Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

REGIONE DEL VENETO

Relazione sulla qualità dell'aria

Anno 2018

Provincia di Verona

Disegno dei bambini della scuola elementare don Provolo, Verona. Tema: "La qualità dell'aria in provincia di Verona".

Relazione tecnica n. 3/2019

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

REGIONE DEL VENETO

RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Ing. Cunego Giancarlo

Unità Operativa Fisica

Dirigente: Predicatori Francesca

De Zolt Sappadina Simona

Servizio Monitoraggio dello stato e Supporto Operativo VR

Responsabile: Salomoni Andrea

Commento meteorologico a cura del Centro Meteorologico di Teolo

Sansone Maria

Con la collaborazione di:

Servizio Controlli VR

Sarego Giacomo

Servizio Monitoraggio e Valutazioni VR

Fusato Giampaolo

Dipartimento Regionale Sicurezza Territorio

Dipartimento Regionale Laboratori

Servizio Osservatorio Regionale Aria

NOTA: La presente Relazione tecnica può essere riprodotta solo integralmente. L'utilizzo parziale richiede l'approvazione scritta del Dipartimento ARPAV Provinciale di Verona e la citazione della fonte stessa.

Relazione tecnica n. 03/2019	**Data : 20/03/2019**
Il Tecnico Unità Operativa Fisica Dr.ssa Simona De Zolt Sappadina	Il Dirigente Unità Operativa Fisica Dr.ssa Francesca Predicatori

INDICE

1 Introduzione 4
2 Caratteristiche dei principali inquinanti 6
2.1 Polveri sottili (PM_{10}, $PM_{2.5}$) 6
2.2 Ossidi di azoto (NO_x) 6
2.3 Biossido di zolfo (SO_2) 7
2.4 Monossido di carbonio (CO) 7
2.5 Ozono (O_3) 7
2.6 Benzene, Etilbenzene, Toluene, Xilene (BTEX) 7
2.7 Metalli 8
2.8 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) 8
3 Inquinanti monitorati e normativa di riferimento 9
4 Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi 10
5 Analisi dei principali inquinanti 11
5.1 Ossidi di azoto (NOx) 12
5.2 Monossido di carbonio (CO) 17
5.3 Biossido di zolfo (SO_2) 17
5.4 Ozono (O_3) 18
5.5 PM_{10} 22
5.6 $PM_{2.5}$ 27
5.7 Benzene 28
5.8 IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) 30
5.9 Metalli 32
6 Indice di qualità dell'aria 33
7 Analisi dell'andamento interannuale dei principali inquinanti 38
8 Commento meteorologico e valutazione di alcuni parametri meteorologici utili alla dispersione degli inquinanti atmosferici (A cura del Centro Meteorologico di Teolo) 42
8.1 Analisi della situazione meteorologica dell'anno 2018 42
8.1.1 Sintesi della situazione meteorologica ed effetti sulle capacità dispersive dell'atmosfera 42
8.2 Analisi di piogge e venti nel 2018 per Verona 43
8.2.1 Precipitazioni nell'area di Verona 43
8.2.2 Venti nell'area di Verona. 45
8.3 Valutazione sintetica delle capacità dispersive dell'atmosfera su Verona e provincia 46
8.4 Valutazione sintetica delle condizioni termiche che influenzano la formazione di ozono 48
9 Sintesi 50
10 Conclusioni 52
11 Glossario 54

1 Introduzione

Nel presente rapporto sono riportati i risultati delle analisi dei dati di qualità dell'aria, misurati presso le stazioni della rete di controllo della provincia di Verona: Verona-Giarol, Verona-Borgo Milano, Bosco Chiesanuova, San Bonifacio e Legnago. Le stazioni di Ca' del Bue e San Giovanni Lupatoto, che fanno parte della rete di monitoraggio dell'impianto AGSM di Ca' del Bue, sono state attive fino al 20 marzo 2018 la prima e fino al 28 febbraio 2018 la seconda; successivamente sono state spente: i dati ad esse relativi non sono stati elaborati nel presente rapporto, rappresentando una frazione inferiore al 75% dei dati relativi a tutto l'anno considerato.

La posizione delle stazioni è rappresentata in figura 1 e le loro caratteristiche sono illustrate in tabella 1. La stazione di Verona-Giarol si trova nel comune di Verona, nel parco dell'Adige Sud, e rappresenta una situazione di "fondo urbano". Quella di Verona-Borgo Milano, a pochi metri da Corso Milano, è di "traffico urbano". La stazione di Bosco Chiesanuova, situata a 825 m di quota slm, rappresenta una situazione di "fondo rurale", essendo lontana dalle fonti di pressione più significative che si trovano in pianura. La stazione di San Bonifacio è di "traffico urbano", per la sua vicinanza alla tangenziale e all'autostrada. Quella di Legnago è di "fondo urbano". Esiste un ulteriore punto di campionamento per il benzene, denominato Verona-Corso Milano, che dista dalla postazione di Verona-Borgo Milano circa 70 m ed è posizionato a bordo strada.

Stazione	**Rete**	**Acronimo usato nei grafici**	**Tipologia**
Bosco Chiesanuova	Provincia	BoscoC	fondo rurale
Legnago	Provincia	Legnago	fondo urbano
San Bonifacio	Provincia	SBonifacio	traffico urbano
Verona - Giarol Grande	Comune	Verona-Giarol	fondo urbano
Verona - Borgo Milano	Comune	BgoMilano	traffico urbano

Tabella 1. Stazioni fisse di monitoraggio della qualità dell'aria in provincia di Verona

Figura 1. Mappa delle centraline per il monitoraggio della qualità dell'aria della provincia di Verona.

2 Caratteristiche dei principali inquinanti

2.1 Polveri sottili (PM_{10}, $PM_{2.5}$)

Con il termine polveri sottili, o PM_{10}, si indica la componente del particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm. Il $PM_{2.5}$ è quella frazione del PM_{10} che ha un diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm, e costituisce circa il 60-70% del PM_{10} nel nostro territorio: viene indicato come "frazione respirabile" delle polveri poiché, a causa delle sue ridotte dimensioni, penetra fino agli alveoli polmonari. Invece, la frazione più grossolana del PM_{10}, pur venendo inalata, rimane confinata alla parte più esterna del tratto respiratorio, fermandosi al naso e alla laringe.

Le polveri sottili sono un insieme alquanto eterogeneo di composti che in parte derivano dall'emissione diretta causata da attività antropiche quali traffico, industria, riscaldamento. Tuttavia, si stima che la maggior parte di esse, più dell'80%, sia di origine secondaria, cioè non venga emessa direttamente, ma sia prodotta da reazioni chimico-fisiche che avvengono in atmosfera e coinvolgono altri inquinanti come i composti organici volatili, l'ammoniaca, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo. Grazie alle ridotte dimensioni, le particelle di PM_{10} possono rimanere in atmosfera per periodi di tempo anche relativamente lunghi prima di subire il processo di dilavamento o sedimentazione. Non è quindi possibile mettere in relazione la concentrazione di PM_{10} misurata localmente con una o più precise fonti emissive, poiché essa è il risultato di un complesso insieme di fenomeni che implicano l'emissione di sostanze inquinanti, il loro ricombinarsi e coagularsi in atmosfera, il trasporto dovuto alle dinamiche dei bassi strati dell'atmosfera: questo spiega la diffusione pressoché omogenea del PM_{10} sul nostro territorio.

Gli effetti sanitari principali dell'esposizione, sia a breve sia a lungo termine, alle polveri sottili sono disturbi respiratori. Una attenzione particolare è rivolta negli ultimi anni agli studi sulla componente più sottile delle polveri, in quanto le particelle più fini possono veicolare sostanze tossiche in grado di raggiungere gli alveoli polmonari, dando origine a problemi di tipo cardiovascolare. Recentemente sono emerse evidenze di un possibile legame anche con altre malattie croniche come il diabete (WHO, Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project: final technical report, 2013). Gli studi epidemiologici indicano che non vi è una soglia di concentrazione al di sotto della quale non si manifestino effetti negativi sulla salute in conseguenza all'esposizione alle polveri sottili: di conseguenza è auspicabile ridurne le concentrazioni quanto più possibile. Le stime di rischio di mortalità precoce per esposizioni a lungo termine indicano un aumento della mortalità giornaliera del 4% per ogni incremento della concentrazione media (su 24 ore) di PM10 di 10 $\mu g/m^3$ (WHO, 2016).

2.2 Ossidi di azoto (NO_x)

Gli ossidi di azoto (NO_x) sono una famiglia di composti, i più caratteristici dei quali sono il monossido (NO) ed il biossido di azoto (NO_2). Il monossido di azoto (NO) è un gas incolore e inodore che si forma in tutti i processi di combustione, durante i quali viene emessa anche una piccola quantità di biossido di azoto (NO_2), circa il 5% del totale. Per la maggior parte però, l' NO_2 è di origine secondaria, poiché deriva principalmente dall'ossidazione dell'ossido di azoto (NO), favorita dalla presenza di ossidanti come l'ozono.

Gli ossidi di azoto intervengono in una serie di reazioni chimiche che portano alla formazione di ozono troposferico (O_3), un altro inquinante dannoso per la salute umana e degli ecosistemi. Inoltre contribuiscono al fenomeno delle piogge acide, e alla formazione di una frazione importante del $PM_{2.5}$.

Le più importanti fonti emissive per questi inquinanti sono il traffico e il riscaldamento domestico. L'NO_2 è dannoso per la salute, essendo associato a una diminuzione della funzionalità polmonare. Ad alte concentrazioni è un gas tossico, che causa infiammazioni importanti delle vie polmonari (WHO, Ambient (outdoor) air quality and health, Fact sheet, updated in September 2016).

Gli effetti negativi sull'ambiente dovuti ad alte concentrazioni di NO_2 sono legati alla formazione di smog fotochimico in presenza di irraggiamento solare e alla acidificazione delle piogge.

2.3 Biossido di zolfo (SO_2)

Il biossido di zolfo è un gas incolore dall'odore acre e pungente a temperatura ambiente derivante sia da fonti antropiche sia da fonti naturali. La fonte naturale principale sono le eruzioni vulcaniche, mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche. L'esposizione a SO_2 determina problemi respiratori e irritazioni oculari. Gli ossidi di zolfo svolgono un'azione indiretta nei confronti della fascia di ozono stratosferico in quanto fungono da substrato per i clorofluorocarburi, principali responsabili del "buco" dell'ozono. Essi contribuiscono alle piogge acide.

2.4 Monossido di carbonio (CO)

Qualsiasi processo di combustione incompleta provoca la produzione di monossido di carbonio (CO), un gas incolore ed inodore che a concentrazioni molto elevate, normalmente non riscontrabili nell'aria ambiente, è fortemente dannoso per la salute. Una quota notevole di CO deriva da processi naturali connessi all'ossidazione atmosferica di metano e di altri idrocarburi normalmente emessi nell'atmosfera, dalle emissioni degli oceani e paludi, da incendi forestali, da acqua piovana e tempeste elettriche. Le fonti antropiche di monossido di carbonio sono rappresentate da tutte le attività che comportano l'utilizzo di combustibili fossili, in particolare il traffico stradale (motori a benzina) è la sorgente principale, seguito dall'industria metallurgica e dal riscaldamento domestico. Il CO è un inquinante primario che solo lentamente viene ossidato a CO_2: il suo tempo di permanenza in atmosfera può arrivare a sei mesi.

