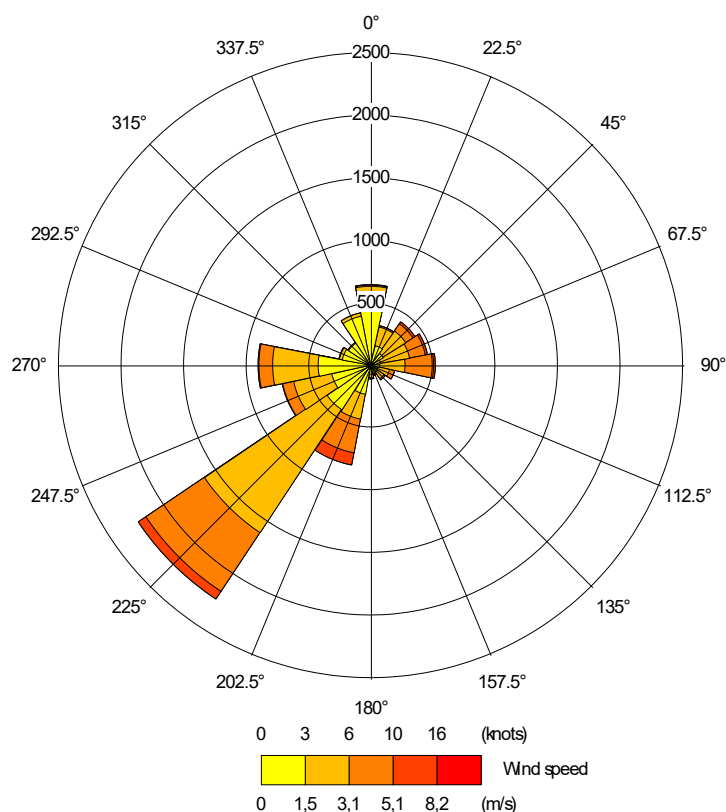


Figura 5 - Bologna: rosa dei venti, anno 2020

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 2019, vi è stato un incremento nelle classi di calma di vento (<1,5 m/s).

La Figura 6 permette di evidenziare le diverse caratteristiche stagionali dell'anno 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 un 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.

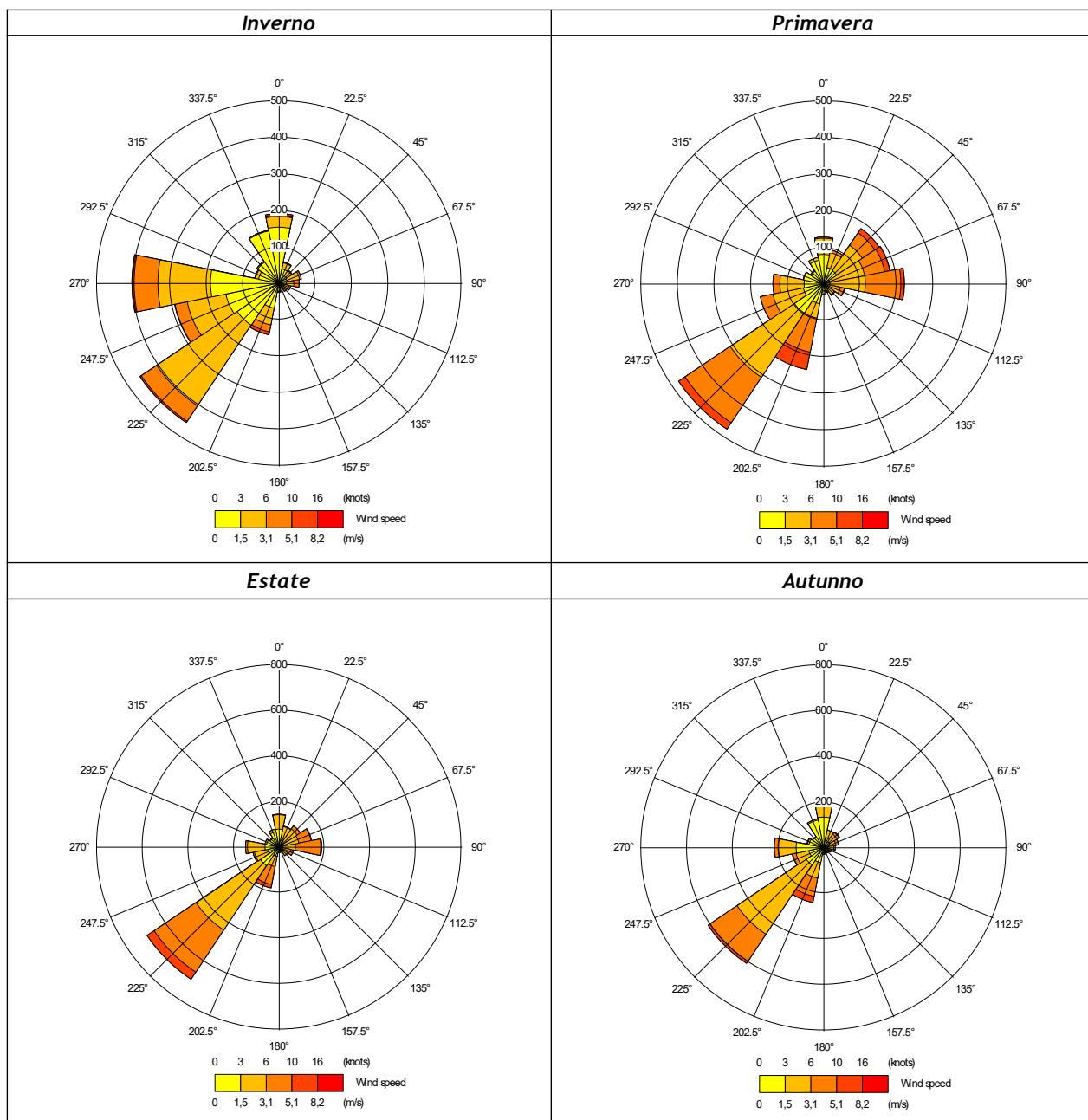


Figura 6 - Bologna: rose dei venti stagionali 2020

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 dal 70 a oltre il 90% del campione mensile e circa l'82% 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 nei mesi di aprile, fino a punte di grado 5. Rispetto al 2019 vi è una maggiore incidenza di stati di calma di vento (2.4% su base annuale). Il maggior numero di "calme" (<0.2m/s) si è registrato nel mese di novembre, ma sia il primo sia l'ultimo trimestre presentano valori decisamente positivi.

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	3,4%	55,6%	37,8%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	...
FEB	2,6%	46,9%	36,3%	11,8%	2,3%	0,1%	0,0%	0,0%	...
MAR	1,5%	31,6%	44,8%	18,4%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	...
APR	0,4%	29,2%	44,7%	18,6%	6,8%	0,3%	0,0%	0,0%	...
MAG	1,5%	36,4%	41,9%	19,6%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	...
GIU	0,8%	31,7%	40,6%	23,3%	3,6%	0,0%	0,0%	0,0%	...
LUG	0,4%	29,4%	50,4%	18,0%	1,7%	0,0%	0,0%	0,0%	...
AGO	0,7%	30,1%	55,0%	13,0%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	...
SET	0,7%	36,1%	49,0%	11,3%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	...
OTT	3,8%	33,5%	47,8%	13,4%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	...
NOV	9,2%	58,9%	29,4%	2,1%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	...
DIC	3,9%	55,4%	33,6%	7,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	...
ANNO	2,4%	39,5%	42,7%	13,3%	2,1%	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 2020

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.

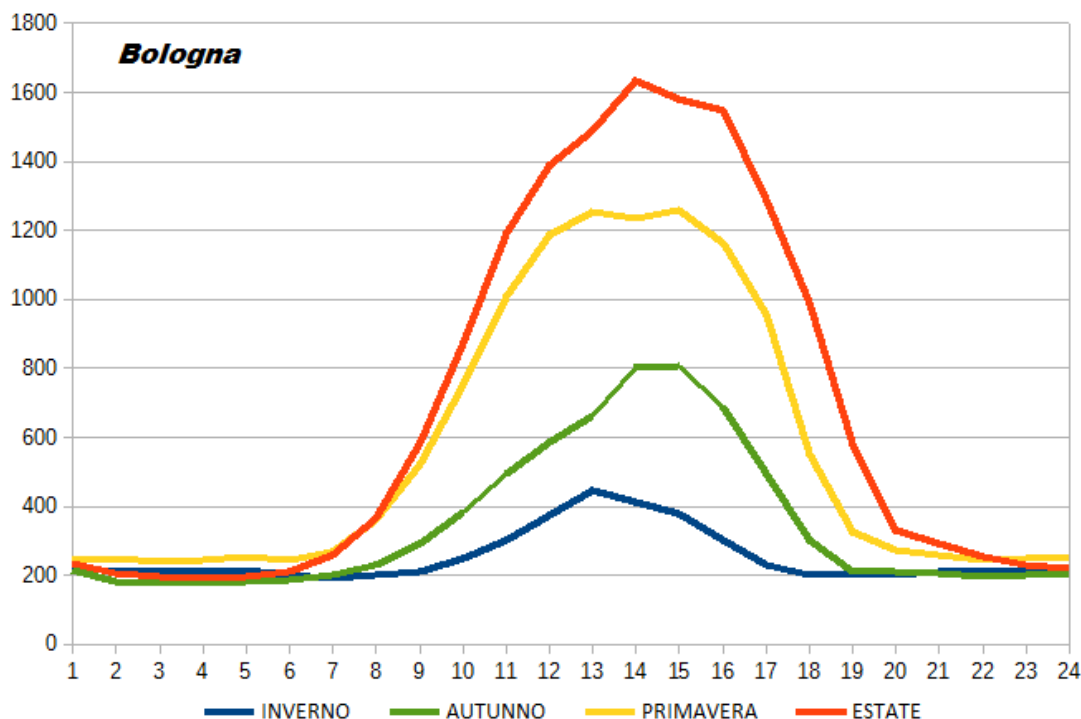


Figura 7 - Bologna: altezza di rimescolamento (m), giorno tipo stagionale 2020

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 2020.

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.

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 2020 (Figura 8 e Figura 9).

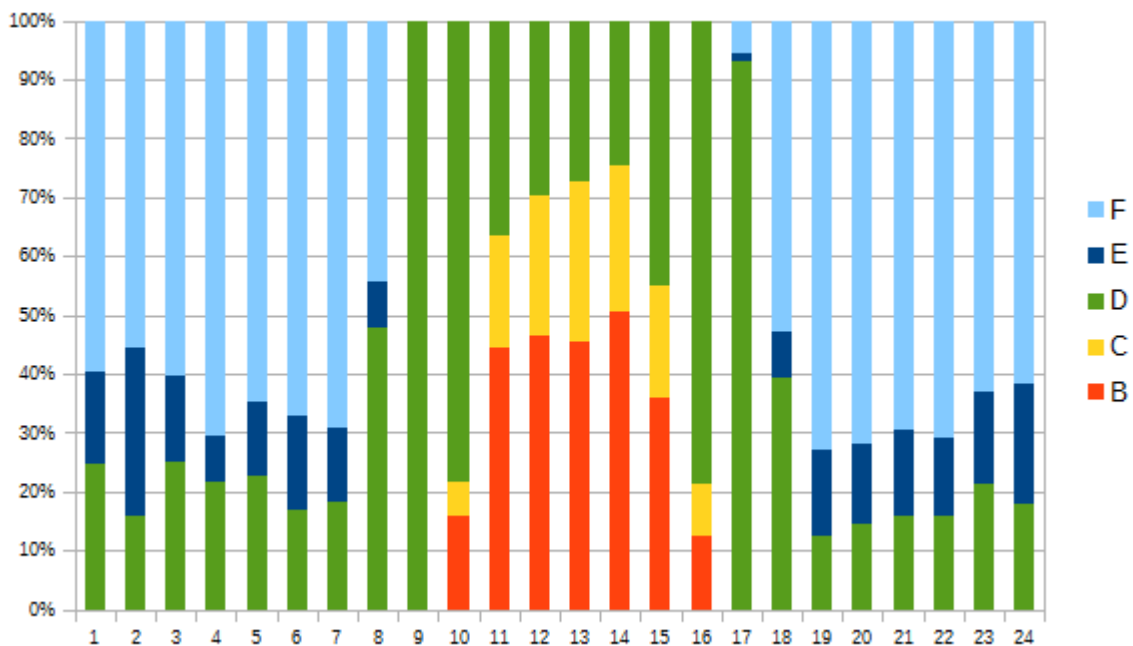
Si osserva la presenza di condizioni stabili (classe F) nelle prime ore del giorno e nelle ore serali, con una distribuzione temporale diversa a seconda della stagione: nel periodo autunno-inverno, a causa di temperature più basse che contribuiscono al mantenimento delle condizioni di inversione termica, 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 60%, 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 autunnali ed estive, con percentuali di occorrenza molto variabili e a tutte le ore del giorno, più persistenti al primo mattino e primo pomeriggio.

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 una diminuzione di ore nella classe A in estate, in primavera e in autunno, un maggior numero di ore in classe E e minore occorrenza della classe B nel periodo invernale.

Giorno Tipo Invernale



Giorno Tipo Primaveraile

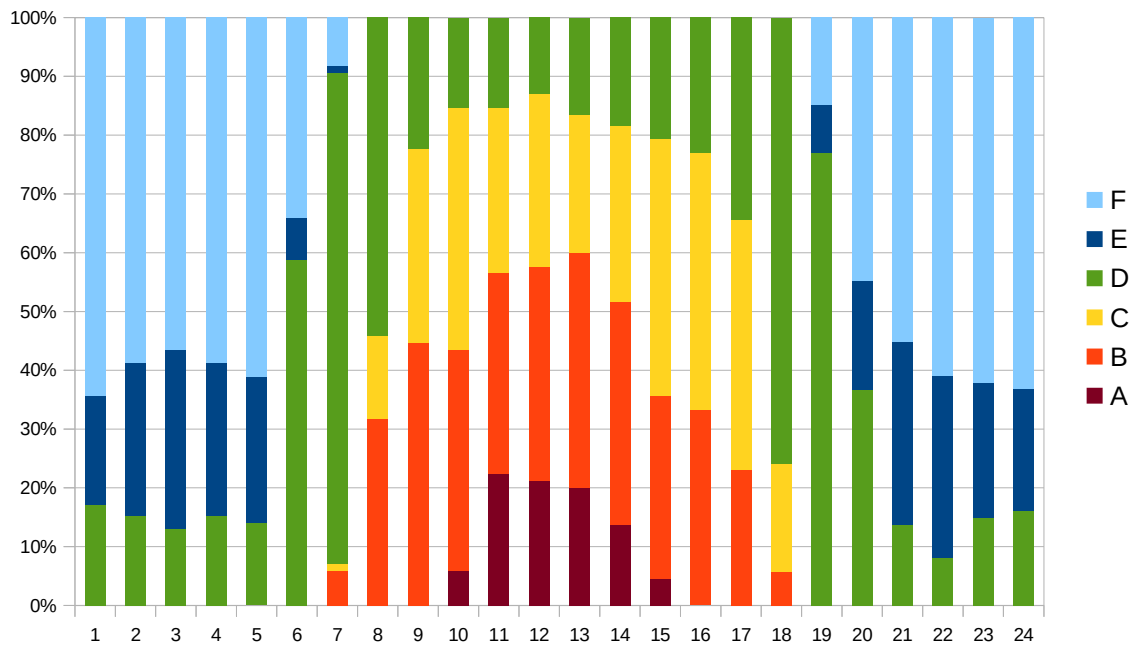
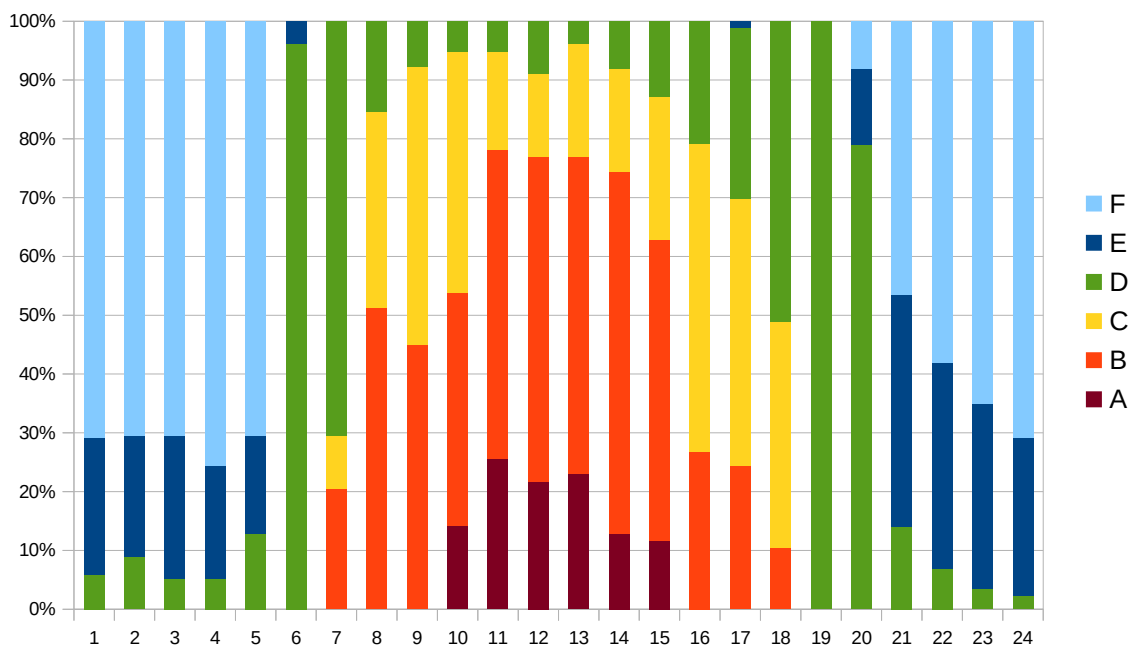