2.5 Ozono (O_3)

L'ozono è un inquinante di tipo secondario, prodotto da reazioni fotochimiche di trasformazione di inquinanti primari quali composti organici volatili e ossidi di azoto. Esso reagisce chimicamente con il monossido di azoto, emesso principalmente dal traffico e dal riscaldamento domestico: per questo motivo, vicino a queste fonti emissive si trovano concentrazioni più basse di ozono rispetto ad aree più lontane. Poiché la reazione che porta alla formazione dell'ozono dipende dalla temperatura e dalla radiazione solare, le condizioni meteorologiche hanno una grande influenza sull'andamento delle concentrazioni: i livelli sono bassi al mattino, quando si verifica la fase di innesco del processo fotochimico, raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono progressivamente nelle ore serali con il diminuire della radiazione solare.
L'ozono a livello del suolo è tossico per l'uomo anche a concentrazioni relativamente basse essendo un potente agente ossidante, tanto che rappresenta, insieme al particolato, uno degli inquinanti più rilevanti dal punto di vista della salute nella Pianura Padana, ma anche in tutta Europa. Gli effetti a lungo termine dell'esposizione a ozono comprendono problemi respiratori e cardiocircolatori. Diversi studi europei hanno mostrato un aumento della mortalità giornaliera compreso tra 0.3% e 0.5% per ogni incremento della concentrazione media (su 8 ore) di ozono di 10 $\mu g/m^3$ oltre un livello di base di 70 $\mu g/m^3$ (WHO, 2016). Gli effetti sull'ambiente comprendono la riduzione della fotosintesi e una bassa produzione delle colture, e un contributo all'effetto serra.

2.6 Benzene, Etilbenzene, Toluene, Xilene (BTEX)

Il benzene (C_6H_6) è il più semplice dei composti organici aromatici: è un liquido incolore dal caratteristico odore pungente che diventa irritante a concentrazioni elevate e che volatilizza facilmente a temperatura ambiente. Il benzene presente nell'aria ambiente è prevalentemente di origine antropica e deriva principalmente da processi di combustione incompleta (emissioni industriali, veicoli a motore, incendi). La più importante fonte emissiva è rappresentata dai veicoli a motore alimentati a benzina, i quali emettono benzene oltre che dal tubo di scappamento anche dal serbatoio e dal carburatore: in questi ultimi due casi si tratta di perdite dovute all'evaporazione, legate cioè alla volatilità del combustibile ed ai fenomeni fisici che la favoriscono. Questo inquinante è cancerogeno (IARC, WHO, Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-106, 2012), e la sua degradazione nell'atmosfera determina la formazione di altre sostanze tossiche e/o cancerogene. E' un precursore dell'ozono. L'industria petrolchimica in questi ultimi anni sta utilizzando in sostituzione del benzene il toluene (C_7H_8), che è uno dei principali costituenti della benzina senza piombo. Esso infatti presenta caratteristiche chimico-fisiche molto simili a

quelle del benzene ma risulta meno tossico. Lo xilene (C_8H_{10}) è un gruppo di tre derivati del benzene (isomeri: orto-, meta-e para-) e come quest'ultimo è contenuto naturalmente nel petrolio. Una delle sue possibili fonti in un contesto urbano è il gasolio per autotrazione.

2.7 Metalli

Nel particolato sono presenti metalli di varia natura, la cui origine è legata a una varietà di sorgenti. La normativa prevede il monitoraggio su base annuale di arsenico, nichel, cadmio e piombo. La determinazione di metalli e microelementi nel particolato viene effettuata per rispondere alla normativa vigente, ma anche per aumentare la conoscenza dei processi chimici e fisici che avvengono in atmosfera e che coinvolgono l'aerosol sia di origine antropica che naturale.
Il nichel è presente nell'ambiente soprattutto come lega metallica o in combinazione con altri elementi. Fra le sue fonti ci sono l'utilizzo di oli pesanti e di carbone, catalizzatori, acciaio e leghe non ferrose.
La principale fonte antropogenica di piombo era rappresentata dall'utilizzo di questo elemento come antidetonante nelle benzine: il passaggio alla benzina verde ha portato ad una radicale diminuzione di questo inquinante nell'ambiente. Altre fonti sono le industrie per la lavorazione di ferro e acciaio e l'industria per la produzione di batterie.
L'inquinamento ambientale da arsenico deriva principalmente dalle industrie che utilizzano i suoi composti e dall'uso di combustibili fossili, come il petrolio ed il carbone, in cui esso è presente in quantità relativamente elevata.
Il cadmio viene emesso in seguito a incenerimento di scorie, dall'utilizzo di combustibili minerali solidi, olii e biomassa.
I metalli si accumulano negli organismi viventi ed entrano nella catena alimentare. Gli effetti a breve e lungo termine dell'esposizione ai metalli comprendono i problemi respiratori e disfunzioni renali. L'arsenico, il cadmio e il nichel sono cancerogeni per l'uomo (IARC, 2012)

2.8 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono dei composti organici che si originano principalmente dalla combustione incompleta di materiale organico. Essi comprendono varie specie, la più conosciuta delle quali è il benzo(a)pirene (BaP), che rappresenta l'unico parametro normato. Essi tendono a legarsi alla parte più sottile del particolato atmosferico, quello con diametro inferiore ai 2.5 µm ($PM_{2.5}$). L'inalazione del particolato aerodisperso determina la deposizione di queste sostanze a livello polmonare e la loro assimilazione da parte dell'organismo umano. Le varie specie di IPA hanno caratteristiche tossicologiche differenti, ma per tutte sono riconosciute proprietà mutagene e cancerogene (WMO, 2000). Alcune specie di IPA sono tossiche anche per l'ambiente: contaminando i suoli e le acque, si accumulano negli organismi viventi ed entrano nella catena alimentare. Il rapporto relativo delle varie specie di IPA è abbastanza stabile nei diversi siti di monitoraggio, consentendo di utilizzare il BaP come indicatore degli IPA totali.
Le principali fonti emissive di origine antropica di questa classe di inquinanti sono il riscaldamento domestico, l'incenerimento di rifiuti, il trasporto stradale, la bruciatura di residui agricoli, la produzione di asfalto, la raffinazione del petrolio e altre attività industriali (Zhang and Tao, 2009, lobal atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. Atmospheric Environment 43, 812 e 819). I dati più recenti, a livello italiano, evidenziano una tendenza all'aumento delle emissioni di IPA negli ultimi 20 anni, causato dalle attività classificate come "combustione di tipo non industriale" e in particolare dalle caldaie a biomassa con potenza termica inferiore ai 50 MW. Questa tendenza è in accordo con i dati di emissioni a livello europeo (EEA report, 2015. Air quality in Europe-2015 report).

3 Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

La normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria è il D.Lgs.155/2010. Tale decreto regolamenta i livelli in aria ambiente di biossido di zolfo (SO_2), biossido di azoto (NO_2), ossidi di azoto (NOx), monossido di carbonio (CO), particolato (PM_{10} e $PM_{2.5}$), piombo (Pb), benzene (C_6H_6), oltre alle concentrazioni di ozono (O_3) e ai livelli nel particolato PM_{10} di cadmio (Cd), nichel (Ni), arsenico (As) e benzo(a)pirene (BaP).

Il D.Lgs.155/2010 è stato aggiornato dal Decreto Legislativo n. 250/2012 che ha fissato il margine di tolleranza (MDT) da applicare, ogni anno, al valore limite annuale per il $PM_{2.5}$ (25 µg/m^3, in vigore dal 1° gennaio 2016).

In questo documento è stato verificato il rispetto dei valori limite e/o valori obiettivo e di tutti gli indicatori riportati nelle tabelle da 2 a 5, per i seguenti parametri: NO_2, NOx, SO_2, CO, O_3, PM_{10}, $PM_{2.5}$, C_6H_6, Pb, As, Ni, Cd.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO_2	Soglia di allarme (*)	**500** µg/m^3
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	**350** µg/m^3
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	**125** µg/m^3
NO_2	Soglia di allarme (*)	**400** µg/m^3
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	**200** µg/m^3
PM10	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	**50** µg/m^3
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	**10** mg/m^3
O_3	Soglia di informazione (Media 1 h)	**180** µg/m^3
	Soglia di allarme (Media 1 h)	**240** µg/m^3
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni (altrimenti su 1 anno) Massimo giornaliero della media su 8 h.	**120** µg/m^3
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Massimo giornaliero della media su 8 h.	**120** µg/m^3

Tabella 2. Limiti di legge relativi all'esposizione acuta

(*) misurato per 3 ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria in un'area di almeno 100 Km^2, oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

Inquinante	Tipologia	Valore
NO_2	Valore limite annuale	**40** µg/m^3
PM10	Valore limite annuale	**40** µg/m^3
$PM_{2,5}$	Valore obiettivo (media su anno civile)	**25** µg/m^3
Piombo	Valore limite annuale	**0.5** µg/m^3
Arsenico	Valore obiettivo (media su anno civile)	**6.0** ng/m^3
Cadmio	Valore obiettivo (media su anno civile)	**5.0** ng/m^3
Nichel	Valore obiettivo (media su anno civile)	**20.0** ng/m^3
Benzene	Valore limite annuale	**5.0** µg/m^3
B(a)pirene	Valore obiettivo (media su anno civile)	**1.0** ng/m^3

Tabella 3. Limiti di legge relativi all'esposizione cronica.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO_2	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile e inverno (01/10 – 31/03)	**20** $\mu g/m^3$
NOX	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile	**30** $\mu g/m^3$
O_3	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio Da calcolare come media su 5 anni (altrimenti su 3 anni)	**18000** $\mu g/m^3h$
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	**6000** $\mu g/m^3h$

Tabella 4. Limiti di legge per la protezione degli ecosistemi.

Inquinante	Indicazioni OMS	
	Livello di fondo	Aree urbane
Arsenico	1-3	20-30
Cadmio	0.1	1-10
Nichel	1	9-60
Piombo	0.6	5-500

Tabella 5. Linee guida di qualità dell'aria per i metalli da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

4 Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi

Gli analizzatori in continuo di anidride solforosa (SO_2), ossidi di azoto (NO_x-NO-NO_2), monossido di carbonio (CO) e ozono (O_3) presentano caratteristiche conformi al D.Lgs. 155/2010: il volume di aria campionata è normalizzato ad una temperatura di 20°C e una pressione di 101,3 kPa ed effettuano acquisizione, misura e registrazione dei risultati in modo automatico.
Il campionamento del particolato inalabile PM_{10} (diametro aerodinamico inferiore a 10 µm), degli IPA (con riferimento al benzo(a)pirene) e dei metalli è stato realizzato con una linea di prelievo sequenziale, che utilizza filtri da 47 mm di diametro, in nitrato di cellulosa e cicli di prelievo di 24 ore. L' analisi delle polveri PM_{10} avviene sul posto mediante tecnica basata sull'assorbimento di radiazioni beta. La determinazione degli IPA avviene in laboratorio, con cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC "metodo UNI EN 15549:2008"). Anche i metalli sono determinati in laboratorio, con spettrofotometria di emissione con plasma ad accoppiamento induttivo (ICP-Ottico) e spettrofotometria di assorbimento atomico con fornetto a grafite "metodo UNI EN 14902:2005".
Il benzene è stato misurato attraverso due metodi. Il primo è una tecnica di "campionamento passivo" in cui la cattura dell'inquinante avviene per diffusione molecolare della sostanza attraverso il campionatore, e non richiede quindi l'impiego di un dispositivo per l'aspirazione dell'aria. I dati ottenuti dai rilevamenti effettuati con tecnica di campionamento passivo pertanto non possono essere confrontati direttamente con i limiti di legge ma costituiscono ugualmente un riferimento utile per l'identificazione di eventuali criticità. La seconda tecnica, invece, è di tipo attivo, con cicli di prelievo di 24 ore, e utilizza per il campionamento fiale a carboni attivi che vengono poi analizzate in laboratorio.
Con riferimento ai risultati riportati di seguito si precisa che la rappresentazione dei valori inferiori al limite di rivelabilità segue una distribuzione statistica di tipo gaussiano normale in cui la metà del limite di rivelabilità rappresenta il valore più probabile. Si è scelto pertanto di attribuire tale valore ai dati inferiori al limite di rivelabilità, diverso a seconda dello strumento impiegato e della metodologia adottata.
Allo stato attuale, ai fini delle elaborazioni e per la valutazione della conformità al valore limite si utilizzano le "Regole di accettazione e rifiuto semplici", ossia le regole più elementari di trattamento dei dati, corrispondenti alla considerazione delle singole misure prive di incertezza e del valore

medio come numero esatto. ("Valutazione della conformità in presenza dell'incertezza di misura". di R.Mufato e G. Sartori nel Bollettino degli esperti ambientali. Incertezza delle misure e certezza del diritto/anno 62, 2011 2-3).