Figura 8 - Bologna: classi di stabilità, giorno tipo stagionale 2020

Giorno Tipo Estivo



Giorno Tipo Autunnale

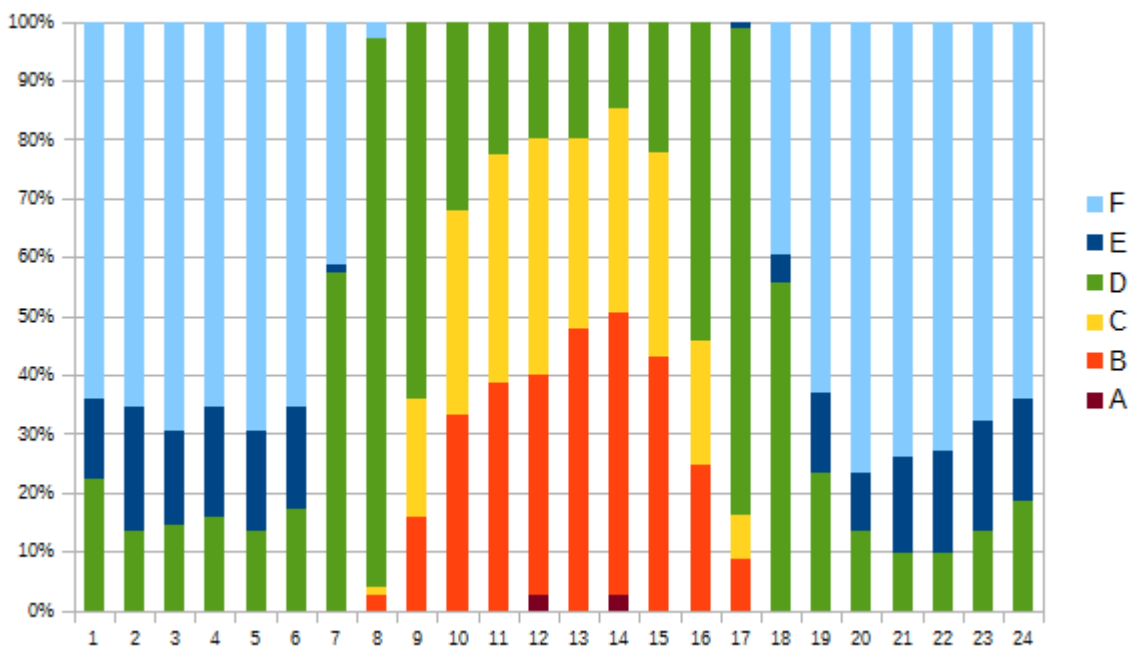


Figura 9 - Bologna: classi di stabilità, giorno tipo stagionale 2020

LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL 2020

L'esame dei dati rilevati nell'anno 2020 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).

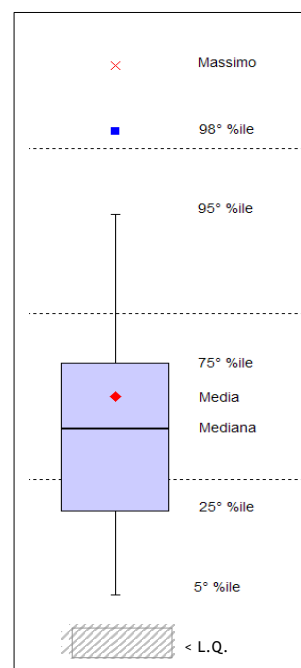


Figura 10 - Box-plot

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 2010, 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 2020. Tutti gli analizzatori hanno raggiunto la copertura di almeno il 90% dei dati annuali previsti dalla normativa ad eccezione dell'analizzatore NOX installato presso la stazione di Castelluccio.

STAZIONE	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	BTX
Bologna - Porta San Felice	96%	100%	96%	95%	-	94%
San Lazzaro	91%	-	95%	96%	-	-
Bologna - Giardini Margherita	96%	-	96%	-	99%	-
Bologna - Chiarini	97%	-	98%	-	100%	-
Imola - De Amicis	99%	-	98%	-	-	-
Molinella - San Pietro Capofiume	96%	-	96%	96%	98%	-
Porretta Terme - Castelluccio	89%	-	96%	96%	94%	-

Tabella 4 - Rendimenti annuali degli analizzatori della rete - anno 2020

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 2020 – 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	8552	<8	37	38	63	71	80	115	0
GIARDINI MARGHERITA	8442	<8	13	17	37	44	52	76	0
VIA CHIARINI	8607	<8	14	20	45	56	68	92	0
SAN LAZZARO	7896	<8	18	23	45	62	82	159	0
DE AMICIS	8689	<8	21	27	54	62	71	105	0
SAN PIETRO CAPOFIUME	8511	<8	11	15	33	42	53	87	0
CASTELLUCCIO	7463	<8	<8	<8	<8	<8	10	30	0

VALORE LIMITE	<i>Media annuale</i>	40 µg/m³	<i>n° max sup.</i>	18
----------------------	----------------------	----------------------------	--------------------	-----------

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

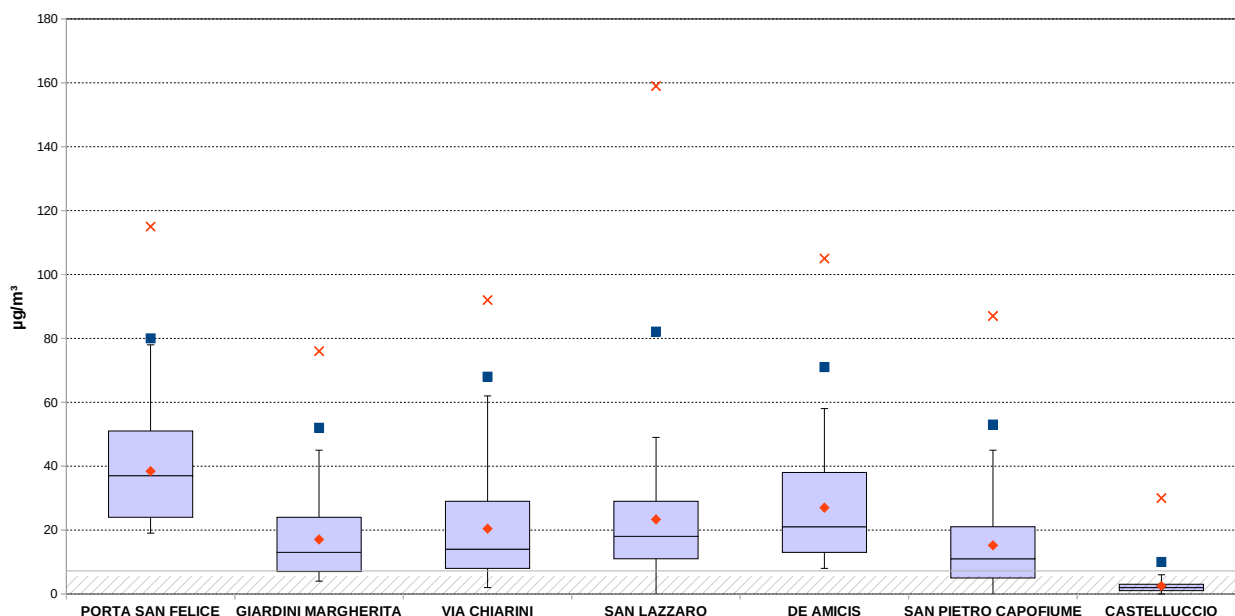
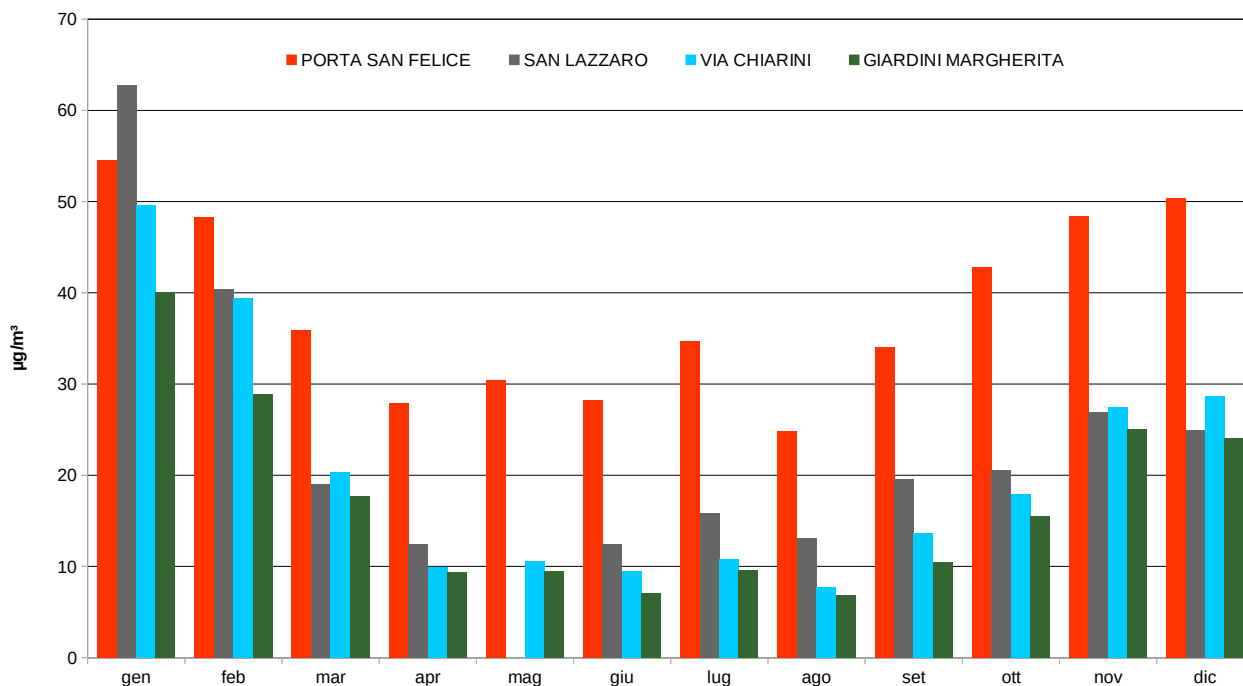
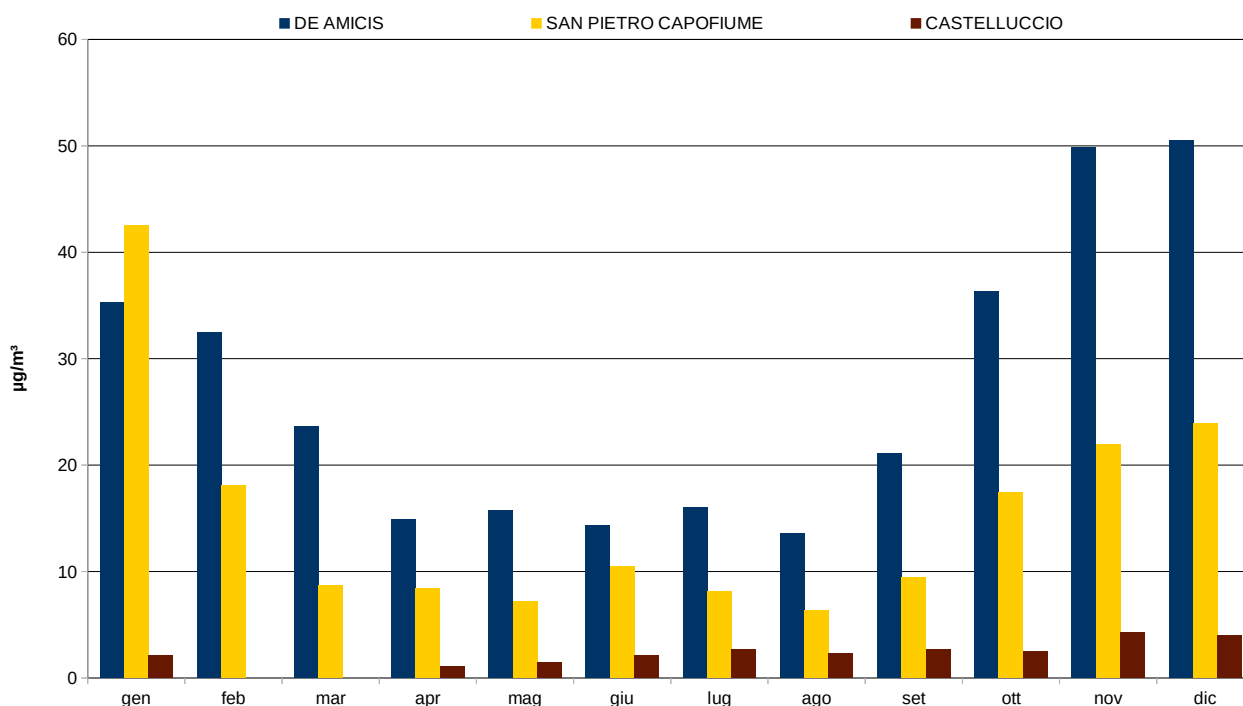


Figura 11 - NO₂ : Box Plot delle statistiche annuali 2020

Nel 2020, per la prima volta dall'inizio delle misurazioni, la media annuale di biossido di azoto rispetta il valore limite di legge (40 µg/m³) in tutte le stazioni della Città Metropolitana di Bologna, essendo rientrata entro tale limite anche la stazione di Porta San Felice (Tabella 5).

A tale risultato potrebbe aver contribuito in qualche misura anche la drastica riduzione dei livelli di ossidi di azoto registratasi nel periodo marzo-maggio quando, in conseguenza delle misure adottate per il contenimento alla diffusione del virus SARS-CoV-2 (lockdown), i volumi del traffico veicolare hanno subito una fortissima riduzione.


 Figura 12 - Agglomerato - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2020

 Figura 13 - Pianura e Appennino - NO₂ Concentrazioni medie mensili 2020

Il valore limite sulla media oraria di 200 µg/m³, da non superare per più di 18 ore nel corso di un anno, risulta rispettato in tutte le stazioni. Anche per il 2020 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.

La stazione di Castelluccio presenta 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 2020 (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 anche 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 nel mese di gennaio dalla stazione di San Lazzaro mentre, per tutto il resto dell'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 (8 µg/m³).