5 Analisi dei principali inquinanti

In questo capitolo sono esaminati i dati relativi ai vari inquinanti misurati presso le diverse centraline della provincia di Verona, servendosi di parametri statistici e grafici che consentono una descrizione sintetica ed esaustiva.
In particolare, sono stati utilizzati anche i grafici "box-whisker" (il cui significato è illustrato in figura 2) e tabelle riassuntive di vari parametri statistici relativi alla concentrazione di ogni inquinante, spiegate in modo esteso in Tabella 6.

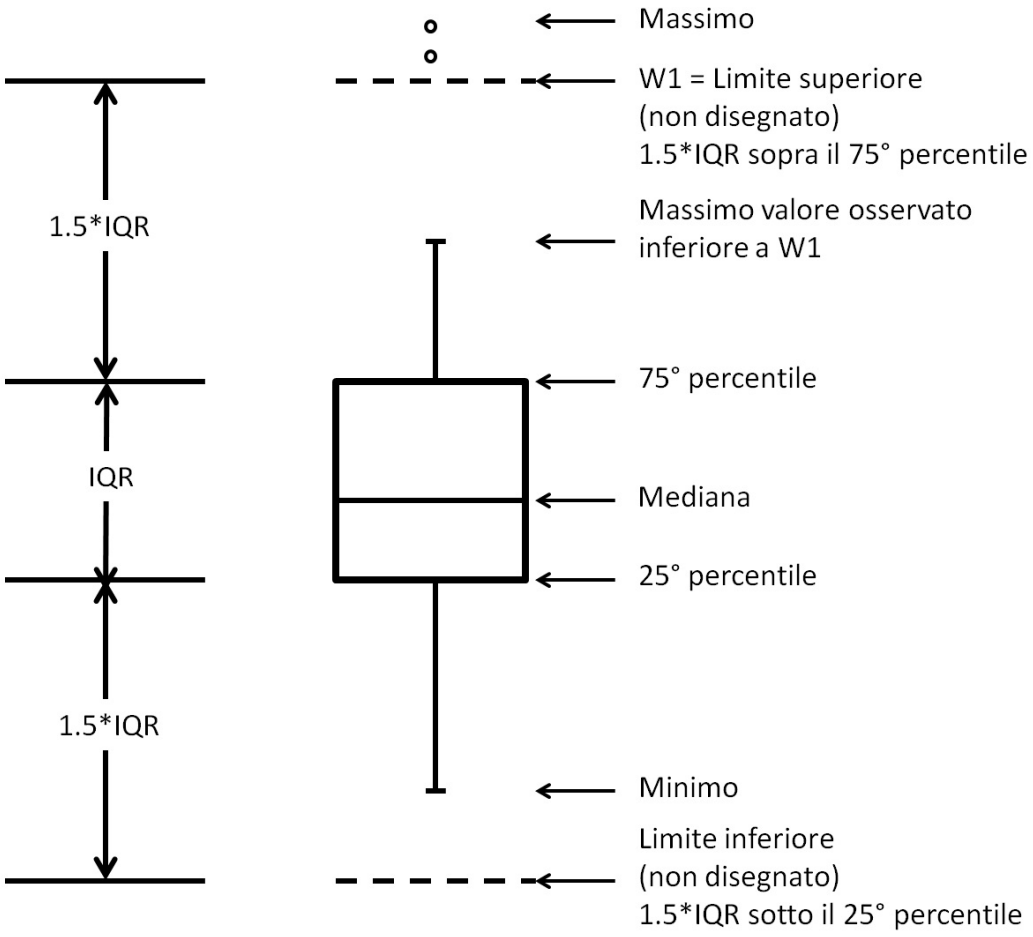


Figura 2. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta ("box") indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata dal grafico è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita inferiormente il "box" è il 25% percentile: il 25% dei dati è inferiore a tale valore. Il segmento orizzontale che delimita superiormente il "box" è il 75% percentile: il 75% dei dati è inferiore a tale valore. La differenza tra il 25° e 75° percentile si definisce "Inter Quartile Range" (IQR). In base all'IQR si definiscono i "baffi", cioè le barre che si estendono in alto e in basso: lo spazio tra esse compreso dà un'indicazione della dispersione dei dati della serie rappresentata. Oltre i baffi, si trovano solo pochi dati della popolazione rappresentata, i valori minimi e massimi, che vengono chiamati "outliers" e indicati con dei pallini.

Grandezza statistica	Significato
media	Media
sd	Deviazione Standard
min	Minimo
max	Massimo
N ore	Numero totale di ore del periodo di analisi
Data capture	Percentuale di dati validi in tutto il periodo di analisi
N superamenti limite	Numero di superamenti di un certo limite

Tabella 6. Principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

5.1 Ossidi di azoto (NO_x)

Gli ossidi azoto sono rilevati presso tutte le centraline poste in provincia di Verona. I principali parametri statistici relativi alla concentrazione di questi inquinanti nelle varie stazioni sono riportati in tabella 7 e tabella 8, e rappresentati graficamente in figura 3.

I valori medi annuali e i massimi più elevati si misurano nella stazione di San Bonifacio, di tipologia traffico urbano. Infatti, la principale fonte emissiva per questo tipo di inquinante è proprio il traffico veicolare, che in base alle stime dell'inventario regionale ARPAV contribuisce al 49.3% delle emissioni in provincia di Verona (ARPAV, INEMAR, 2013). Il valore medio annuale è elevato anche presso la stazione di traffico di VR-Borgo Milano. Tuttavia, Il traffico veicolare è una fonte emissiva che influenza anche le altre stazioni di pianura. Infatti, i valori medi e massimi di concentrazione di NO_2 sono elevati anche nelle stazioni di fondo urbano di Legnago e VR-Giarol; i massimi sono confrontabili con quelli della centralina di traffico urbano di VR-Borgo Milano, e ad essa superiori. A Bosco Chiesanuova, stazione di fondo rurale situata a 800 m di quota slm, si trovano i valori medi e massimi più bassi.

Nel grafico del giorno tipo della concentrazione di NO_2, mostrato in figura 4 si nota che in tutte le stazioni di pianura sono visibili due picchi (il primo tra le ore 6 e le ore 8 e il secondo tra le 19 e le 20) e un minimo nelle ore centrali della giornata. Questo profilo è determinato da più fattori. Nel primo mattino, quando il traffico è più intenso, le emissioni sono più elevate rispetto al resto della giornata, e causano un aumento della concentrazione di ossidi di azoto. Nelle ore centrali della giornata, lo strato mescolato (la parte dell'atmosfera più vicina alla superficie) aumenta in altezza rispetto al suolo, grazie ai moti convettivi che si innescano quando la superficie terrestre si scalda. Inoltre, specie nei mesi estivi, grazie alla radiazione solare si forma ozono per fotolisi degli ossidi di azoto e ossidazione di CO e COV: l'ozono tende a reagire con gli ossidi di azoto, diminuendone la concentrazione. In serata, in seguito al raffreddamento della superficie terrestre, l'altezza dello strato mescolato diminuisce, causando un aumento delle concentrazioni di ossidi di azoto. L'andamento della concentrazione di NO_2 rilevato presso la stazione di fondo rurale di Bosco Chiesanuova, invece, si discosta da quello delle altre, mostrando un aumento della concentrazione nelle ore pomeridiane: questo fenomeno è legato all'apporto di aria ricca di ossidi di azoto proveniente dalla pianura, a opera della brezza monte-valle, che di giorno soffia appunto dalla pianura verso la montagna di Bosco Chiesanuova.

Sempre osservando la figura 4, si nota una notevole somiglianza tra gli andamenti del giorno tipo delle due centraline del comune di Verona, pur essendo esse di tipologia diversa: traffico urbano VR-Borgo Milano e fondo urbano VR-Giarol. La stazione di traffico di San Bonifacio mostra i valori più elevati, e quella di Legnago i valori più bassi, tra le centraline situate in pianura.

Osservando la settimana tipo, rappresentata in figura 5, si osserva un progressivo aumento della concentrazione media giornaliera da martedì a venerdì, legato probabilmente a un effetto di accumulo degli inquinanti, e una diminuzione il sabato e la domenica, quando il traffico è meno intenso.

La concentrazione di ossidi di azoto mostra anche un andamento stagionale, con valori più bassi in estate (tra aprile e settembre), in corrispondenza di condizioni meteorologiche più favorevoli al rimescolamento dello strato atmosferico più vicino alla superficie, che consentono la dispersione degli inquinanti: questo è ben visibile in figura 6, che mostra i valori medi mensili di concentrazione di NO_2 misurati dalle varie centraline. Anche in questo grafico si nota come la stazione di Bosco Chiesanuova si discosti dalle altre, mostrando concentrazioni medie più basse e minore escursione tra l'estate e l'inverno.

In nessuna centralina è avvenuto alcun superamento dei limiti normativi relativi all'NO_2: anche la media annuale rimane inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m^3, indicato con una linea rossa in figura 3.

Il livello critico per la protezione della vegetazione, pari a una concentrazione di NOx di 30 µg/m^3, deve essere valutato solo presso la stazione di fondo rurale a Bosco Chiesanuova (tabella 8), e nell'anno 2018 non è stato superato.

Per quanto i limiti normativi associati agli ossidi di azoto non siano stati superati, è opportuno considerare che essi sono un precursore di altri inquinanti come il particolato atmosferico e l'ozono, per i quali si osservano superamenti dei limiti di legge.

NO_2 (µg/m^3)	Bosco Chiesanuova	Legnago	San Bonifacio	VR-Borgo Milano	VR-Giarol
media	9	22	29	26	26
sd	8	15	18	15	16
min	2	2	2	2	2
max	77	100	123	93	99
N ore	8760	8760	8760	8760	8760
Data capture	94	95	90	99	100
N superamenti 200 µg/m^3	0	0	0	0	0
N superamenti 400 µg/m^3	0	0	0	0	0

Tabella 7. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di NO_2 (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona, nel 2018.

NO_x (µg/m^3)	Bosco Chiesanuova	Legnago	San Bonifacio	VR-Borgo Milano	VR-Giarol
media	11	38	55	49	43
sd	10	38	63	54	46
min	2	2	2	2	4
max	124	453	605	579	461
N ore	8760	8760	8760	8760	8760
Data capture	94	95	90	99	100

Tabella 8. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di NO_x (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona, nel 2018.

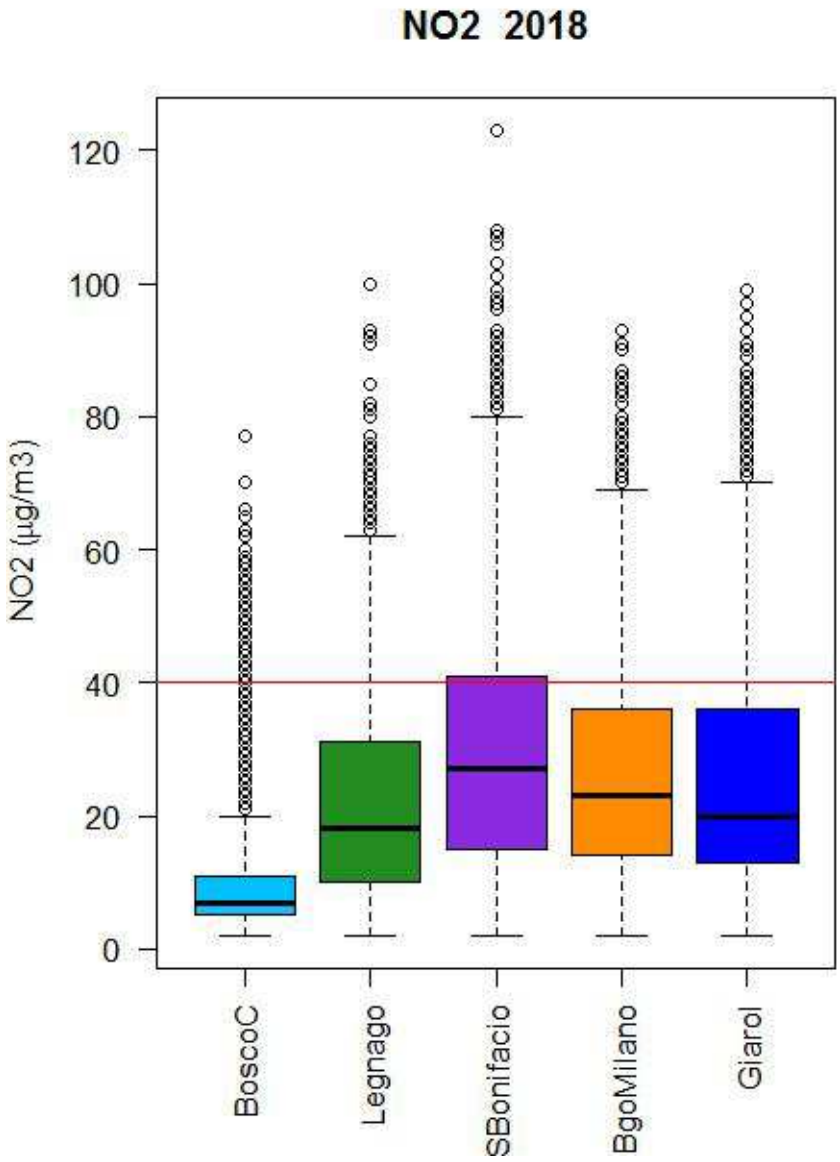


Figura 3. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di NO_2 (µg/m^3) nel 2018, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

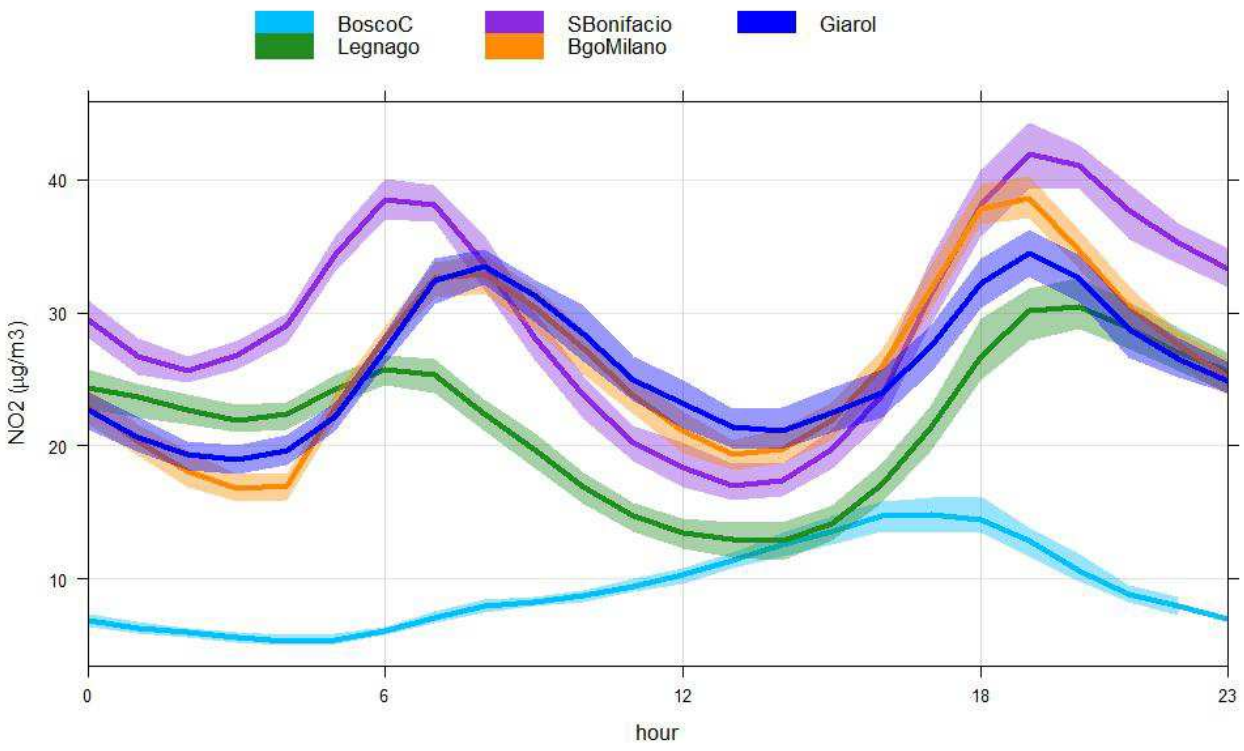


Figura 4. Giorno tipo della concentrazione di NO_2 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura, nel 2018. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

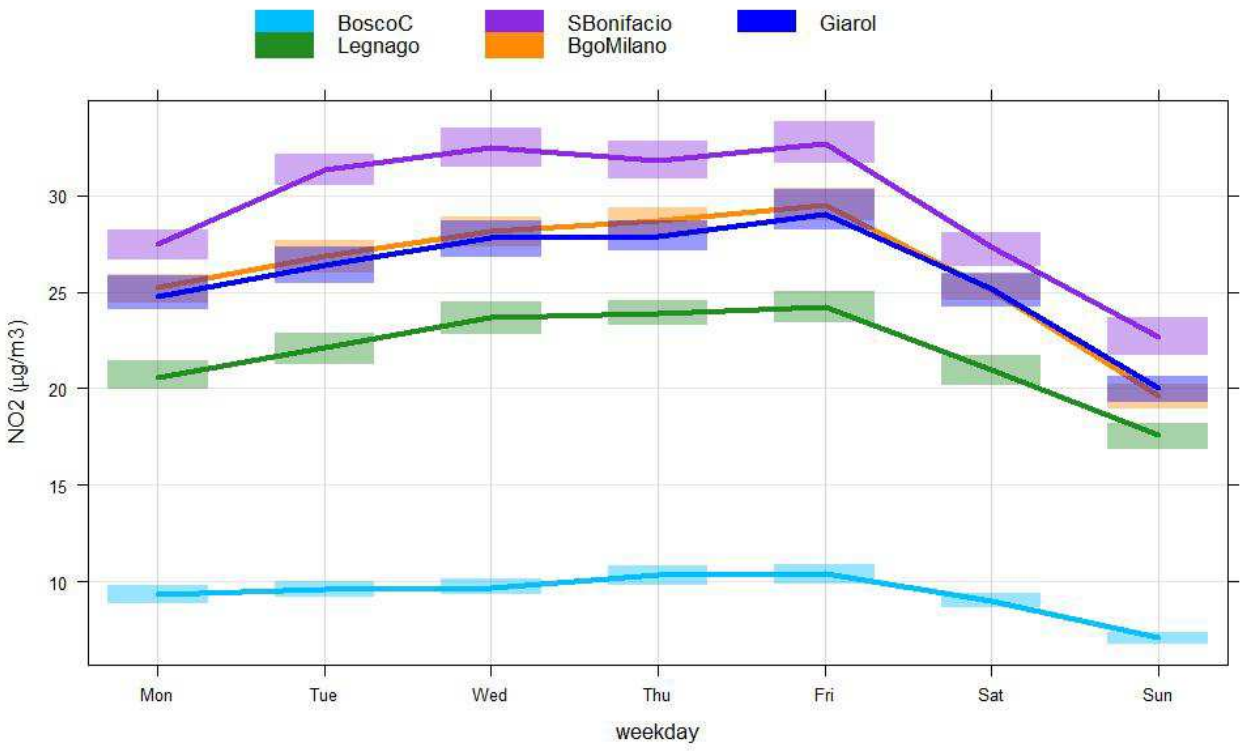


Figura 5. Settimana tipo della concentrazione di NO_2 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura, nel 2018. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

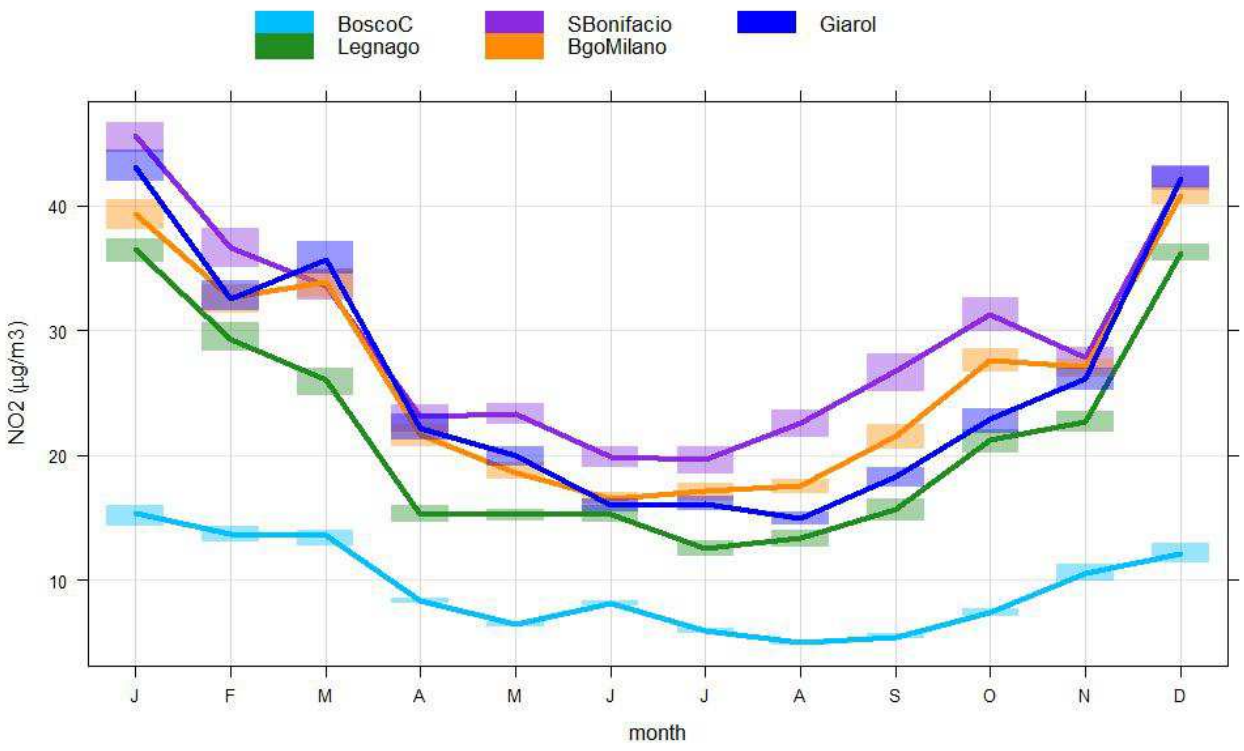


Figura 6. Medie mensili della concentrazione di NO_2 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura, nel 2018. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

5.2 Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio (CO), viene rilevato dalle stazioni della rete regionale di qualità dell'aria di VR–Borgo Milano (traffico urbano) e Bosco Chiesanuova (fondo rurale).

I valori medi e massimi di concentrazione di CO sono molto bassi (tabella 9), se si tiene conto che il limite di rilevabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m^3. I valori medi delle due stazioni sono confrontabili e quelli massimi più elevati si trovano a VR-Giarol, e sono comunque di un ordine di grandezza inferiori al limite normativo di 10 mg/m^3.