NO ₂ (µg/m ³) – medie mensili anno 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	55	48	36	28	30	28	35	25	34	43	48	50
GIARDINI MARGHERITA	40	29	18	9	9	<8	10	<8	10	16	25	24
VIA CHIARINI	50	39	20	10	11	9	11	8	14	18	28	29
SAN LAZZARO	63	40	19	12		12	16	13	20	21	27	25
DE AMICIS	35	32	24	15	16	14	16	14	21	36	50	51
SAN PIETRO CAPOFIUME	42	18	9	8	<8	10	8	<8	9	17	22	24
CASTELLUCCIO	<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 2020

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

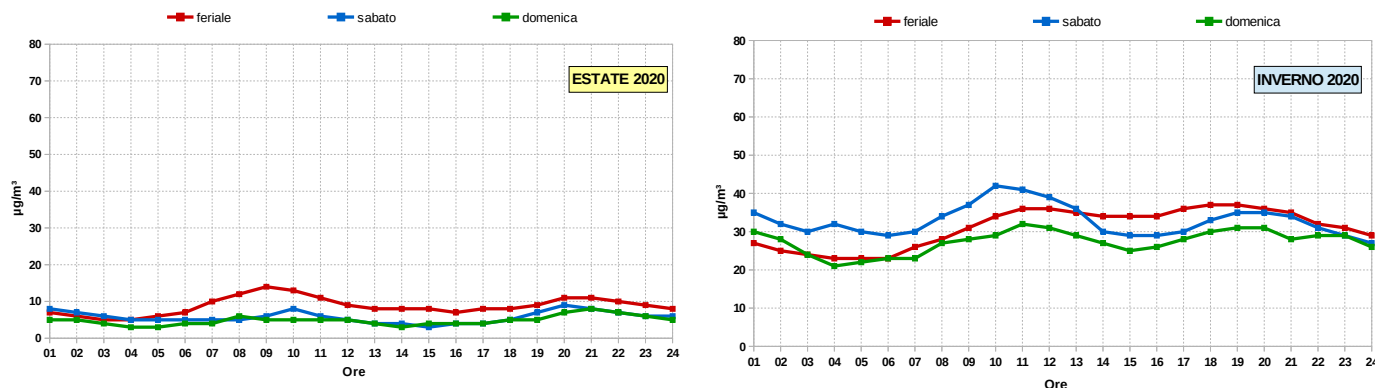


Figura 15 - Giardini Margherita, NO₂: Giorno tipo invernale ed estivo

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 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 2010 e per le quali siano presenti almeno il 90% dei dati orari dell'anno.

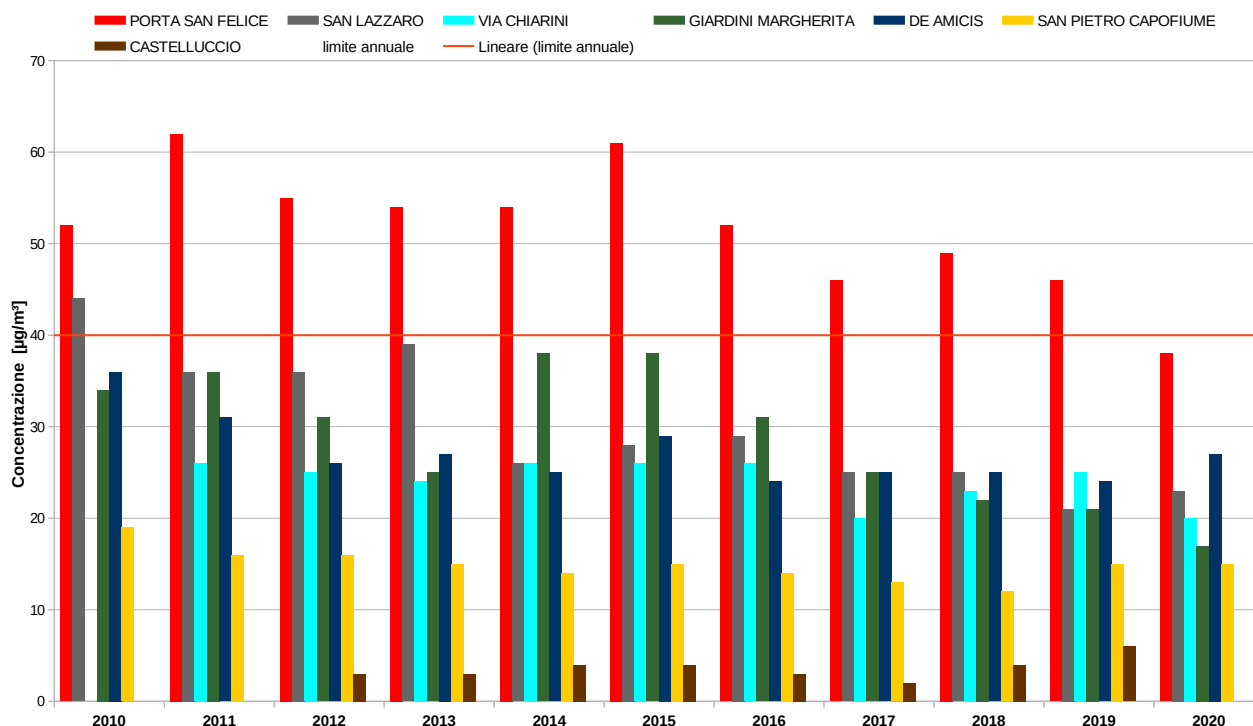


Figura 16 - NO₂ Confronto medie annuali 2010-2020

NO ₂ (µg/m ³) – Medie annuali 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PORTA SAN FELICE	52	62	55	54	54	61	52	46	49	46	38
SAN LAZZARO	44	36	36	39	26	28	29	25	25	21	23
GIARDINI MARGHERITA	34	36	31	25	38	38	31	25	22	21	17
VIA CHIARINI	-	26	25	24	26	26	26	20	23	25	20
DE AMICIS	36	31	26	27	25	29	24	25	25	24	27
SAN PIETRO CAPOFIUME	19	16	16	15	14	15	14	13	12	15	15
CASTELLUCCIO	-	-	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<8

- 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 il valore limite annuale di 40 µg/m³ è stato rispettato in tutte le stazioni dell'Area Metropolitana dato che, per la prima volta durante la serie storica, Porta San Felice (Bologna) ha registrato una media minore di 40 µg/m³. Medie in leggero calo nelle stazioni di fondo urbano e suburbano di Giardini Margherita e Via Chiarini mentre in lieve rialzo a Imola De Amicis e a San Lazzaro

di Savena, ma in linea con quelle degli ultimi sei anni. Situazione praticamente invariata a San Pietro Capofiume.

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. Questo criterio è soddisfatto, per la rete di rilevamento della Città Metropolitana di Bologna, dalla stazione di fondo rurale San Pietro Capofiume, dove il limite per la protezione della vegetazione per il 2020 risulta rispettato (Tabella 8), mentre per la stazione di Castelluccio la media, sebbene risultante inferiore al limite di quantificazione di 8 µg/m³, non viene riportata a causa del mancato raggiungimento del numero di dati validi previsto su base annuale (90%).

NO_x anno 2020 – Concentrazioni in µg/m³		
<i>Stazione</i>	<i>N. dati validi</i>	<i>MEDIA</i>
SAN PIETRO CAPOFIUME	8511	23
CASTELLUCCIO	-	-

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

Tabella 8 - Protezione della Vegetazione: NOX Media annuale 2020

OZONO - O₃**Che cos'è**

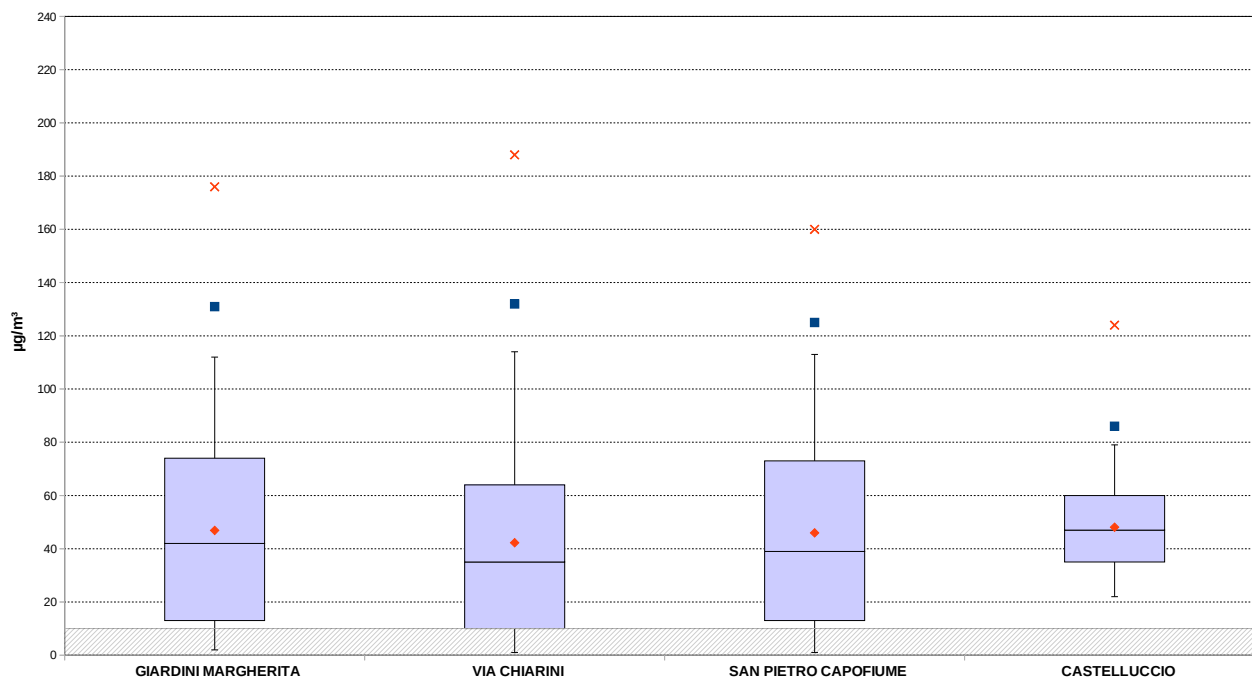
L'ozono è un componente gassoso dell'atmosfera, molto reattivo e aggressivo. Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. Invece negli strati bassi dell'atmosfera terrestre (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 2020 – Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
GIARDINI MARGHERITA	8321	<8	42	47	97	112	131	176
VIA CHIARINI	8562	<8	35	42	97	114	132	188
SAN PIETRO CAPOFIUME	8186	<8	39	46	101	113	125	160
CASTELLUCCIO	7880	<8	47	48	71	79	86	124

Tabella 9 - Ozono: Parametri statistici - anno 2020

Figura 17 - O₃ : Box Plot delle statistiche annuali 2020

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 2020 (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. Rispetto allo scorso anno, non si osservano sostanziali modifiche degli andamenti dei livelli di concentrazione medi mensili. In particolare non sembrano emergere evidenti impatti legati agli effetti del lockdown (marzo-maggio) imposto per combattere la diffusione dell'epidemia da SARS-CoV-2.

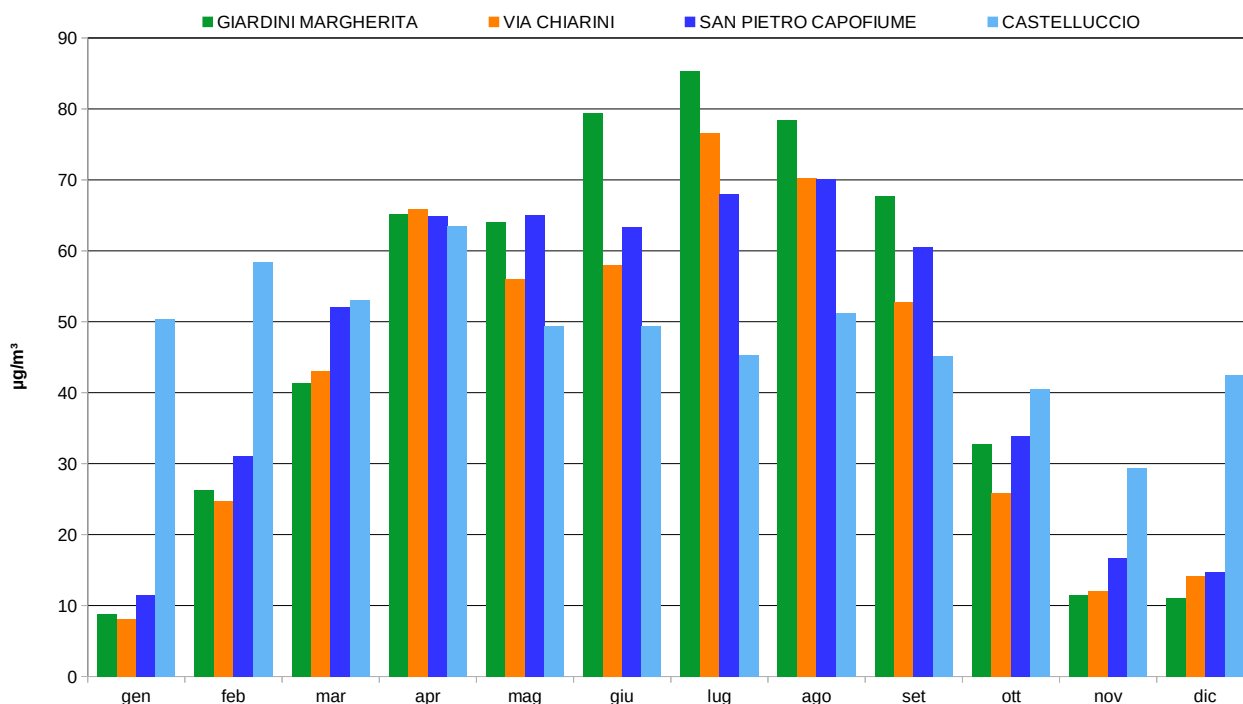


Figura 18 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2020

O ₃ (µg/m³) – medie mensili anno 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
GIARDINI MARGHERITA	9	26	41	65	64	79	85	78	68	33	11	11
VIA CHIARINI	8	25	43	66	56	58	77	70	53	26	12	14
SAN PIETRO CAPOFIUME	12	31	52	65	65	63	68	70	61	34	17	15
CASTELLUCCIO	50	58	53	64	49	-	45	51	45	40	29	43

percentuale inferiore al 90%
 percentuale inferiore al 75%

Tabella 10 - O₃ Concentrazioni medie mensili 2020

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 2020 – numero ore di superamento soglia di informazione (180 µg/m ³)													
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	2020
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIA CHIARINI	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	6
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



 percentuale di dati validi inferiore al 90%  mesi estivi validi < 5

Tabella 11 - Ozono: Superamenti soglia di informazione - anno 2020

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 il superamento del limite normativo.

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

O ₃ anno 2020 – numero giorni di superamento valore obiettivo (120 mg/m ³)		
Stazione	media 3 anni	
GIARDINI MARGHERITA	44	
VIA CHIARINI	44	
SAN PIETRO CAPOFIUME	42	
CASTELLUCCIO	2	
LIMITE NORMATIVO	N° max sup.	25


 > valore limite

Tabella 12 - Ozono: Superamenti valore obiettivo per la salute umana - anno 2020

O ₃ anno 2020 – 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	2020
GIARDINI MARGHERITA	0	0	0	0	0	7	13	9	5	0	0	0	34
VIA CHIARINI	0	0	0	2	0	1	14	12	7	0	0	0	36
SAN PIETRO CAPOFIUME	0	0	0	3	0	3	6	10	6	0	0	0	28
CASTELLUCCIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



 percentuale di dati validi inferiore al 90%  mesi estivi validi < 5

Tabella 13 - Ozono: Superamenti obiettivo a lungo termine per la salute umana - anno 2020

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, nell'analisi media di periodo, 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 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.

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.

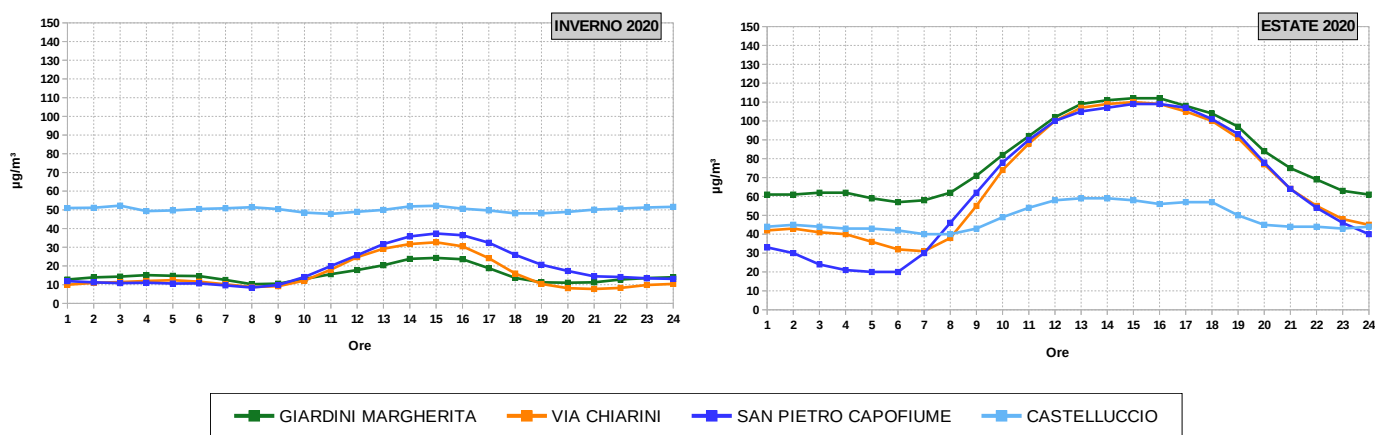


Figura 19 - Ozono: Giorno tipo invernale ed estivo

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 2020 si evidenziano medie superiori all'obiettivo a lungo termine per le postazioni di Chiarini e San Pietro Capofiume, mentre per quella di Castelluccio non è possibile calcolare il dato, dal momento che i dati orari validi sono inferiori al limite di accettabilità richiesto del 90% sul periodo di riferimento.

Anche per il valore obiettivo (media degli ultimi 5 anni) i valori di AOT40 risultano oltre i limiti a Chiarini e San Pietro Capofiume ma risultano invece entro il limite per la stazione di Castelluccio (Tabella 14).

In Tabella 15 e Tabella 16 sono riportate le serie storiche 2010-2020 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 anno 2020 valori AOT40 anno 2020 - Concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$			
Stazione	N. dati validi	AOT stimato	Media ultimi 5 anni
VIA CHIARINI	1069	17846	23620
SAN PIETRO CAPOFIUME	1041	17796	19539
CASTELLUCCIO	972	n.d.	5460

RIFERIMENTI NORMATIVI	90% dati orari nel periodo di tempo definito per il calcolo	Obiettivo a lungo termine	Valore Obiettivo
		6000	18000

> valore limite
 dati validi < 90%

Tabella 14 - Protezione della Vegetazione: AOT40 anno 2020

O3 soglia di informazione – numero ore di superamento media oraria ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
GIARDINI MARGHERITA	0	20	10	74	15	7	9	15	0	18	0
VIA CHIARINI	-	16	39	26	6	35	9	29	0	25	6
SAN PIETRO CAPOFIUME	10	0	2	4	0	0	4	0	0	2	0
CASTELLUCCIO	-	0	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 soglia di informazione – numero ore di superamento media oraria ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
GIARDINI MARGHERITA	15	66	58	75	44	40	45	52	39	59	34
VIA CHIARINI	-	73	70	52	25	55	46	51	39	60	36
SAN PIETRO CAPOFIUME	58	83	58	40	16	36	45	15	45	51	28
CASTELLUCCIO	-	0	12	5	2	14	1	11	0	5	0

- 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 2020 comunque, rispetto all'anno precedente, alla riduzione del numero di giorni potenzialmente critici per i livelli di ozono ha fatto seguito anche una generale riduzione del numero di superamenti delle soglie normative.

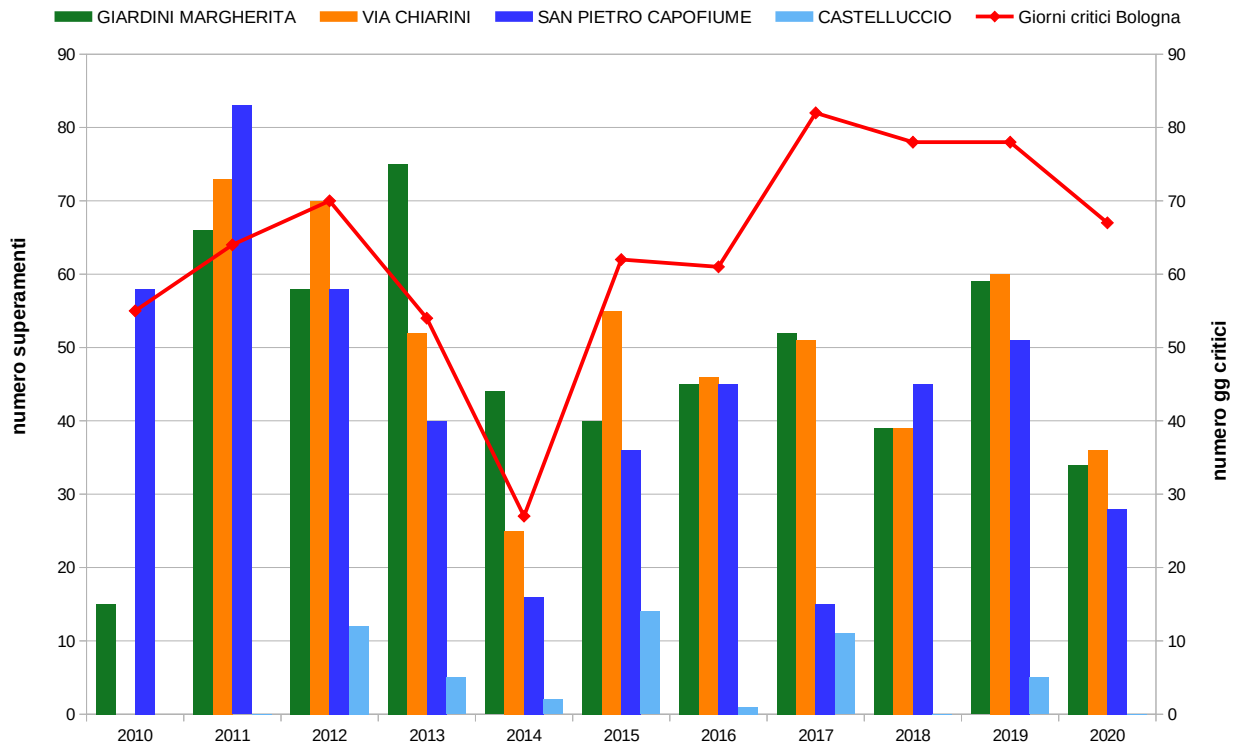


Figura 20 - O₃ Confronto superamenti obiettivo a lungo termine e numero di giorni critici

PARTICOLATO PM₁₀**Che cos'è**

Per materiale particolato aero disperso 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 2020 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	351	3	20	26	53	66	80	118
GIARDINI MARGHERITA	348	< 3	17	24	48	62	82	110
VIA CHIARINI	353	3	18	22	43	55	67	98
SAN LAZZARO	358	3	21	26	49	62	80	106
DE AMICIS	359	< 3	20	25	49	63	80	112
SAN PIETRO CAPOFiumE	352	< 3	20	26	52	61	81	102
CASTELLUCCIO	351	< 3	8	10	17	22	26	136

VALORE LIMITE	Media annuale	40	µg/m ³
---------------	---------------	----	-------------------

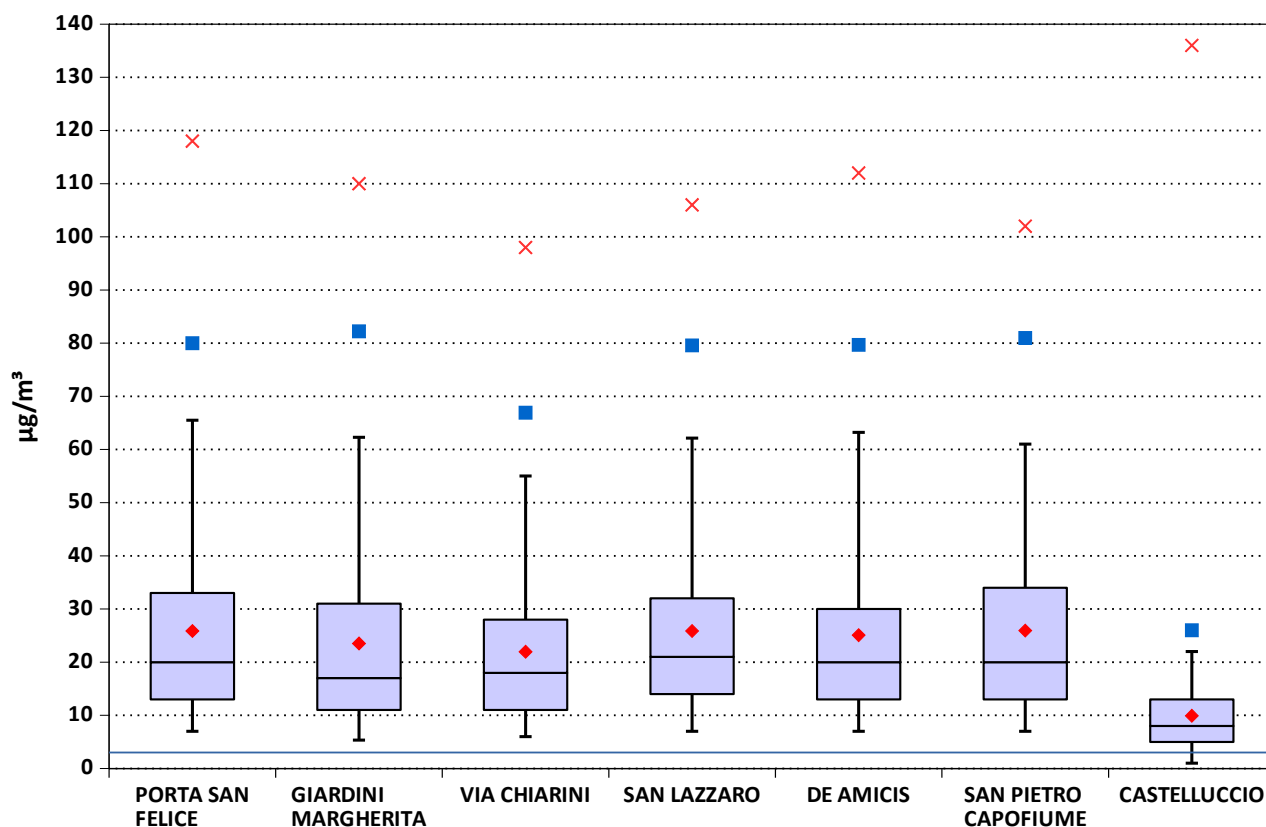
Tabella 17 - Particolato PM₁₀: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge

Figura 21 - PM10 : Box Plot delle statistiche annuali 2020

La valutazione delle concentrazioni estesa all'intero anno (Tabella 17) mostra che nel 2020 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 emerge come le distribuzioni annuali dei dati siano 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 dalla zona del Mar Caspio tra il 27 e il 29 marzo 2020.

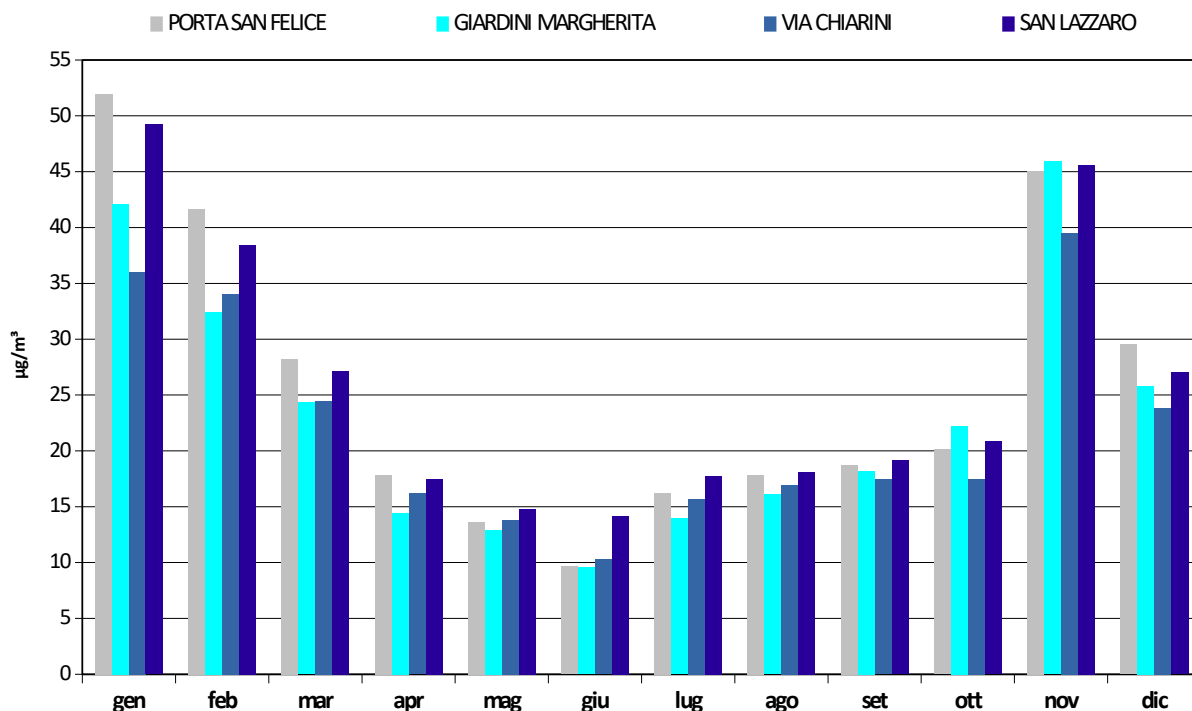


Figura 22 - Agglomerato - PM_{10} Concentrazioni medie mensili 2020

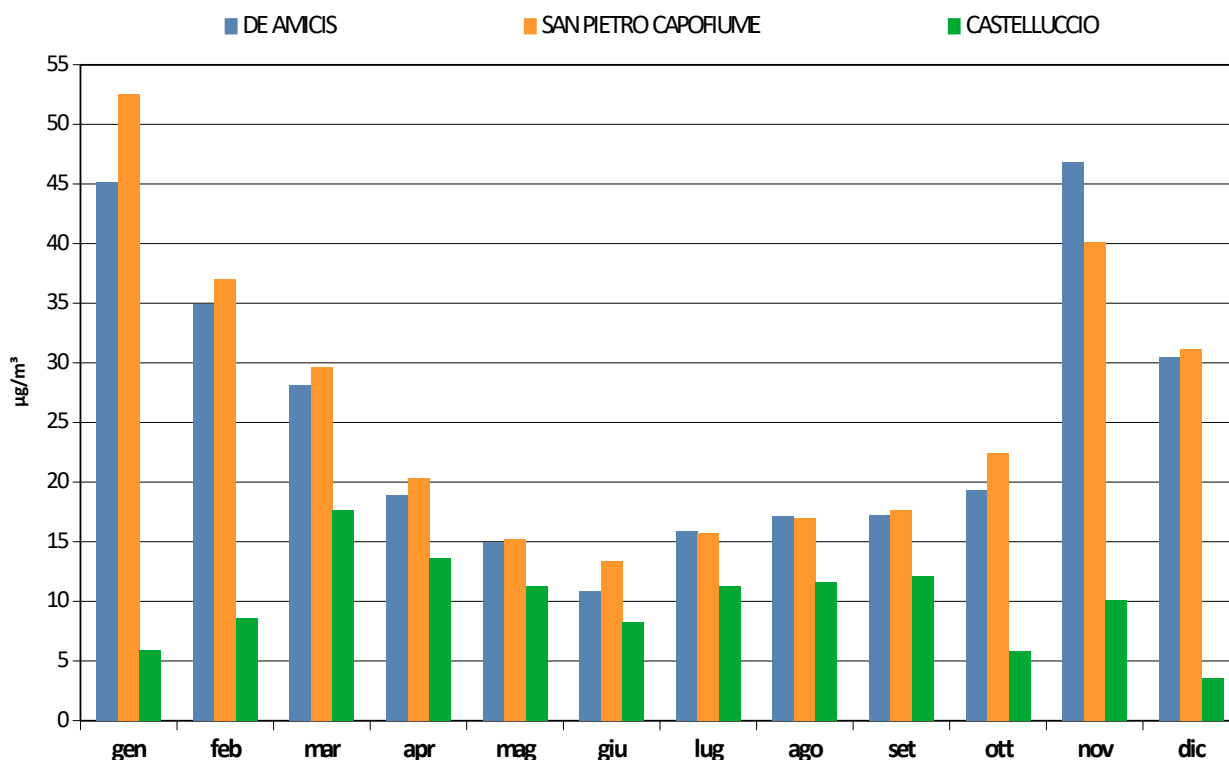


Figura 23 - Pianura e Appennino - PM_{10} Concentrazioni medie mensili 2020

Anche se il 2020 è stato un anno particolare per le attività antropiche a causa della pandemia di Covid 19, 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 2020 le concentrazioni sono più elevate rispetto al mese di dicembre a causa delle scarse 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 ad un aumento estivo dell'altezza dello strato di rimescolamento, che consente apporti di particolato da quote inferiori. I dati relativi alle medie mensili sono riepilogati nella Tabella 18.