CO (mg/m^3)	Bosco Chiesanuova	VR-Borgo Milano
media	0.3	0.3
sd	0.1	0.2
min	<0.1	<0.1
max	0.7	1.6
N ore	8760	8760
data.capture	98	99
N superamenti 10 mg/m^3	0	0

Tabella 9. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di CO (mg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona nel 2018. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m^3.

5.3 Biossido di zolfo (SO_2)

Il biossido di zolfo (SO_2), viene rilevato dalle stazioni della rete regionale di qualità dell'aria di Verona-Borgo Milano (traffico urbano) e Bosco Chiesanuova (fondo rurale).

In tabella 10 si vede che i valori medi di SO_2 sono molto bassi presso tutte le stazioni, inferiori al limite di rilevabilità dello strumento di misura, pari a 3 µg/m^3. Tuttavia, ci sono degli episodi in cui i valori orari risultano più elevati, come evidente dai valori dei massimi, riportati in tabella 10.
Tutti i valori sono ampiamente inferiori ai limiti legislativi di 125 µg/m^3 (limite di 24 ore) e 350 µg/m^3 (limite orario), come anche al livello critico per la protezione della vegetazione, di 20 µg/m^3.

SO_2 (µg/m^3)	BoscoC	VR-BgoMilano
media	<3	<3
sd	1	1
min	<3	<3
max	10	9
N ore	8760	8760
data.capture	96	96
N superamenti 350 (µg/m^3)	0	0
N superamenti 125 (µg/m^3)	0	0

Tabella 10. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di SO_2 (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona nel 2018. "N superamenti 350 (µg/m^3)" indica il numero di ore in cui la concentrazione media di SO_2 è stata superiore al limite di 350 µg/m^3; "N superamenti 125 (µg/m^3)" indica il numero di ore in cui la concentrazione media di SO_2 è stata superiore al limite di 125 µg/m^3. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 3 µg/m^3.

5.4 Ozono (O_3)

La concentrazione di ozono è rilevata dalle stazioni della rete provinciale di qualità dell'aria di Verona-Giarol , Bosco Chiesanuova, Legnago e San Bonifacio.

L'ozono è un inquinante che si forma a partire da precursori quali ossidi di azoto e composti organici volatili (sia di origine antropica sia di origine biogenica), in presenza di radiazione solare. Per questo motivo le sue concentrazioni sono particolarmente elevate durante il periodo estivo (figura 10) e nelle ore centrali della giornata, (figura 8), quando la radiazione solare è più intensa. In particolare, nel 2018, il mese più critico è stato luglio (figura 10).

Il valore medio più elevato si trova a Bosco Chiesanuova (figura 7 e tabella 11) ed è decisamente superiore rispetto a quello relativo alle altre stazioni. Oltre a questo, l'andamento della concentrazione di ozono si discosta nettamente da quello delle altre postazioni: la diminuzione della concentrazione nelle ore notturne è molto meno marcata (figura 8), come anche la variazione nel corso dell'anno (figura 10) e durante la settimana (figura 9). Questo comportamento è tipico delle stazioni situate al di sopra dei 900 m di altitudine slm, lontane da fonti di pressione ambientale. Qui, la concentrazione di precursori biogenici dell'ozono è maggiore rispetto zone di pianura, dove invece prevalgono i precursori di origine antropogenica. D'altra parte, nelle zone di fondo remoto, è bassa la concentrazione di altri inquinanti, come gli ossidi di azoto: questo impedisce la reazione di combinazione di ozono e ossido di azoto, che comporterebbe la rimozione dell'ozono, come avviene invece nelle aree urbane di pianura. E' per questo che, nella parte superiore dello strato mescolato, a un'altezza compresa tra i 1000 e i 2000 metri di quota, tende a formarsi una sorta di riserva di ozono, la cui concentrazione media rimane pressoché stabile durante la giornata. In queste zone, inoltre, i livelli di ozono sono influenzati dai fenomeni di trasporto di masse d'aria inquinate dalla pianura a opera delle brezze locali, che nelle ore diurne portano l'aria inquinata della pianura verso la montagna, o di altri tipi di circolazione a più larga scala, come gli eventi di Foehn. Infine, particolari condizioni atmosferiche determinano episodi più rari indicati come "intrusioni stratosferiche", in cui masse di aria stratosferica, ricche di ozono, penetrano in troposfera, comportando un aumento della concentrazione di questo inquinante su larga scala.

Nel corso dell'anno 2018, non ci sono stati superamenti della soglia di allarme di 240 µg/m^3, livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata. La soglia di informazione di 180 µg/m^3, oltre la quale vi è rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per i gruppi sensibili della popolazione, è invece stata superata presso tutte le stazioni in cui avviene il monitoraggio (tabella 11). Al superamento di questa soglia, è necessario comunicare al pubblico una serie dettagliata di informazioni inerenti il luogo, l'ora del superamento, le previsioni per la giornata successiva e le precauzioni da seguire per minimizzare gli effetti di tale inquinante. Tali informazioni sono disponibili nelle pagine web del sito www.arpa.veneto.it.

Anche il limite di 120 µg/m^3, relativo al massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di ozono, è stato superato presso tutte le stazioni. Questo valore rappresenta l'obiettivo per la protezione della salute umana. Esso non deve essere superato per più di 25 giorni all'anno, come media negli ultimi 3 anni. Si ritiene che concentrazioni di ozono che rispettino questo obiettivo non causino effetti nocivi diretti sulla salute umana. Questo limite, in base all'analisi dei dati a partire dal 2016, è stato superato presso tutte le stazioni.

Il valore obiettivo per la protezione della vegetazione, si esprime attraverso l'indice AOT40, che rappresenta la somma delle ore in cui la concentrazione media di ozono ha superato i 120 µg/m^3, tra maggio e luglio, nel periodo del giorno compreso tra le ore 8 e le ore 20: il valore medio dell'AOT40 su 5 anni non deve superare il valore 18000 h*µg/m^3. Esso viene calcolato per le stazioni di fondo rurale, finalizzate alla valutazione dell'esposizione alla vegetazione: nel caso della provincia di Verona l'AOT40 è valutato a Bosco Chiesanuova, dove supera il valore obiettivo.

O_3 (µg/m^3)	BoscoC	Legnago	San Bonifacio	Verona-Giarol
media	80	51	43	52
sd	30	42	41	42
min	<4	<4	<4	<4
max	184	190	190	198
N ore	8760	8760	8760	8760
data.capture	98	98	96	98
N superamenti O_3 media 8h 120 µg/m^3 (in giorni)	81	84	69	70
AOT40 (µg/m^{3}h)	34828	34423	29927	32248
N superamenti dei 180 µg/m^3 (in ore)	3	2	5	8
N superamenti dei 240 µg/m^3 (in ore)	0	0	0	0

Tabella 11. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di O_3 (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona nel 2018. "AOT40" (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb) è un parametro definito come somma delle concentrazioni orarie eccedenti gli 80 µg/m^3, considerando i valori orari di ozono registrati dalle 8.00 alle 20.00 (ora solare) nel periodo compreso tra il 1° maggio e il 31 luglio. "N superamenti dei 180 (µg/m^3)" indica il numero di ore in cui la concentrazione media oraria di O_3 è stata superiore alla soglia di informazione di 180 µg/m^3. "N superamenti dei 240 (µg/m^3)" indica il numero di ore in cui la concentrazione media oraria di O_3 è stata superiore alla soglia di allarme di 240 µg/m^3.

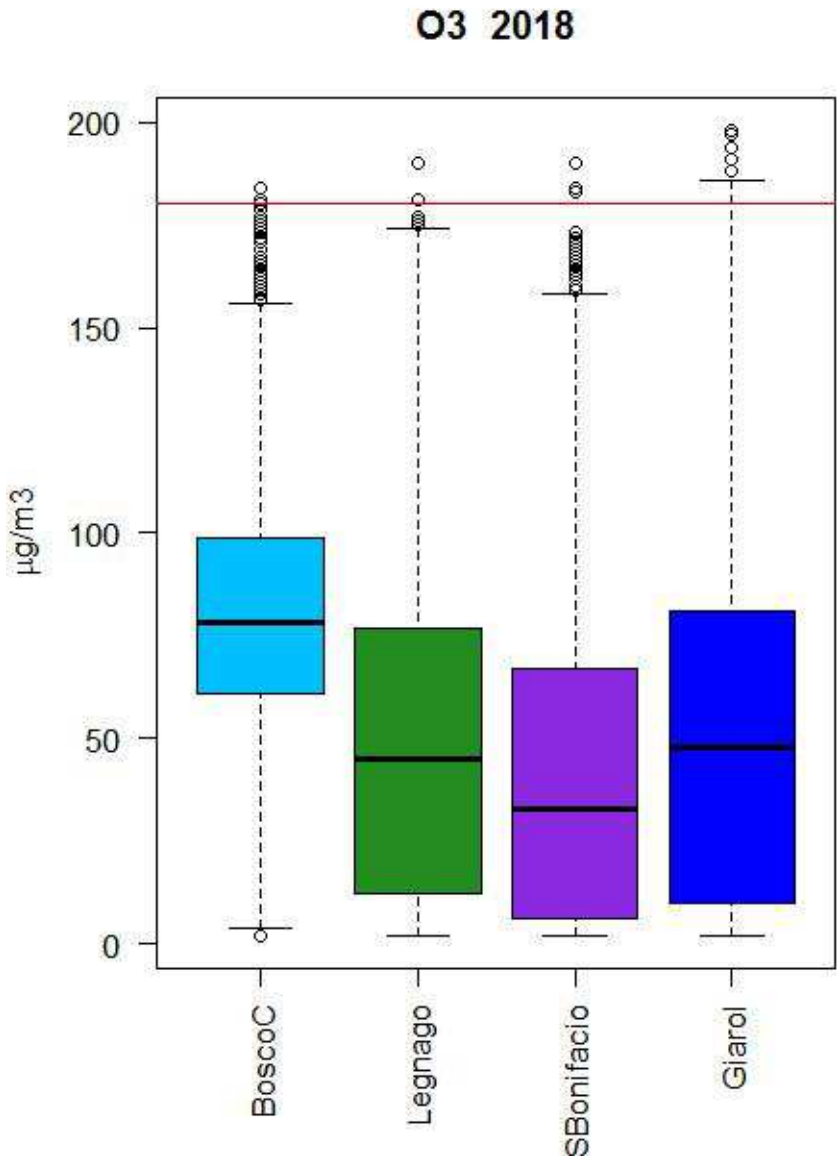


Figura 7. Box-Whisker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di O_3 (µg/m^3) nel 2018, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