PM ₁₀ (µg/m ³) – medie mensili anno 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	52	42	28	18	14	10	16	18	19	20	45	30
GIARDINI MARGHERITA	42	32	24	14	13	10	14	16	18	22	46	26
VIA CHIARINI	36	34	24	16	14	10	16	17	17	17	40	24
SAN LAZZARO	49	38	27	17	15	14	18	18	19	21	46	27
DE AMICIS	45	35	28	19	15	11	16	17	17	19	47	31
SAN PIETRO CAPOFIUME	53	37	30	20	15	13	16	17	18	22	40	31
CASTELLUCCIO	6	9	18	14	11	8	11	12	12	6	10	4



percentuale di dati validi inferiore al 90%



percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 18 - PM₁₀ Concentrazioni medie mensili 2020

Il numero dei giorni di superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ nell'anno 2020 è riportato in Tabella 19: il numero annuale massimo di 35 giorni di superamento, consentiti dalla normativa, è stato superato nella stazione da traffico di Porta San Felice (42 superamenti) e nella stazione di fondo rurale di San Pietro Capofiume (39 superamenti) il maggior numero di superamenti si è verificato nei mesi di gennaio novembre.

PM ₁₀ anno 2020 – 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	2020
PORTA SAN FELICE	15	8	2	0	0	0	0	0	0	1	11	5	42
GIARDINI MARGHERITA	7	5	2	0	0	0	0	0	0	2	11	3	30
VIA CHIARINI	4	5	2	0	0	0	0	0	0	1	10	0	22
SAN LAZZARO	10	6	2	0	0	0	0	0	0	1	11	4	34
DE AMICIS	12	6	2	0	0	0	0	0	0	0	11	4	35
SAN PIETRO CAPOFIUME	14	7	4	0	0	0	0	0	0	2	8	4	39
CASTELLUCCIO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

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 2020

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

Nel grafico di Figura 24 sono riportati 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.

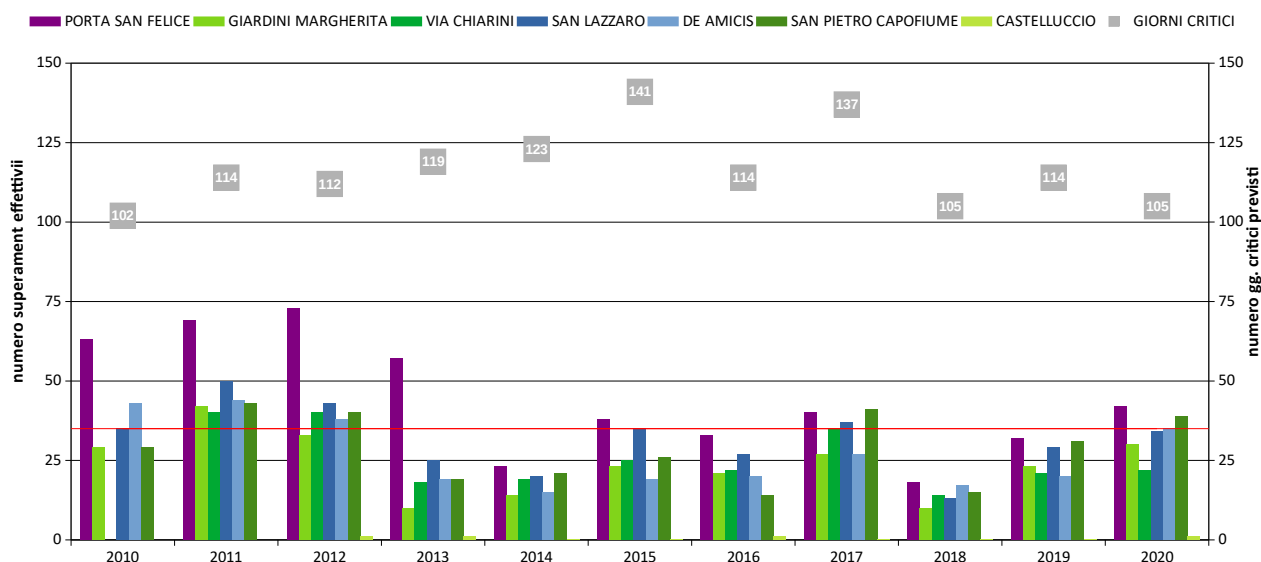


Figura 24 - PM₁₀ Confronto superamenti 50 µg/m³ e numero di giorni critici

PM ₁₀ – numero giorni di superamento del valore limite giornaliero (50 µg/m ³) 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PORTA SAN FELICE	63	69	73	57	23	38	33	40	18	32	42
GIARDINI MARGHERITA	29	42	33	10	14	23	21	27	10	23	30
VIA CHIARINI	-	40	40	18	19	25	22	35	14	21	22
SAN LAZZARO	35	50	43	25	20	35	27	37	13	29	34
DE AMICIS	43	44	38	19	15	19	20	27	17	20	35
SAN PIETRO CAPOFUME	29	43	40	19	21	26	14	41	15	31	39
CASTELLUCCIO	-	-	1	1	0	0	1	0	0	0	1

- 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 2010 - 2020 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.

PM ₁₀ (µg/m ³) – Medie annuali 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PORTA SAN FELICE	34	37	37	32	25	29	26	29	26	26	26
GIARDINI MARGHERITA	24	29	26	19	20	26	23	25	22	22	24
VIA CHIARINI	-	31	29	24	22	26	24	28	24	25	22
SAN LAZZARO	27	31	30	25	24	28	25	28	24	25	26
DE AMICIS	28	30	29	23	21	25	23	25	23	23	25
SAN PIETRO CAPOFUME	25	30	28	23	21	26	22	27	23	24	26
CASTELLUCCIO	-	-	11	9	9	10	9	10	10	10	10

- analizzatore non attivo

percentuale di dati validi inferiore al 90%

Tabella 21 - PM₁₀: Andamento temporale delle medie annuali

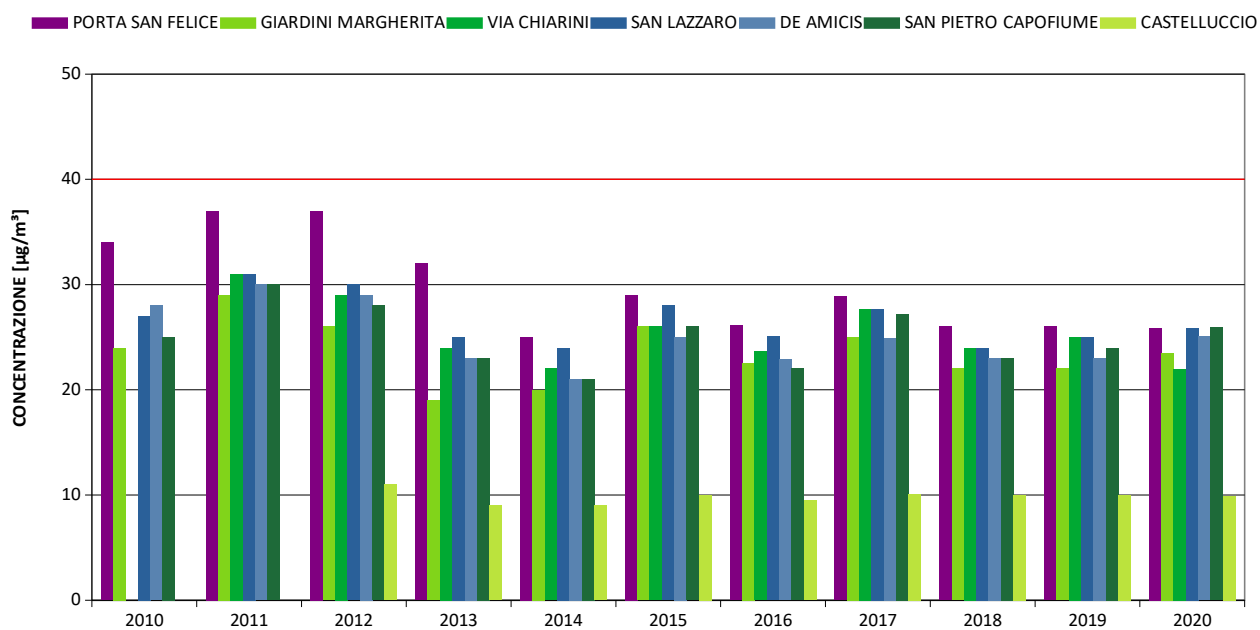


Figura 25 - PM₁₀ Andamento delle medie annuali 2010-2020

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 2020 - Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	348	< 3	12	17	36	44	55	90
GIARDINI MARGHERITA	350	< 3	11	15	34	44	52	90
SAN PIETRO CAPOFUME	352	< 3	13	18	40	48	58	82
CASTELLUCCIO	353	< 3	5	5	11	12	17	22

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

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

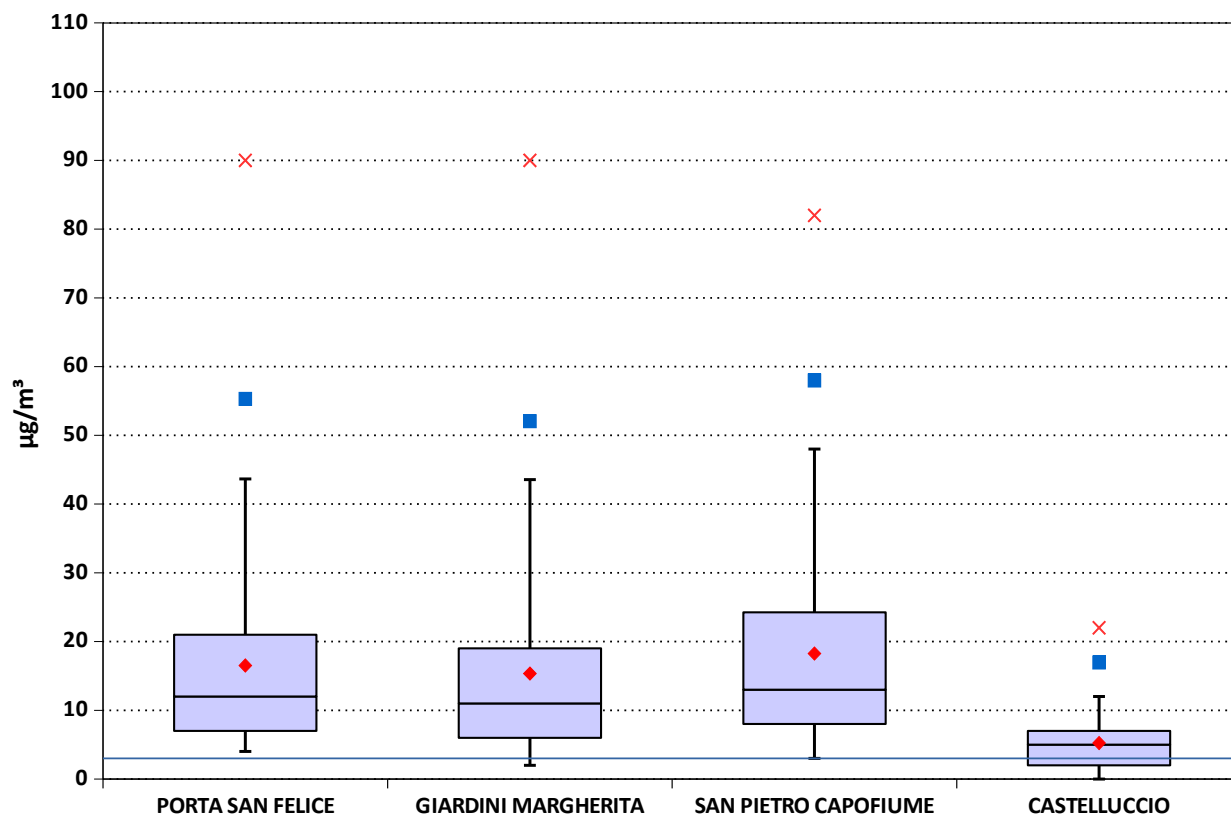


Figura 26 - PM2.5 : Box Plot delle statistiche annuali 2020


Le concentrazioni medie annue risultano nel 2020 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.

Da evidenziare l'assenza del un massimo anomalo a Castelluccio che invece si era registrato per il PM₁₀, a conferma che l'evento anomalo di marzo 2020 di trasporto di polveri dalle aree attorno al Mar Caspio, ha riguardato in buona sostanza solo 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 2020, che presentano il caratteristico andamento stagionale con valori più elevati in autunno e in inverno.

PM _{2.5} (µg/m³) – medie mensili anno 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	37	29	16	12	9	6	8	9	11	11	31	19
GIARDINI MARGHERITA	34	23	13	9	6	6	9	9	11	12	30	18
SAN PIETRO CAPOFIUME	42	28	18	13	8	9	9	10	11	16	30	26
CASTELLUCCIO	4	5	7	9	5	4	6	7	7	3	5	2

 percentuale di dati validi inferiore al 90%


 percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 23 - PM_{2.5} Concentrazioni medie mensili 2020

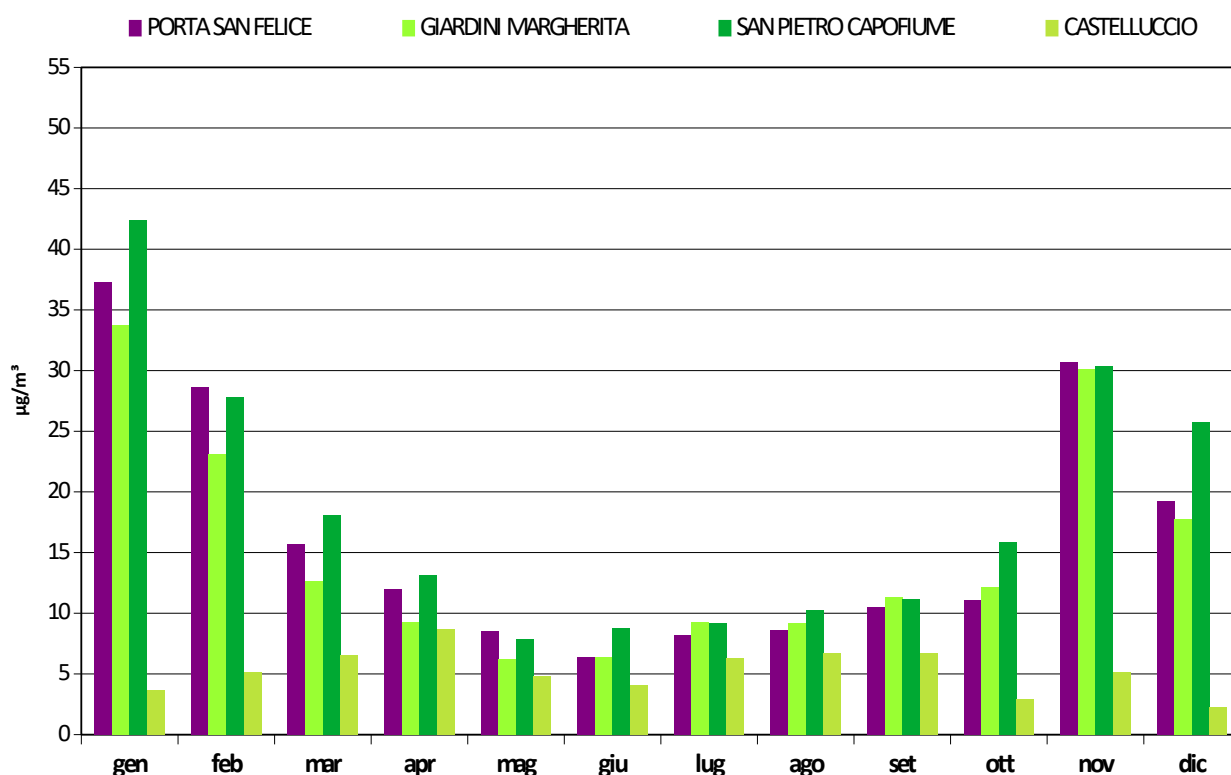


Figura 27 - PM_{2.5}: Andamento temporale delle medie mensili - 2020

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 alla 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 2020 (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 spesso sovrapponibile alla stazione di fondo urbano di Giardini Margherita con l'eccezione del periodo estivo dove i due rapporti si discostano e in questo periodo il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ diminuisce maggiormente a Porta San Felice.

I valori di Porta San Felice restano compresi tra un massimo del 70% in gennaio 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 83% e un minimo registrato in maggio del 52%.

Il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ relativo alla stazione di fondo remoto di Castelluccio, ha raggiunto il minimo a marzo (dato però influenzato dall'evento anomalo delle polveri di trasporto di cui si è accennato sopra) ed il valore massimo ad aprile (64%).

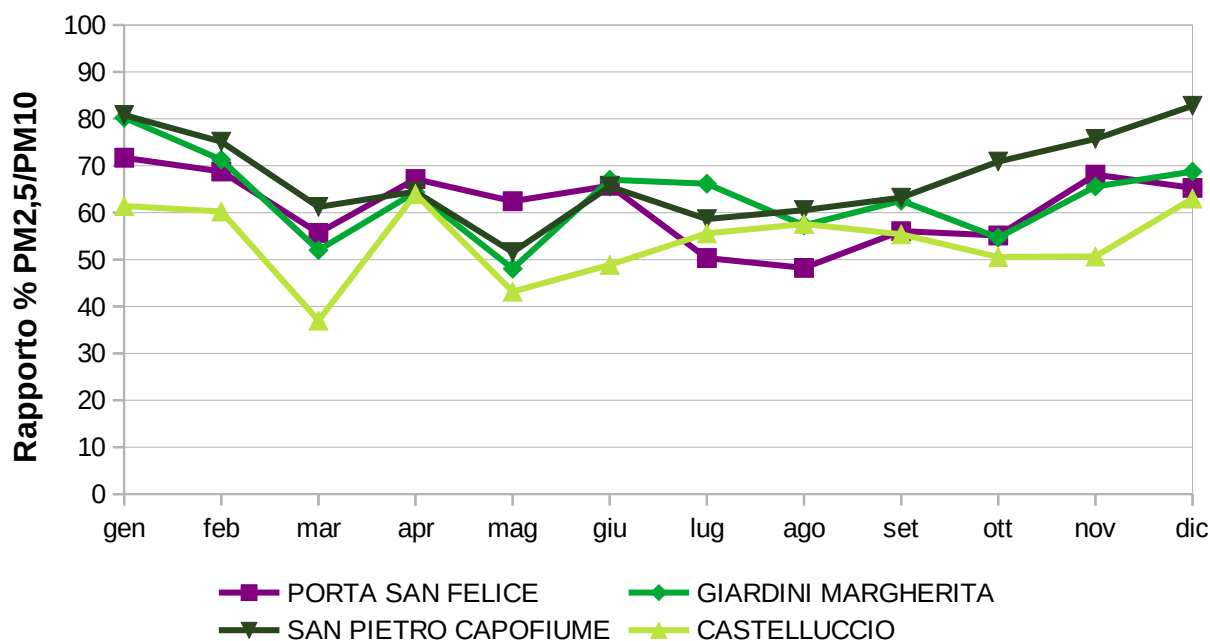


Figura 28 - Rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$: medie mensili 2020

In Tabella 24 e nel grafico di Figura 29 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 e di San Pietro Capofiume per tutti gli anni considerati e, a partire dal 2012, anche nella stazione di 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 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM _{2.5} (µg/m³) – Medie annuali 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PORTA SAN FELICE	21	23	22	20	18	20	19	20	18	16	17
GIARDINI MARGHERITA	17	20	18	15	15	17	16	18	15	14	15
SAN PIETRO CAPOFIUME	21	22	20	17	16	19	16	20	17	17	18
CASTELLUCCIO	-	-	7	6	5	7	5	6	6	6	5

- analizzatore non attivo

percentuale di dati validi inferiore al 90%

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

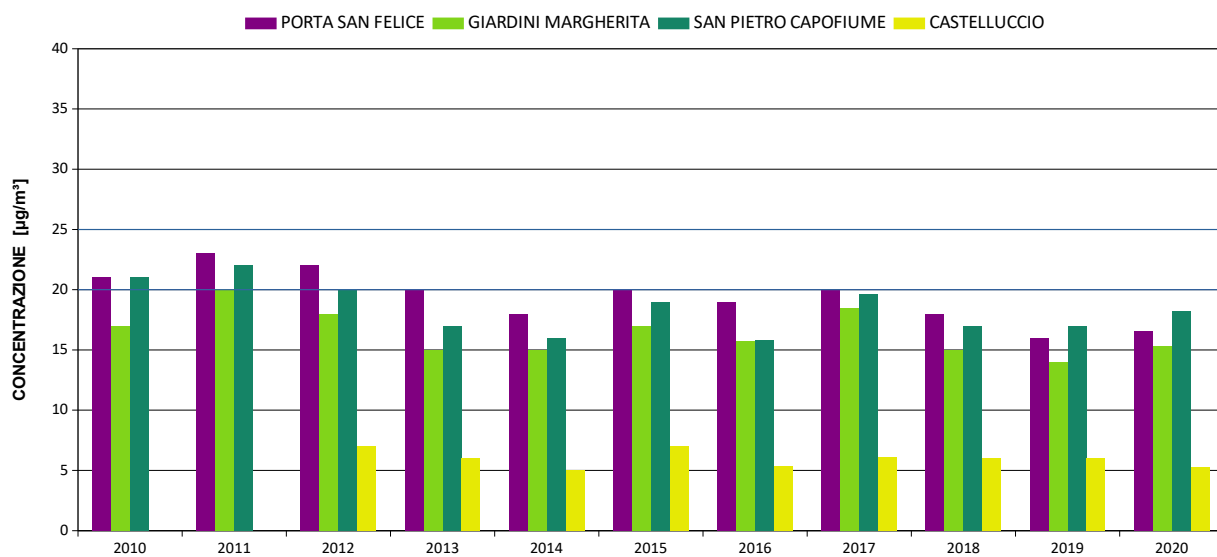


Figura 29 - PM_{2.5} Confronto medie annuali 2010-2020

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 2020 – Concentrazioni in mg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	8563	<0,6	0,6	0,6	1,0	1,2	1,4	2,8

Tabella 25 - Monossido di carbonio: Parametri statistici - anno 2020

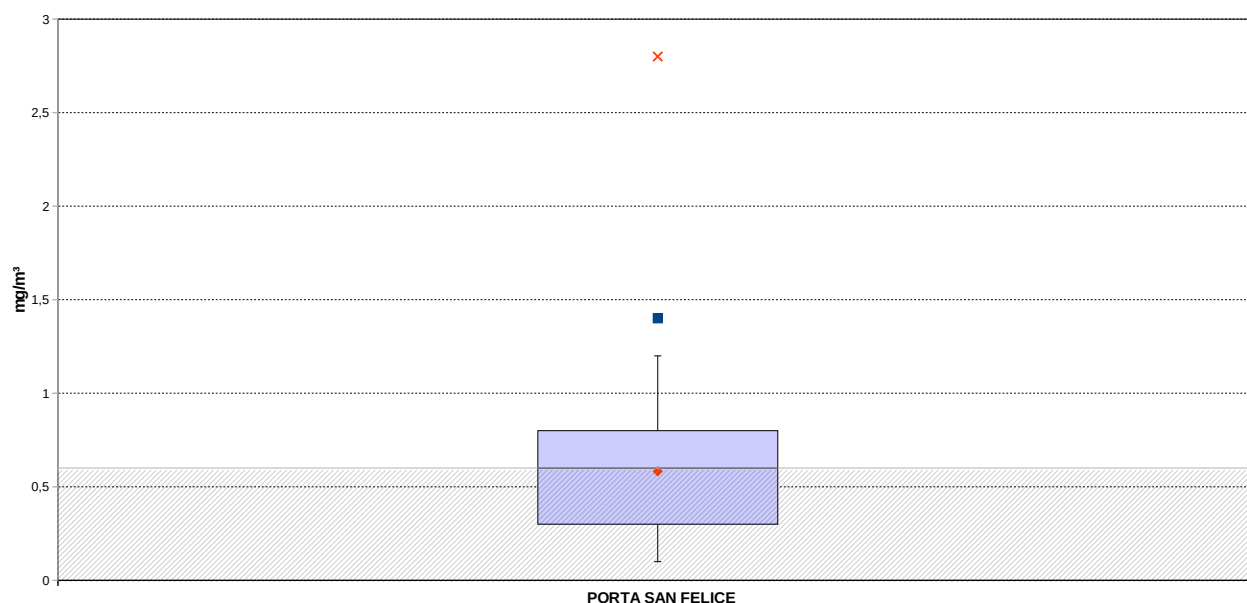


Figura 30 - CO : Box Plot delle statistiche annuali 2020

Come già detto, all'inizio del 2020 è stato disattivato l'analizzatore di monossido di carbonio precedentemente installato a Imola, nella stazione di via De Amicis. La trattazione che segue sarà pertanto riferita al solo analizzatore presente a Porta San Felice, nella 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 nel 2020. 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 inferiore al limite di quantificazione (0,4 mg/m³).

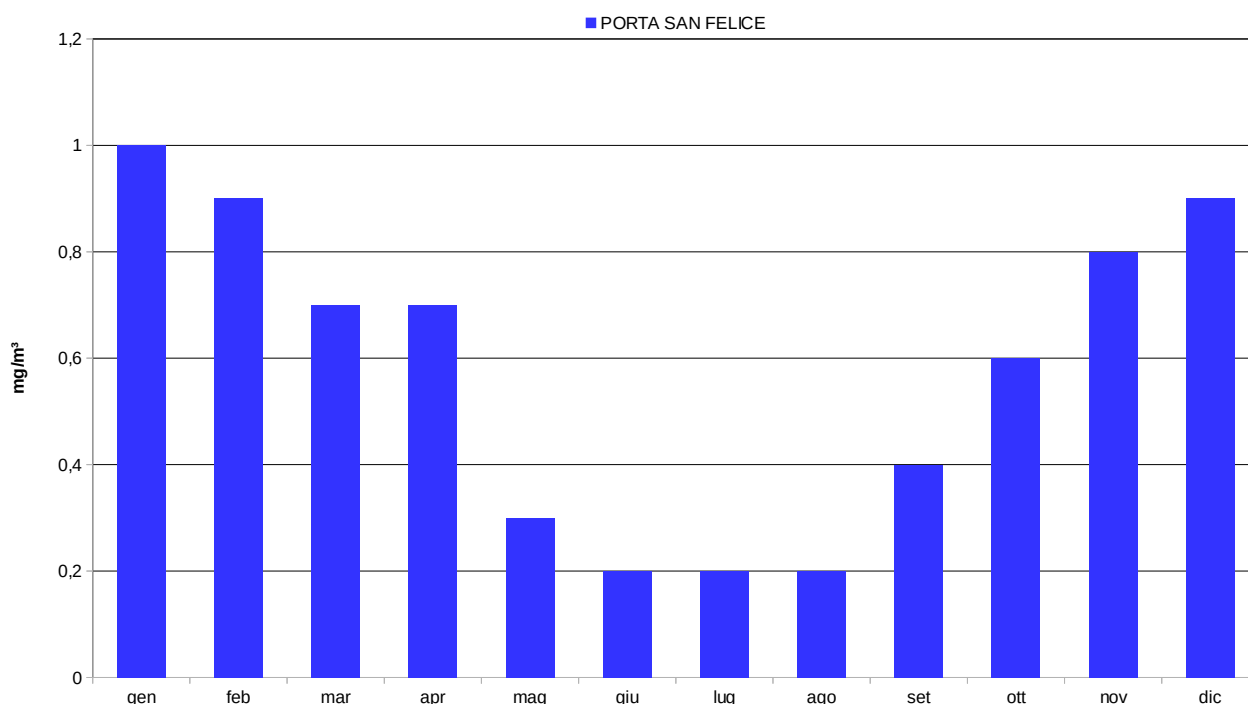


Figura 31 - CO Concentrazioni medie mensili 2020

CO (mg/m ³) – medie mensili anno 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	1,0	0,9	0,7	0,7	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,4	0,6	0,8	0,9

percentuale di dati validi inferiore al 90%

percentuale di dati validi inferiore al 75%

Tabella 26 - CO Concentrazioni medie mensili 2020

L'analisi dei dati medi delle serie storiche annuali (tabella 27) e l'andamento temporale delle medie annuali (figura 32), 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 2010 – 2020											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PORTA SAN FELICE	0,6	0,6	0,7	0,7	<0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6

Tabella 27 - CO confronto medie annuali 2010-2020

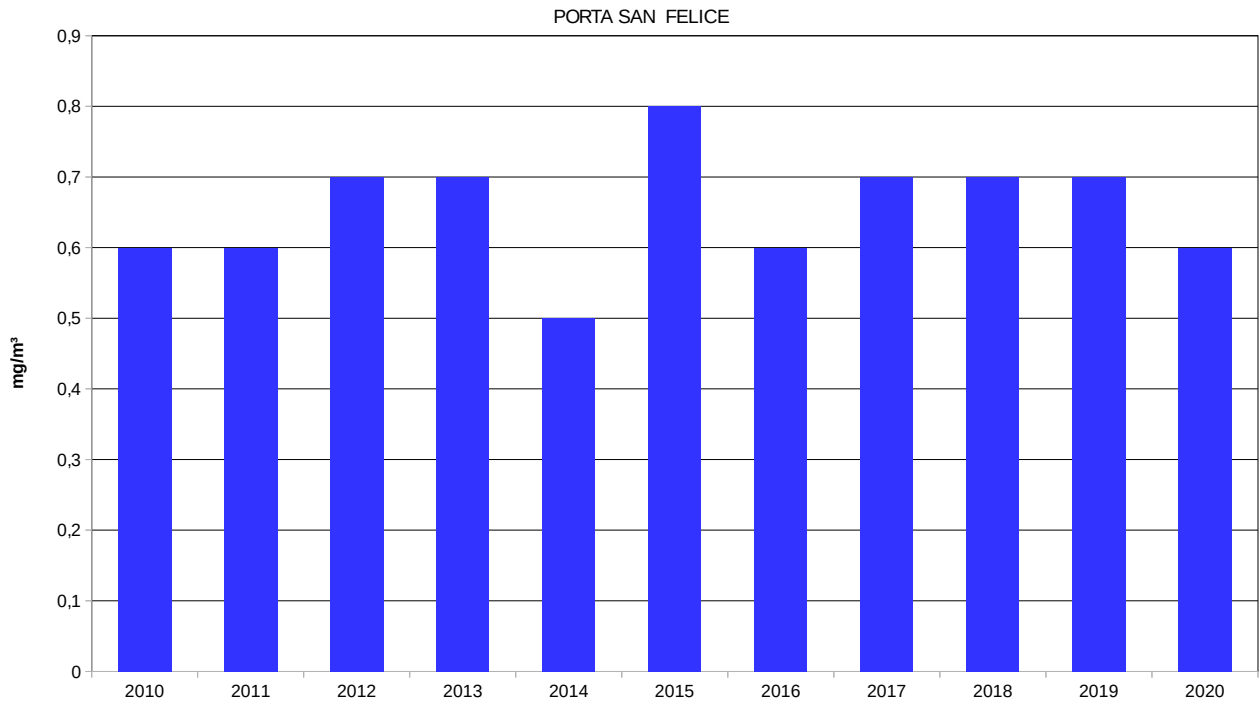


Figura 32 - CO Andamento temporale delle medie annuali

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 2020 – Concentrazioni in µg/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	7909	<0,5	0,7	0,9	1,9	2,3	2,9	11,8
VALORE LIMITE		<i>Media annuale</i>		5,0 µg/m³				

Tabella 28 - Benzene: Parametri statistici e confronto coi limiti di legge - anno 2020

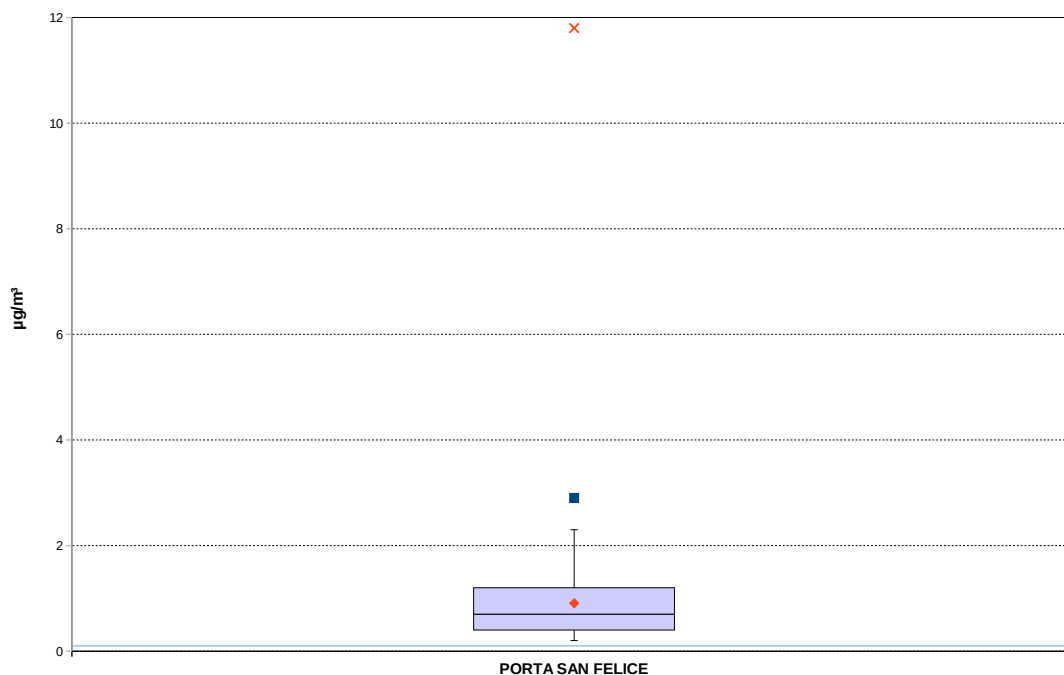


Figura 33 - C₆H₆ : Box Plot delle statistiche annuali 2020

Come già segnalato in precedenza, ad inizio 2020 è stato eliminato l'analizzatore degli idrocarburi aromatici presente a Imola, nella stazione di via De Amicis. Di conseguenza, viene riportata in questa sede soltanto la trattazione relativa all'analizzatore presente a Porta San Felice a Bologna.