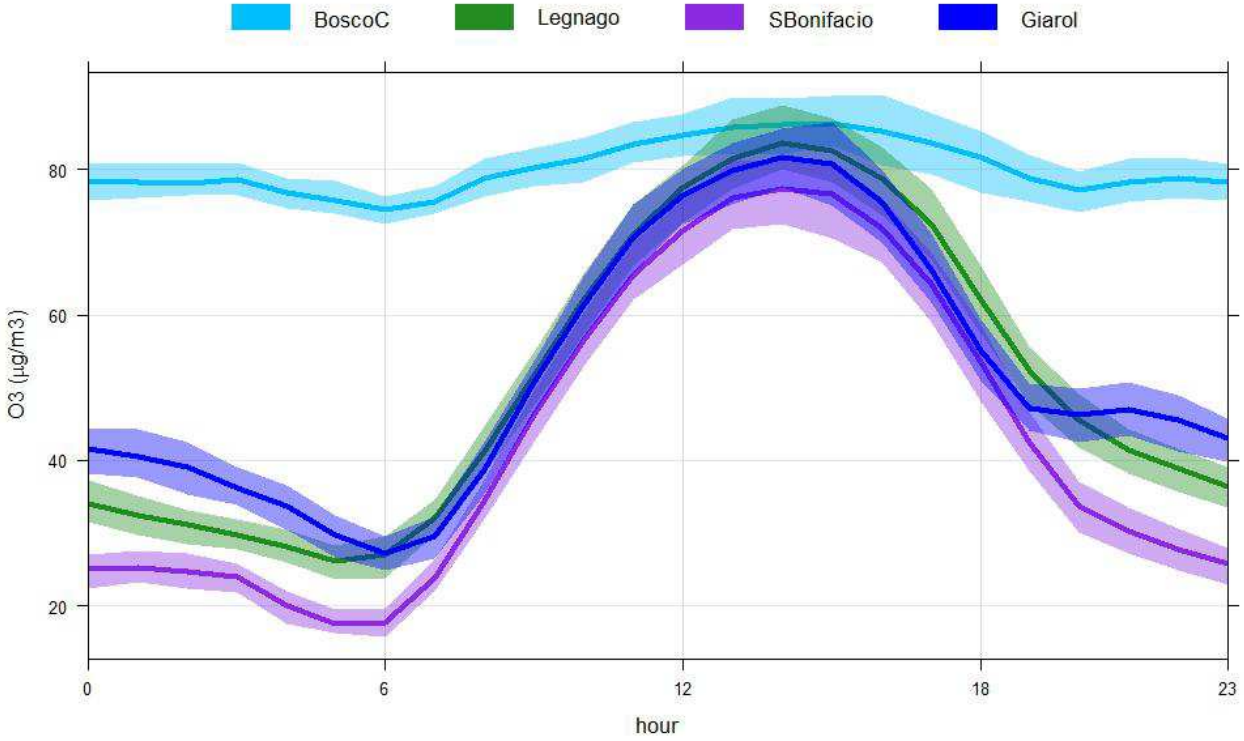


Figura 8. Giorno tipo per la concentrazione di O_3 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura nel 2018. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media. Il dato delle ore 3 di Bosco Chiesanuova è anomalo perché quasi sempre a quest'ora avviene la taratura dello strumento.

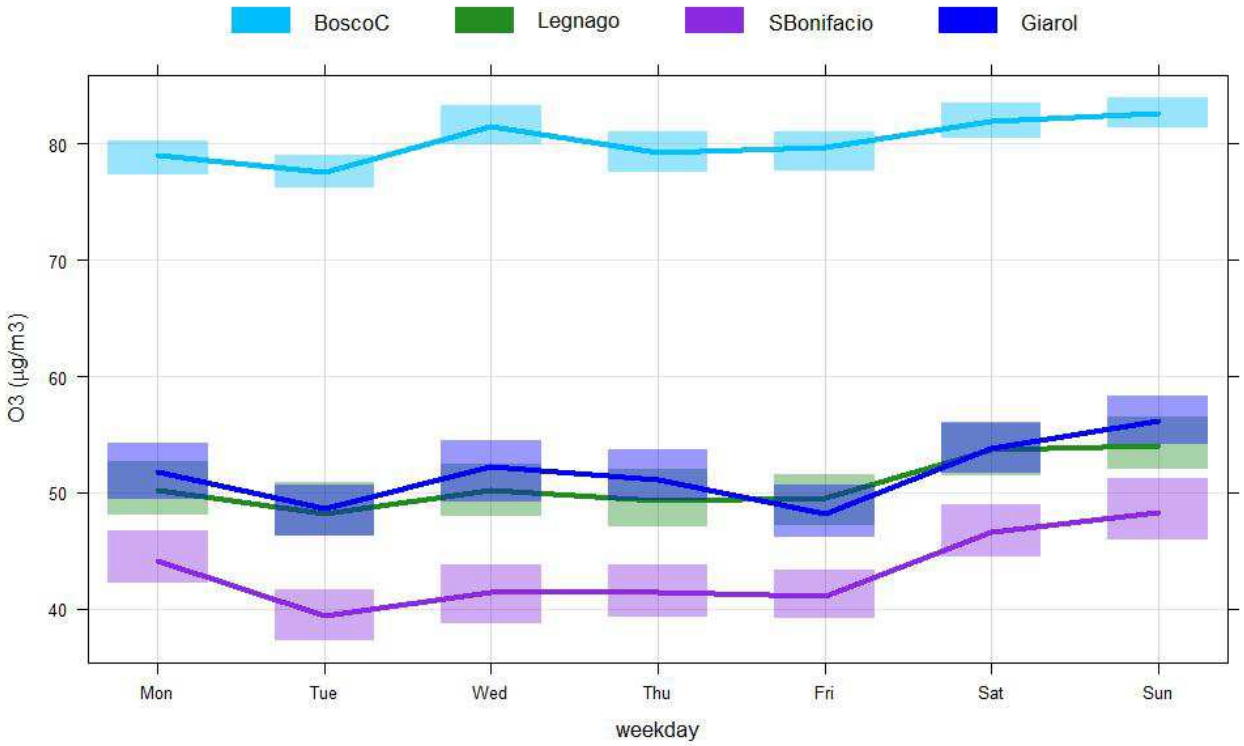


Figura 9. Settimana tipo per la concentrazione di O_3 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura nel 2018. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

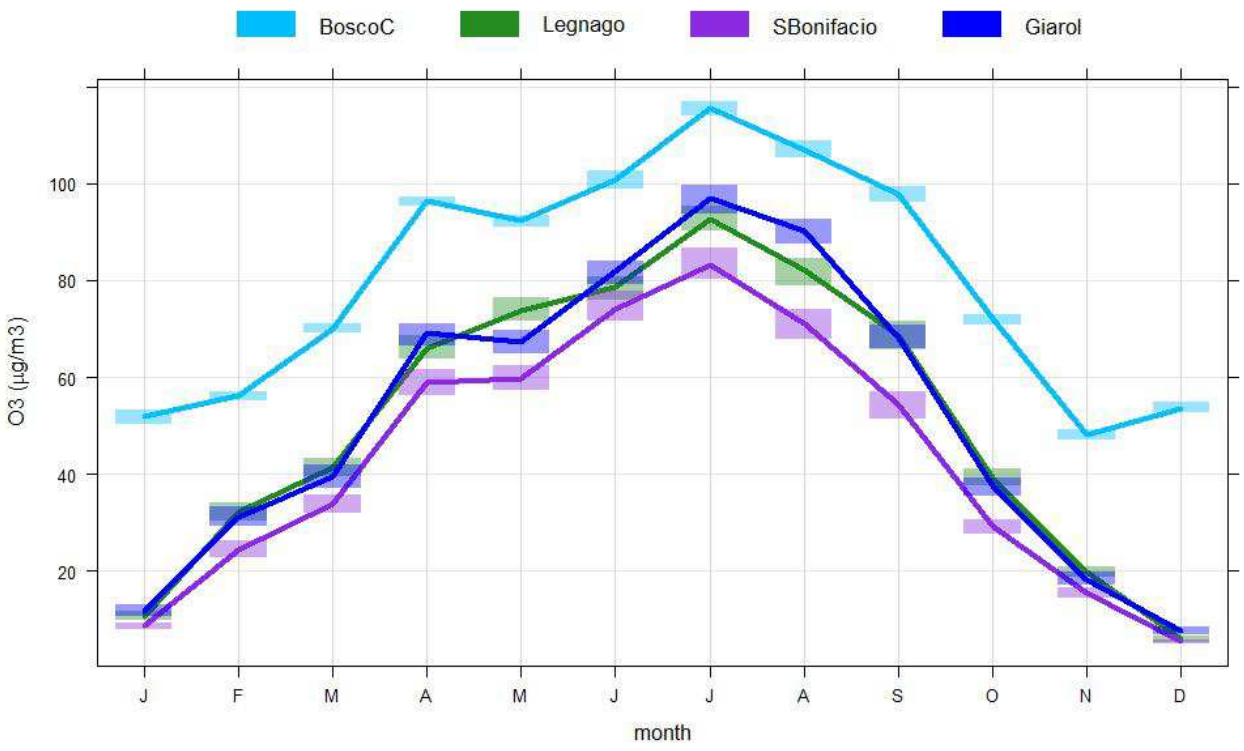


Figura 10. Medie mensili della concentrazione di O_3 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura nel 2018. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

5.5 PM_{10}

Le concentrazioni di PM_{10} sono rilevate dalle stazioni di Verona-Borgo Milano, Verona-Giarol, San Bonifacio e Bosco Chiesanuova, come dato medio giornaliero. A Legnago la misurazione ha frequenza bioraria. Presso le stazioni di Bosco Chiesanuova e San Bonifacio, sono disponibili anche i dati orari di PM_{10} misurato con metodo ottico.

Le polveri sottili sono un inquinante ubiquitario, in particolare nelle zone a intensa attività umana, essendo per buona parte (tra il 60 e l'80%) di natura secondaria e avendo lunghi tempi di permanenza in atmosfera: la loro distribuzione è quindi abbastanza uniforme su vaste aree. Infatti, come si può notare osservando i parametri statistici riportati in tabella 12 e rappresentati graficamente in figura 11, la concentrazione media annua è simile in tutte le stazioni di pianura. Solo nel sito di fondo rurale di Bosco Chiesanuova il valore medio di concentrazione è significativamente più basso. I valori massimi, invece, possono essere molto diversi da stazione a stazione, e a VR-Borgo Milano si trovano quelli più elevati.
In tutte le stazioni della pianura (Legnago, San Bonifacio, Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol) è stato superato il numero massimo di giornate (35 in un anno) in cui il valor medio giornaliero della concentrazione di PM_{10} ha superato i 50 µg/m^3; a Bosco Chiesanuova il numero dei superamenti è stato inferiore. Il valore medio annuo non supera il limite annuale di 40 µg/m^3 in nessuna delle stazioni.
I dati biorari di PM_{10} di Legnago e quelli orari dei misuratori ottici di San Bonifacio sono stati utilizzati per produrre il grafico del giorno tipo, rappresentato in figura 12. E' evidente come nelle stazioni di pianura (Legnago e San Bonifacio) le concentrazioni più basse si trovino nelle ore centrali della giornata, quando è maggiore il rimescolamento dell'aria nello strato atmosferico più vicino alla superficie terrestre, grazie al riscaldamento del sole e ai moti convettivi che come conseguenza si instaurano.

Il grafico di figura 13 riporta la settimana tipo della concentrazione di PM_{10} per le diverse centraline. E' evidente che i valori più elevati si trovano nella seconda parte della settimana, in particolare il venerdì, e diminuiscono nel fine settimana e il lunedì, probabilmente per un effetto di accumulo degli inquinanti durante la settimana, e la diminuzione delle emissioni nel fine settimana.

Il grafico delle medie mensili, riportato in figura 14, evidenzia come le concentrazioni più elevate di polveri si misurino nei mesi invernali, quando le condizioni meteorologiche sono meno favorevoli alla dispersione degli inquinanti, e sono frequenti le inversioni termiche superficiali, che determinano un aumento della concentrazione al suolo. Fa eccezione la stazione di Bosco Chiesanuova, per la quale i valori medi hanno una variazione limitata durante l'anno.

PM10 (µg/m^3)	Bosco Chiesanuova	Legnago	San Bonifacio	VR-Borgo Milano	VR-Giarol
Media	16	30	30	31	31
Sd	8	16	16	18	15
min	2	2	4	2	2
max	55	92	96	103	99
N superamenti 50 (µg/m^3)	1	45	41	44	37
n giorni campionati	351	362	347	355	358
data.capture	96	99	95	97	98

Tabella 12. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM_{10} (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona. "N superamenti 50 (µg/m^3)" indica il numero di giorni in cui è stato superato il limite di 50 µg/m^3. In giallo sono evidenziate le stazioni in cui tale limite è stato superato per un numero di volte superiore a 35, che è il limite indicato dalla normativa.

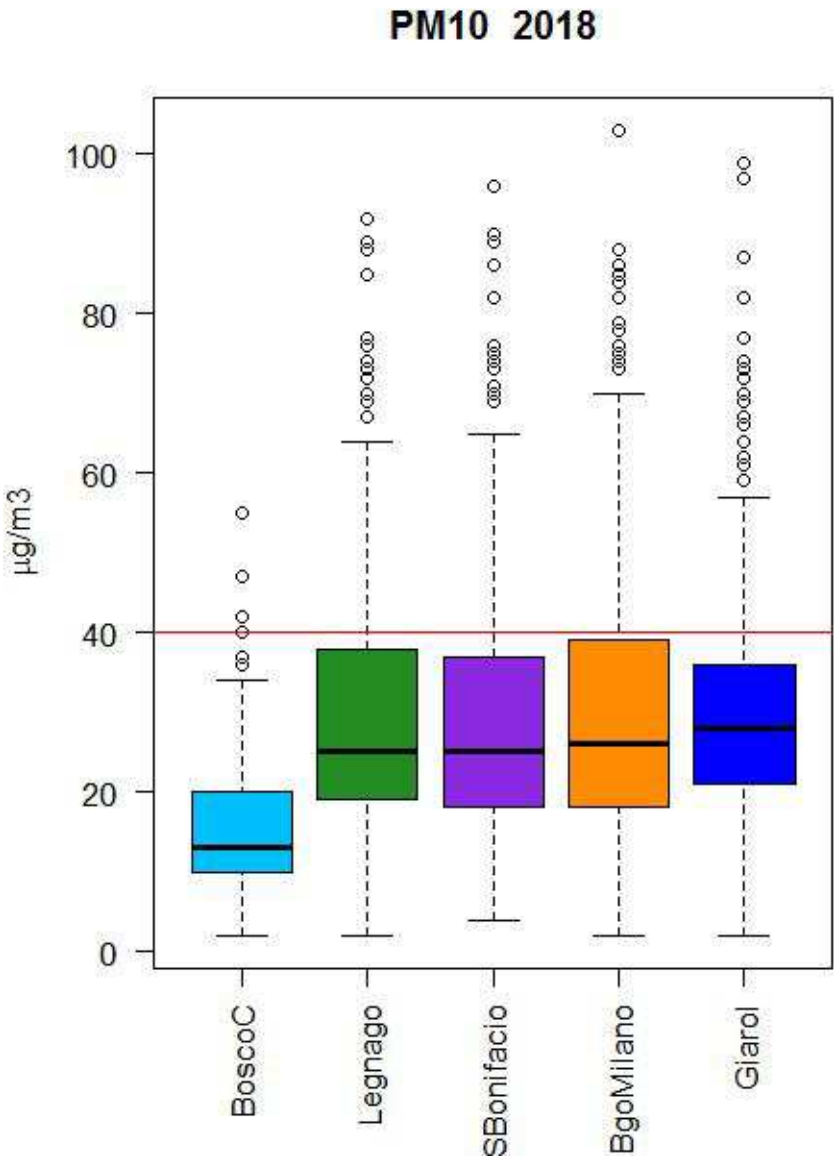


Figura 11. Box-Whisker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di PM_{10} ($\mu g/m^3$) nel 2018, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

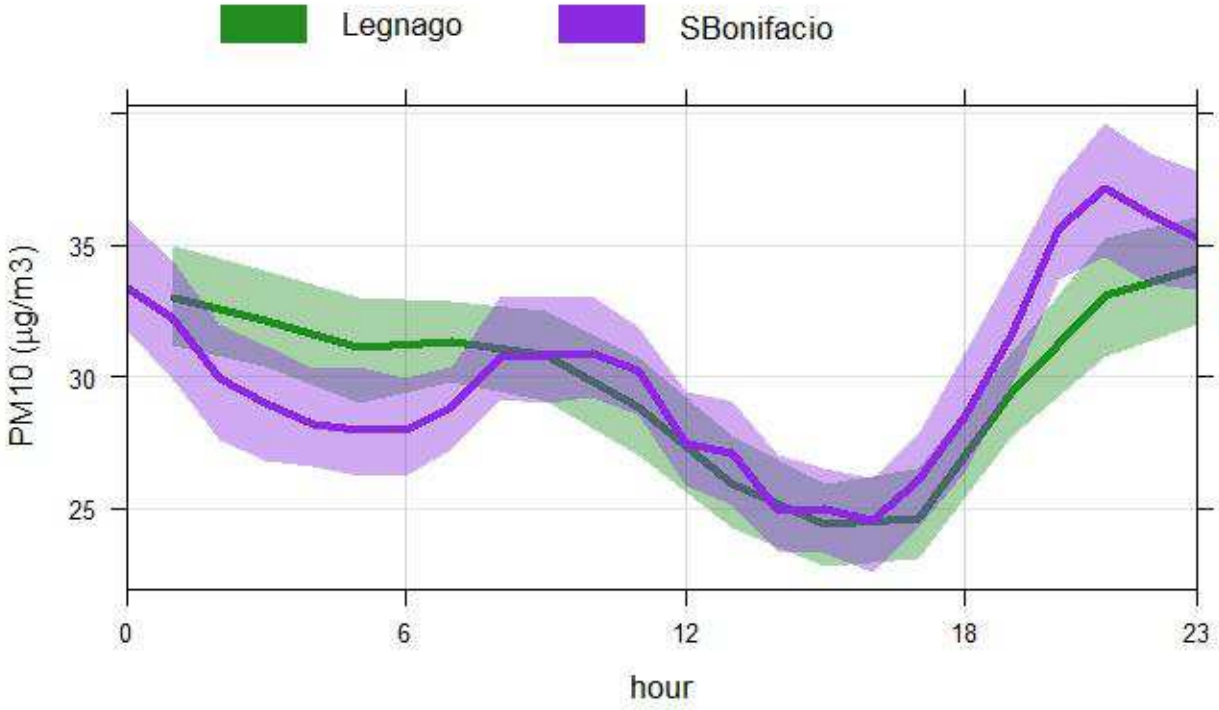


Figura 12. Giorno tipo della concentrazione di PM_{10} (µg/m^3), ottenuto a partire dai dati biorari della stazione di Legnago e dai dati orari del misuratore ottico della stazione di San Bonifacio, nel 2018. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

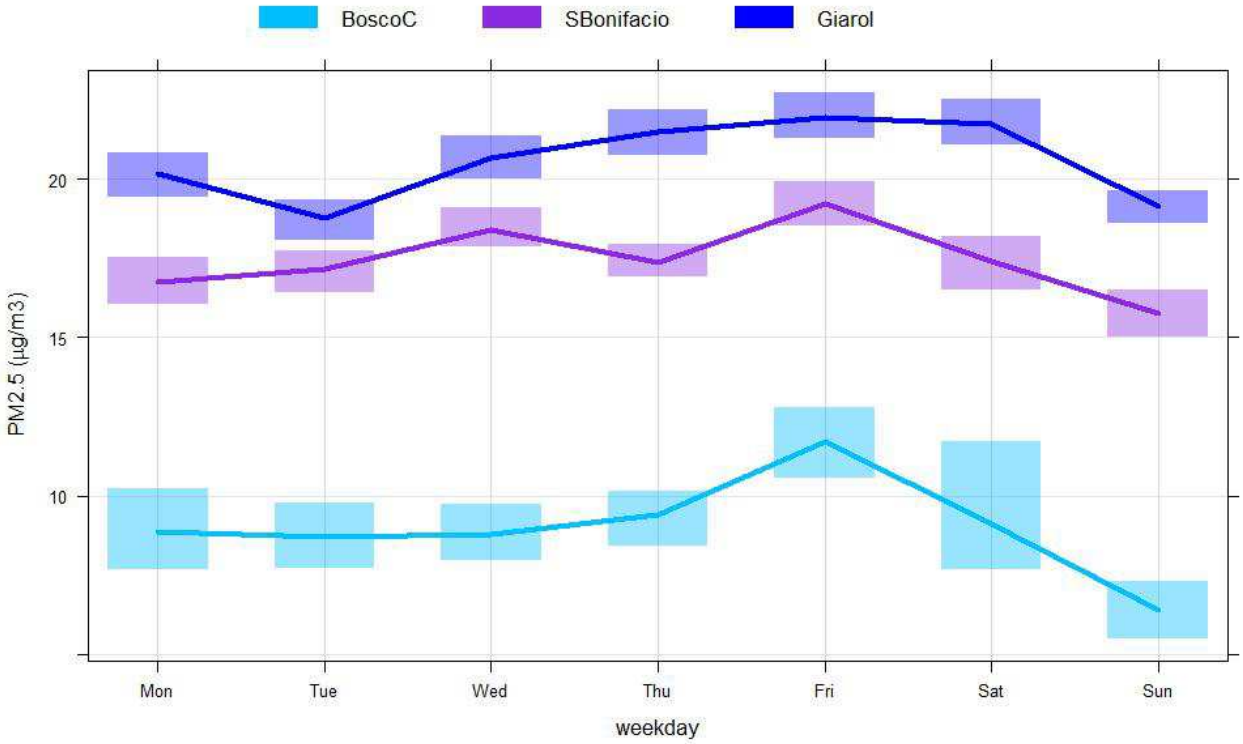


Figura 13. Settimana tipo della concentrazione di PM_{10} (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura, nel 2018. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

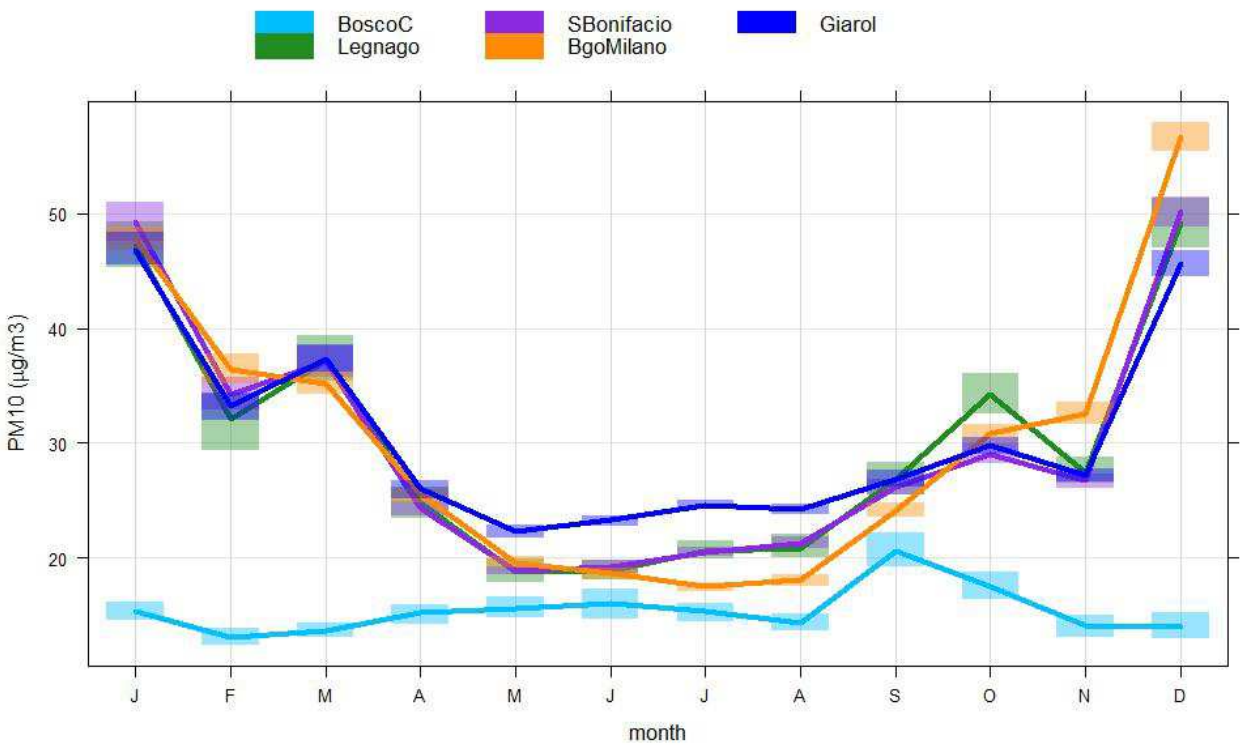


Figura 14. Medie mensili della concentrazione di PM_{10} (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura, nel 2018. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media

5.6 $PM_{2.5}$

Il $PM_{2.5}$ è misurato nella stazione di Verona-Giarol. Presso la stazione di San Bonifacio sono disponibili i dati orari di $PM_{2.5}$ misurato con metodo ottico.
Il $PM_{2.5}$ di Verona -Giarol, nel 2018, ha rappresentato mediamente il 65% del PM_{10} totale nella stessa postazione. Anche in questo caso, come per il PM_{10}, i valori massimi sono stati raggiunti nei mesi invernali, quando le condizioni meteorologiche sono state più favorevoli all'aumento della concentrazione di questo inquinante (non mostrato).
Il limite di 25 $\mu g/m^3$ sulla media annua non è stato superato in nessuna stazione.