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

Nel grafico di Figura 34 è riportata la concentrazione media mensile.

La concentrazione risulta più elevata nei mesi di novembre, dicembre e gennaio toccando il valore massimo di 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a gennaio.

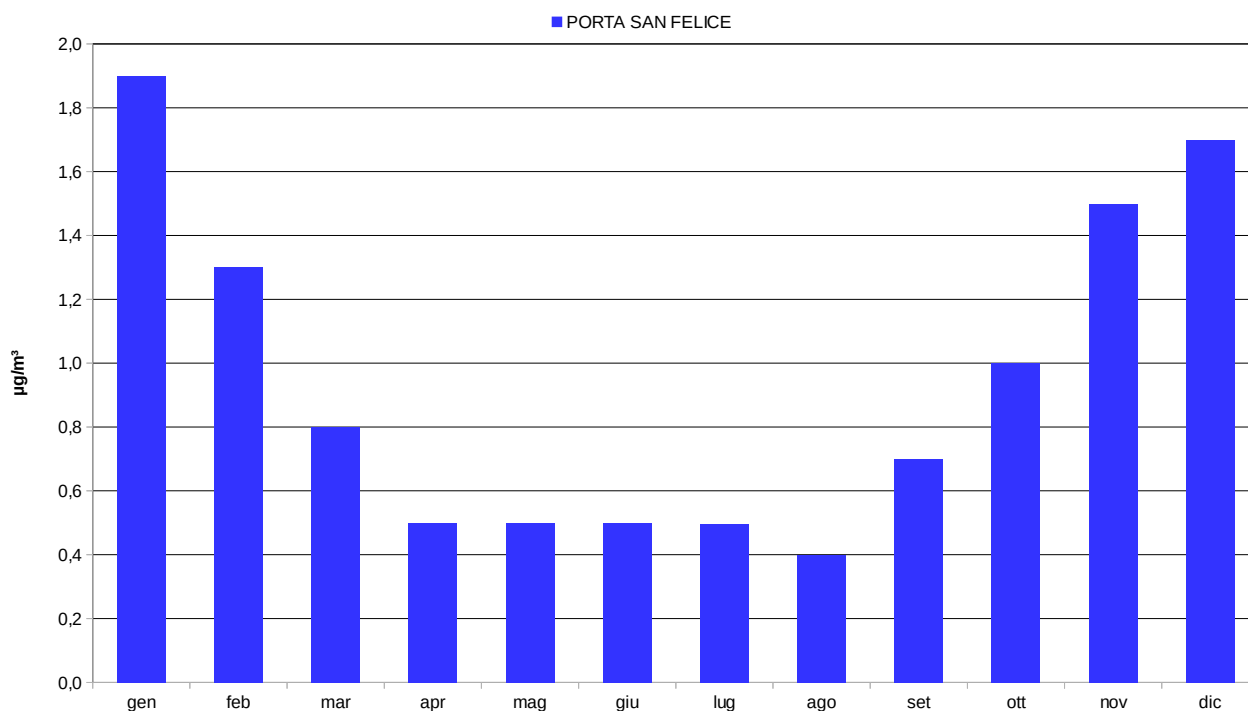


Figura 34 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2020

C ₆ H ₆ (µg/m ³) – medie mensili anno 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	1,9	1,3	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	1,0	1,5	1,7

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

Tabella 29 - C₆H₆ Concentrazioni medie mensili 2020

I grafici successivi (Figura 35) illustrano 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.

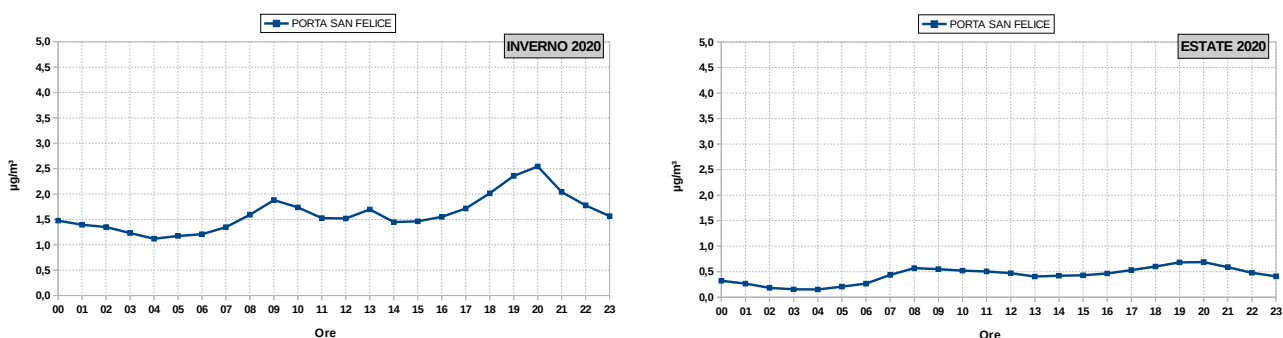


Figura 35 - Stazioni da traffico, C₆H₆: giorno tipo invernale ed estivo

Il grafico rappresentato in figura 36 esprime la concentrazione media annuale nel decennio 2010-2020 ed evidenzia un trend in discesa con due periodi centrali stabili.

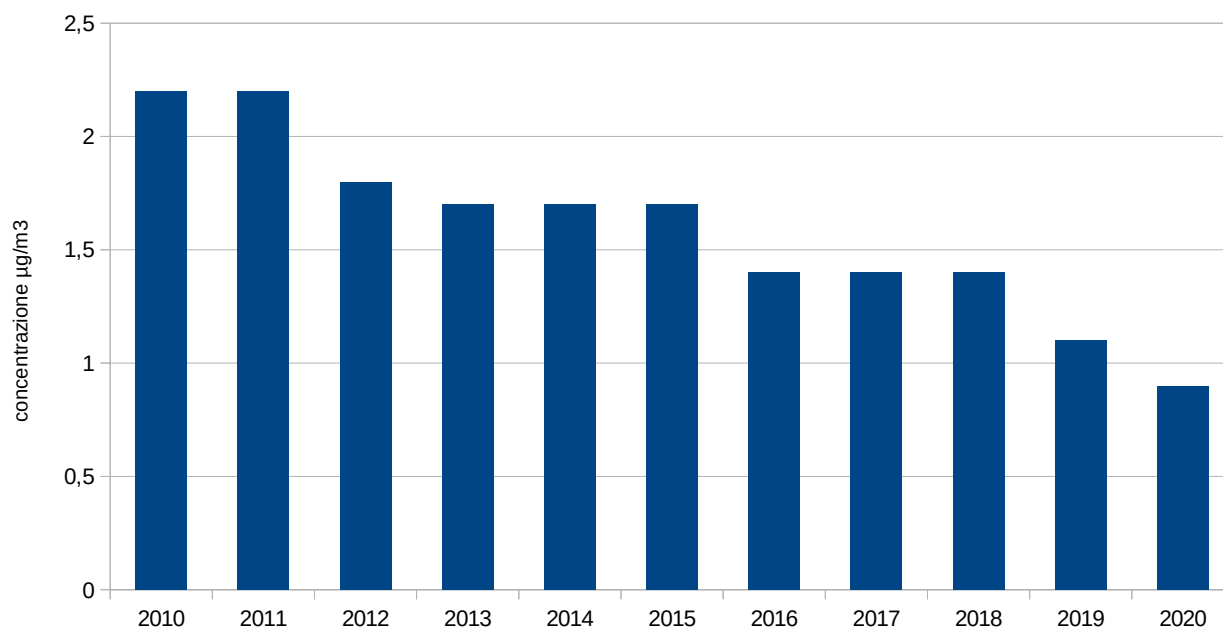


Figura 36 - C₆H₆ Confronto medie annuali 2010-2020

C ₆ H ₆ µg/m ³ Medie annuali 2010 -2020										
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2,2	2,2	1,8	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,9

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 2020 - Concentrazioni in ng/m ³								
Stazione	N. dati validi	MIN	50°	MEDIA	90°	95°	98°	MAX
PORTA SAN FELICE	12	0,003	0,066	0,169	0,435	0,593	0,692	0,758
GIARDINI MARGHERITA	12	0,005	0,047	0,107	0,225	0,364	0,463	0,529
SAN PIETRO CAPOFIUME	12	0,006	0,054	0,185	0,465	0,678	0,821	0,917

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 2020 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 2020 (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 2020												
Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
PORTA SAN FELICE	0,758	0,457	0,101	0,051	0,003	0,032	0,033	0,013	0,028	0,080	0,236	0,233
GIARDINI MARGHERITA	0,529	0,230	0,063	0,031	0,018	0,018	0,009	0,005	0,017	0,094	0,086	0,187
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,917	0,483	0,117	0,049	0,007	0,021	0,012	0,006	0,010	0,059	0,296	0,237

Tabella 32 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2020

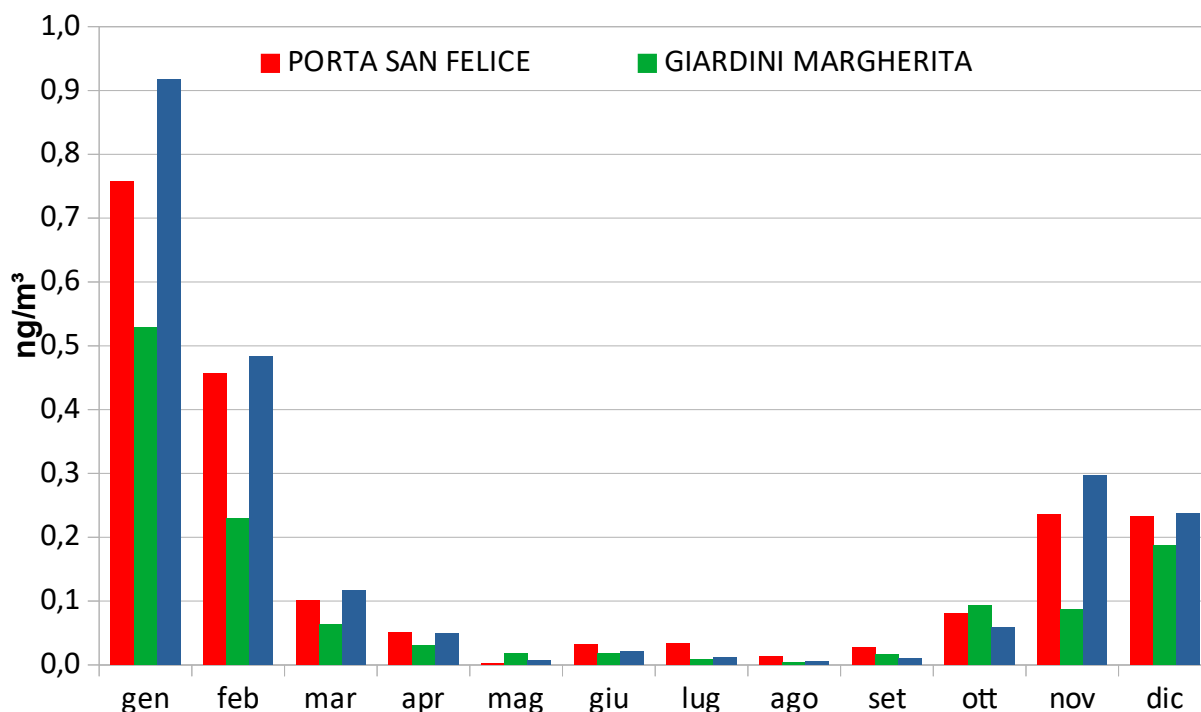


Figura 37 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie mensili 2020 (ng/m³)

IPA di interesse sanitario (D.Lgs 155/2010) [ng/m ³] – medie anno 2020						
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	0,167	0,128	0,444	0,140	0,179	0,003
GIARDINI MARGHERITA	0,117	0,054	0,333	0,101	0,132	0,003
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,182	0,140	0,505	0,161	0,202	0,019

Tabella 33 - IPA: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) 2020

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 11 anni (dal 2010 al 2020). Si può notare come tutte le concentrazioni riportate siano largamente inferiori al valore obiettivo.

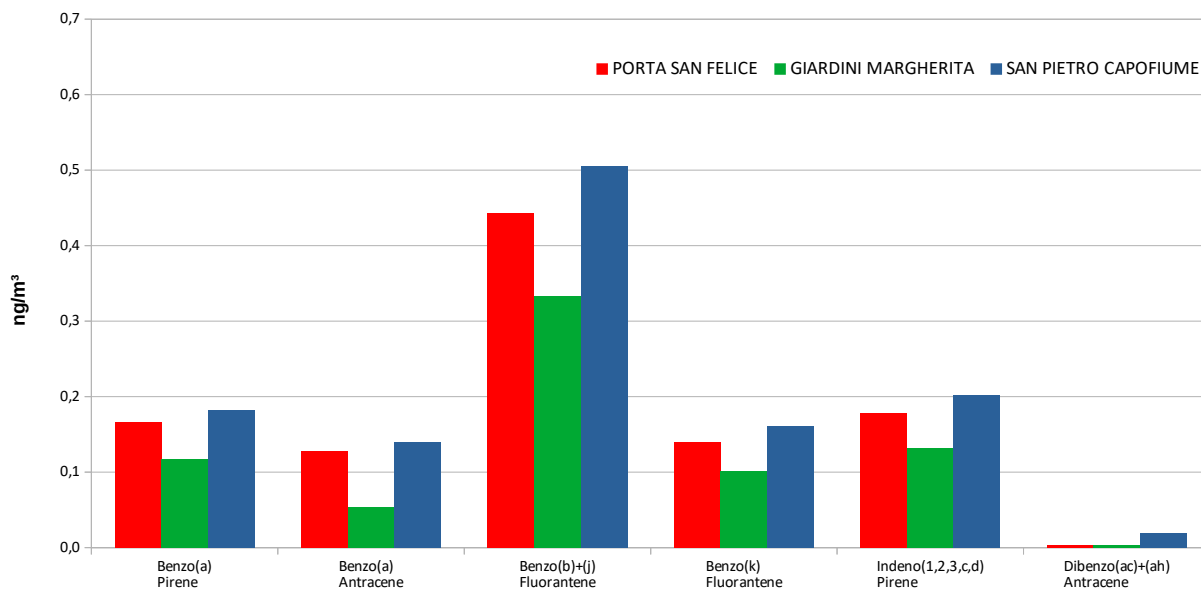


Figura 38 - IPA: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) 2020

Benzo(a)Pirene - Medie annuali 2010-2020 in ng/m3											
Stazione	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PORTA SAN FELICE	0,16	0,28	0,20	0,24	0,13	0,11	0,22	0,20	0,18	0,17	0,17
GIARDINI MARGHERITA	0,08	0,12	0,23	0,17	0,12	0,18	0,13	0,15	0,11	0,13	0,12
SAN PIETRO CAPOFIUME	0,19	0,28	0,17	0,15	0,08	0,08	0,20	0,29	0,19	0,21	0,18

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

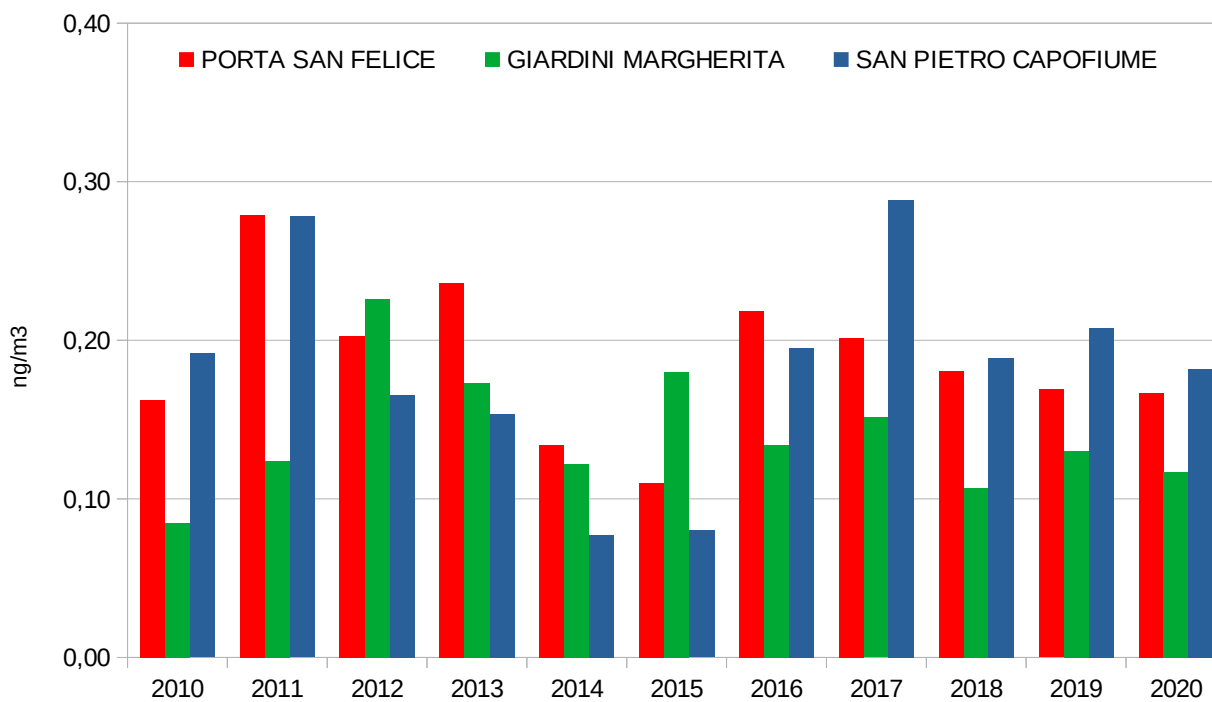


Figura 39 - Benzo(a)Pirene: Concentrazioni medie annuali (ng/m³)

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 2020, 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 anno 2020 (ng/m ³)												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Arsenico	0,483	0,206	0,206	0,199	0,214	0,206	0,263	0,299	0,206	0,214	0,491	0,193
Cadmio	0,146	0,089	0,154	0,040	0,043	0,041	0,052	0,060	0,041	0,043	0,146	0,099
Nichel	0,772	0,825	0,825	0,798	0,855	0,825	1,052	1,196	0,825	0,854	0,797	0,771
Piombo	5,572	3,270	2,908	1,865	1,119	0,001	1,054	1,355	0,935	2,140	5,085	3,441

Tabella 35 - As, Cd, Ni, Pb: Andamento medie mensili anno 2020

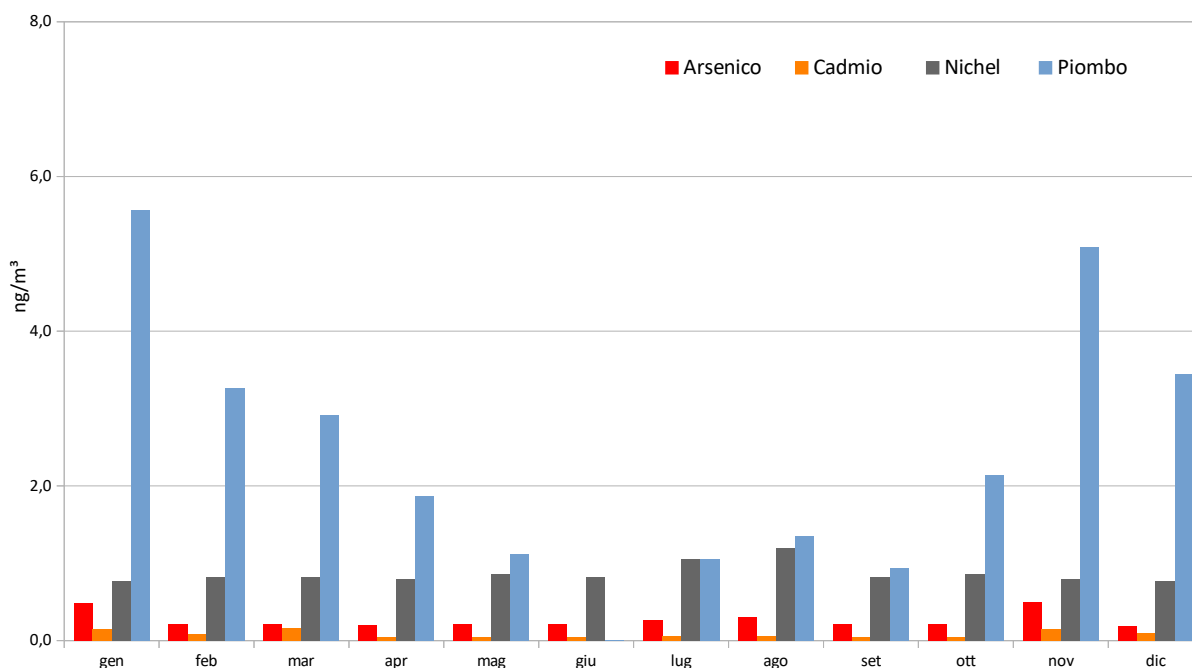


Figura 40 - Metalli: Concentrazioni medie mensili (ng/m³) - Giardini Margherita 2019

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.

In Tabella 36 e Figura 41 è infine riportato l'andamento temporale delle medie annuali a partire dal 2010. 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 2010-2020 (ng/m ³)												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Valore obiettivo
Arsenico	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	6
Cadmio	0,2	0,2	0,1	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	0,8	20
												Valore limite
Piombo	5,0	6,4	4,5	3,3	3,4	4,0	4,4	4,3	2,8	3,1	2,4	500

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

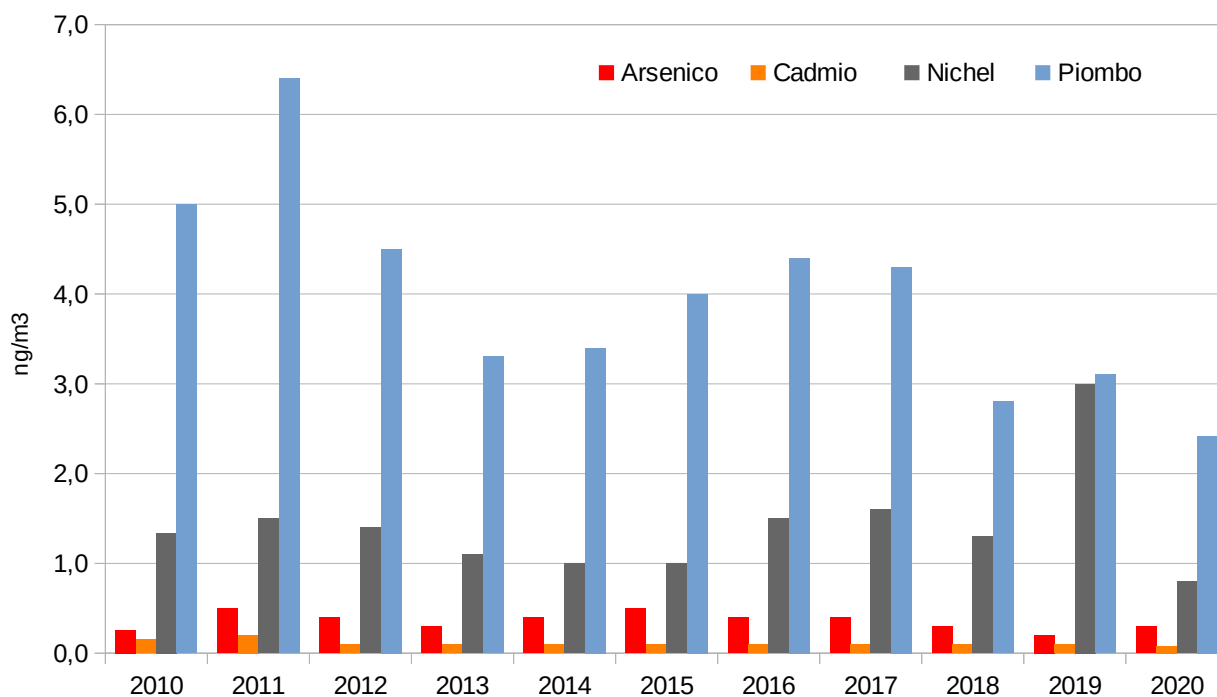


Figura 41 - Metalli: Concentrazioni medie annuali (ng/m³) dal 2010 al 2020

EFFETTI DELLE MISURE DI CONTENIMENTO ALLA DIFFUSIONE DEL SARS-COV-2

Il 2020 è stato l'anno in cui è esplosa, a livello globale, l'epidemia del virus Sars-COV2, un coronavirus già individuato in Cina a novembre del 2019 (da cui il nome Covid-19 genericamente attribuito al virus).

In Italia i primi casi si sono registrati a febbraio 2020 in alcune aree del Veneto e della Lombardia.

Il livello di diffusione del contagio di questa nuova malattia è stato così rapido e virulento da condurre il governo nazionale (ed a cascata quelli locali) all'adozione di diverse misure emergenziali di limitazione alla circolazione delle persone, alla fruizione dei posti di lavoro e di istruzione, fino alla chiusura di aziende e attività commerciali; azioni che sono state particolarmente restrittive nel periodo tra il 9 marzo ed il 18 maggio 2020.

Analoghi provvedimenti, più o meno intensi e duraturi sono stati adottati dalla maggior parte dei paesi europei e da buona parte dei governi mondiali.

In particolare, uno degli effetti scaturiti da tali misure emergenziali è stata, sia a livello locale che globale, la forte riduzione della circolazione dei mezzi di trasporto, pubblici e privati, pesanti o leggeri, veicolari e aerei.

Alla luce di ciò c'è da chiedersi, nonché da valutare, se l'adozione di queste misure abbia, in qualche modo, avuto un effetto sui dati di qualità dell'aria rilevati nel corso dell'anno 2020.

Al di là dello specifico focus, che può essere eventualmente stato evidenziato nei paragrafi dedicati ai singoli inquinanti, in generale si può rilevare come, in alcuni casi (ed in particolare quello degli ossidi di azoto), i dati di qualità dell'aria relativi all'anno 2020 sembrano presentare una riduzione dei livelli di concentrazione medi nel periodo marzo-settembre rispetto ai dati di riferimento degli anni precedenti. Tuttavia, come detto, questa considerazione sembra riguardare solo una parte degli inquinanti atmosferici (ad esempio la si osserva per il benzene ma solo nel periodo del "lockdown" di marzo-maggio mentre non sembra possa essere estesa al particolato e all'ozono) e valere in determinati contesti (in particolare quelli delle stazioni urbane da traffico e residenziali).

Va comunque evidenziato che, allo stesso tempo, non è possibile escludere, completamente e con certezza, la possibilità che i dati rilevati non siano anche il risultato di altri fattori: ambientali, climatici, antropici o di altro genere ancora (come il rinnovo del parco mezzi circolante).

Semplicemente non ci sono elementi conclusivi per sostenere una tesi o l'altra; tuttavia non si può trascurare che ci siano forti indizi che le misure di contrasto alla diffusione del SARS-CoV-2 abbiano avuto un certo impatto sui livelli di alcuni inquinanti atmosferici, almeno nei contesti urbani. Solo un'analisi degli andamenti degli indicatori e della loro tendenza negli anni futuri potrà forse eventualmente fornire un'indicazione più circostanziata e definitiva sull'argomento. In questa sede si intende soltanto rilevare la presenza anche di tale aspetto, all'interno dello scenario di valutazione dei dati della qualità dell'aria per l'anno 2020.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

Il 2020 è stato per quanto riguarda le temperature un anno tutto sommato simile al precedente, con un complessivo lieve incremento della temperatura nel periodo invernale (gennaio, febbraio, dicembre) e in quello primaverile (marzo, aprile e maggio) ed una lieve riduzione in quelli estivo (giugno, luglio, agosto) e autunnale (settembre, ottobre, novembre) rispetto al 2019.

L'anno 2020 si è caratterizzato climaticamente ancora una volta per una drastica riduzione complessiva delle precipitazioni rispetto all'anno precedente; anche se in alcuni mesi si sono avuti degli incrementi, considerevoli, come a giugno ed ottobre, la riduzione delle piogge è stata sensibile, soprattutto nei mesi di aprile, maggio e novembre.

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 2020, inferiori agli analoghi dati dell'anno precedente.

Nell'anno in esame, per la prima volta da quando vengono svolte le rilevazioni in continuo degli inquinanti atmosferici a Bologna, la media annuale di biossido di azoto ha rispettato il limite di legge ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in tutte le stazioni della rete di monitoraggio (compresa Porta San Felice). Invece, come già negli anni precedenti, si conferma anche nel 2020 il rispetto del 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.

Probabilmente su questo risultato ha influito anche il contributo dato dalla forte limitazione al traffico veicolare ed aereo imposto dalle misure di contenimento alla diffusione del virus SARS-CoV-2.

In conseguenza di quanto visto, anche 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 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$); in due stazioni (quelle di Porta San Felice a Bologna e di San Pietro Capofiume nella pianura est) si è registrato un numero di superamenti del limite giornaliero maggiore delle 35 giornate annue consentite (42 a Porta San Felice e 39 a San Pietro Capofiume rispettivamente) e in generale il numero dei giorni di superamento è risultato, nella maggior parte delle stazioni, confrontabile coi valori del 2017 e maggiore dei dati degli ultimi due anni.

Al contrario, le concentrazioni medie annuali sono risultate, su tutte le stazioni, confrontabili con quelle degli anni precedenti e ben al di sotto del limite per la concentrazione media annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La concentrazione massima rilevata nel 2020 ($136 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stata misurata a Castelluccio, in Appennino ed ha coinciso con un evento di trasporto di sabbie dai deserti attorno all'area del Mar Caspio.

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 2020 il numero di superamenti è risultato sostanzialmente in linea con quelli del 2016 e 2018 e nettamente inferiore a quelli del 2019.

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, anche in questo caso, una netta riduzione del numero di superamenti, che sono risultati i più bassi degli ultimi 3 anni e per le stazioni dell'agglomerato urbano, addirittura i più bassi dal 2014. 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 44 volte/anno presso le stazioni di via Chiarini e Giardini Margherita a Bologna, in diminuzione rispetto allo scorso anno (50), così come nella stazione appenninica di Castelluccio dove i superamenti annui sul triennio sono passati da 5 a 2.

Per quanto riguarda il parametro AOT40 relativo alla protezione della vegetazione, anche nel 2020, 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 (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 come già accaduto nell'ultimo decennio.



**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