PM2.5 ($\mu g/m^3$)	**Verona-Giarol**	**San Bonifacio**
media	21	17
sd	13	11
min	<4	<4
max	80	61
N superamenti 25 ($\mu g/m^3$)	17	64
N giorni campionati	357	336
data.capture	98	92

Tabella 13. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona. "N superamenti 25 ($\mu g/m^3$)" indica il numero di giorni in cui è stato superato il limite di 25 $\mu g/m^3$. Il limite di rivelabilità dello strumento è 4$\mu g/m^3$.

5.7 Benzene

La concentrazione di benzene è stata misurata con due modalità: le fiale a carboni attivi e i campionatori passivi. La prima è la tecnica di riferimento, i cui risultati possono essere utilizzati per un confronto con i limiti normativi; essa è stata utilizzata solo nella postazione di traffico urbano di Verona-Borgo Milano. I campionatori passivi sono stati utilizzati a Legnago, San Bonifacio, Verona-Giarol e presso un ulteriore punto di misura posizionato in Verona-Corso Milano: con questa tecnica di campionamento, la cattura dell'inquinante avviene per diffusione molecolare della sostanza attraverso il campionatore (radiello), e non richiede quindi l'impiego di un dispositivo per l'aspirazione dell'aria. I dati ottenuti dai rilevamenti effettuati con tecnica di campionamento passivo non possono essere confrontati direttamente con i limiti di legge ma costituiscono ugualmente un riferimento indicativo, utile per il confronto tra diverse postazioni.

Per quanto riguarda le misure ottenute con le fiale in Verona-Borgo Milano, si osserva in tabella 14 che il valor medio annuale di benzene, per il 2018, è stato uguale al limite di rivelabilità strumentale (0,5 µg/m^3), e quindi non è stato superato il limite normativo di 5 µg/m^3. Il valor medio di concentrazione di benzene ottenuto col metodo di campionamento di riferimento delle fiale è inferiore al corrispondente, ottenuto con le misure indicative tramite campionatori passivi nella stessa postazione (0.9 µg/m^3).

Anche i valori medi di concentrazione di benzene ottenuti tramite campionatori passivi presso altre stazioni sono inferiori al limite annuale di 5 µg/m^3.

In figura 15 è riportato l'andamento della concentrazione di benzene nei vari mesi dell'anno. Si evidenziano valori più elevati in inverno e più bassi in estate, quando sono vicini al limite di rivelabilità strumentale di 0.5 µg/m^3. Questo andamento può essere spiegato da una maggiore diluizione degli inquinanti durante l'estate, quando lo strato limite[1] ha una altezza mediamente maggiore rispetto all'inverno, a causa del maggior riscaldamento della superficie terrestre. Nella stessa figura 15 si osserva anche che le misure effettuate con i campionatori passivi, sono sempre superiori a quelle fatte con le fiale nella stessa postazione di Verona-Borgo Milano.

Benzene (µg/m^3)	VR-Giarol CP	VR-BgoMilano CP	VR-CsoMilano CP	Legnago CP	SBonifacio CP	VR-BgoMilano Fiale
media	0.6	0.9	0.8	0.8	1.0	0.5
N	9	11	11	11	12	53
sd	0.5	0.9	0.7	0.8	1.0	0.5
max	1.6	2.8	1.8	2.9	3.3	2.7
min	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Tabella 14. Valori medi annuali di concentrazione di benzene (µg/m^3) nelle diverse postazioni di misura della provincia di Verona. Il limite di rivelabilità dello strumento è 0.5 µg/m^3. Il campionamento è avvenuto in tutti i punti di misura tramite campionatori passivi (CP); a Verona-Borgo Milano (ultima colonna) sono state utilizzate anche delle Fiale.

[1] Strato di atmosfera vicino alla superficie terrestre, all'interno del quale rimangono confinati gli inquinanti emessi al suo interno.

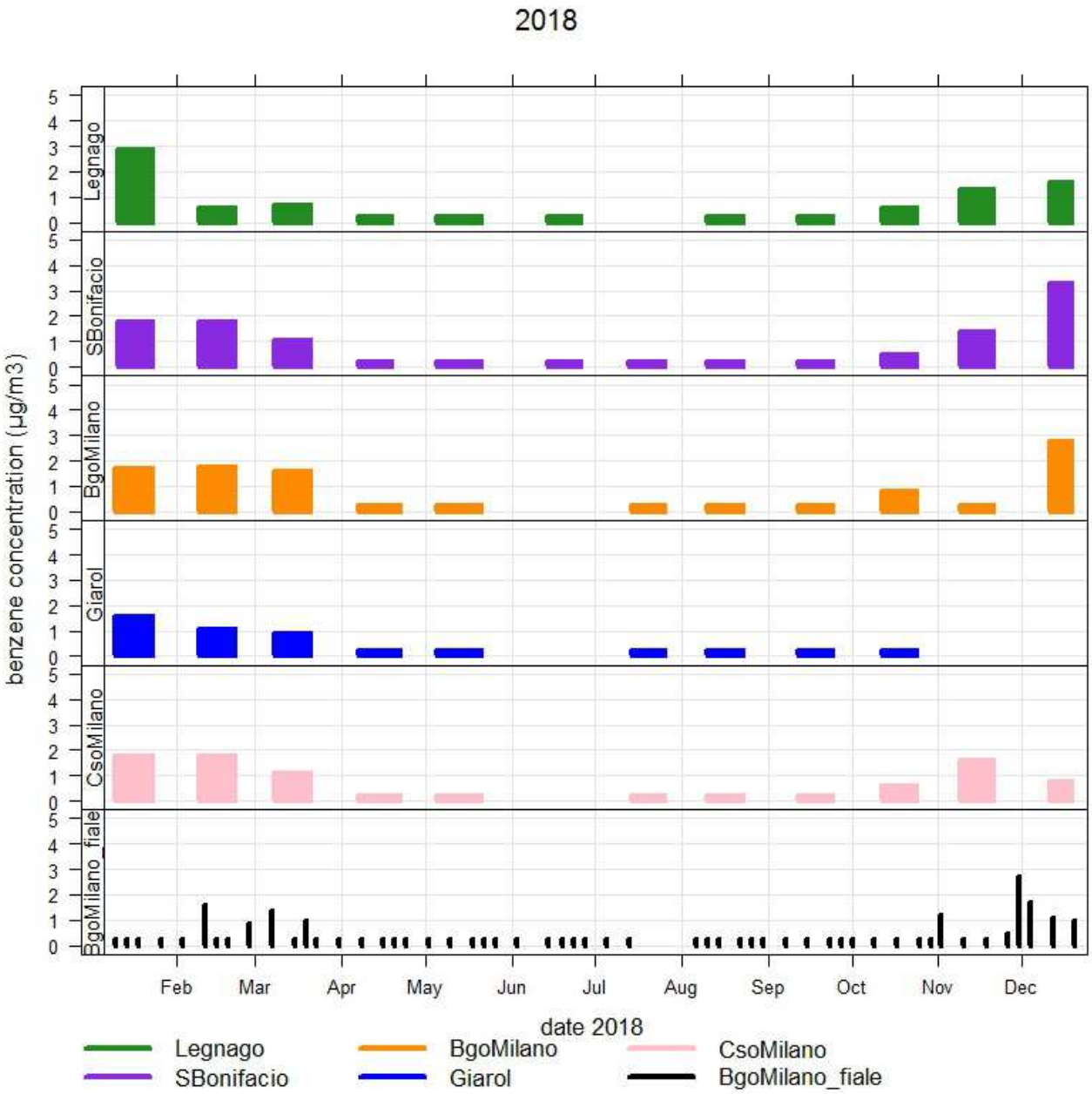


Figura 15. Serie temporali della concentrazione di benzene (µg/m^3) misurata a presso le varie postazioni della provincia di Verona, con campionatori passivi. E' riportata anche la serie temporale della stessa concentrazione misurata a Verona-Borgo Milano con fiale adsorbenti, in nero.

5.8 IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici)

In tabella 15 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione degli idrocarburi policiclici aromatici misurati a Verona-Giarol e a Bosco Chiesanuova. La concentrazione media di benzo(a)pirene non supera il valore obiettivo di 1 ng/m^3 in nessuna delle due località. I valori di Verona-Giarol sono superiori a quelli di Bosco Chiesanuova.

La variabilità di questo inquinante durante l'anno è rappresentata in figura 16: i valori più elevati sono misurati in inverno, mentre in estate le concentrazioni sono di poco superiori al limite di rivelabilità strumentale (0.02 ng/m^3), in entrambe le stazioni. Il grafico evidenzia che a Verona-Giarol, durante l'inverno, sono stati misurati valori giornalieri anche elevati, se confrontati con il limite legislativo, che però è riferito alla media annuale.

La variabilità stagionale della concentrazione di benzopirene è legata a più fattori. Il primo , come per altri inquinanti quali ossidi di azoto e polveri sottili, è legato alla meteorologia: la maggiore altezza dello strato mescolato durante i mesi estivi e la conseguente maggiore diluizione da un lato e la ridotta dispersione verticale per la presenza di inversioni termiche superficiali in inverno dall'altro. Il secondo è legato alle maggiori emissioni di questa specie chimica nel periodo invernale, essendo esse prevalentemente legate al riscaldamento domestico attraverso la combustione di biomassa. Infine, a basse temperature, aumenta la percentuale di questa specie chimica in fase solida, rispetto a quella su fase gassosa[2].

	Bosco Chiesanuova							
(ng/m^3)	**Benzoan-tracene**	**Benzoa pirene**	**Benzobflu orantene**	**Benzoghip erilene**	**Benzokfluor antene**	**Crisene**	**Dibenzoah antracene**	**Indeno123c dpirene**
N	132	132	132	132	132	132	132	85
media	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.3	<0.02	0.3
sd	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	<0.02	0.3
max	1.2	1.2	1.1	1.1	0.6	1.4	0.1	0.9
min	<0.02	<0.02	0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02
	Verona-Giarol							
(ng/m^3)	**Benzoant racene**	**Benzoa pirene**	**Benzobflu orantene**	**Benzoghip erilene**	**Benzokfluor antene**	**Crisene**	**Dibenzoah antracene**	**Indeno123c dpirene**
N	133	133	133	133	133	133	133	101
media	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.4	0.1	0.5
sd	0.5	0.6	0.6	0.6	0.3	0.5	0.1	0.6
max	1.6	2.7	2.7	2.2	1.3	2.1	0.4	2.2
min	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02

Tabella 15. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione (ng/m^3) di vari idrocarburi policiclici aromatici a Verona-Giarol e a Bosco Chiesanuova. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.02 ng/m^3.

[2] Yamasaki, H., Kuwata, K. & Miyamoto, H. Effects of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. Environ. Sci. Technol. 16, 189–194 (1982)

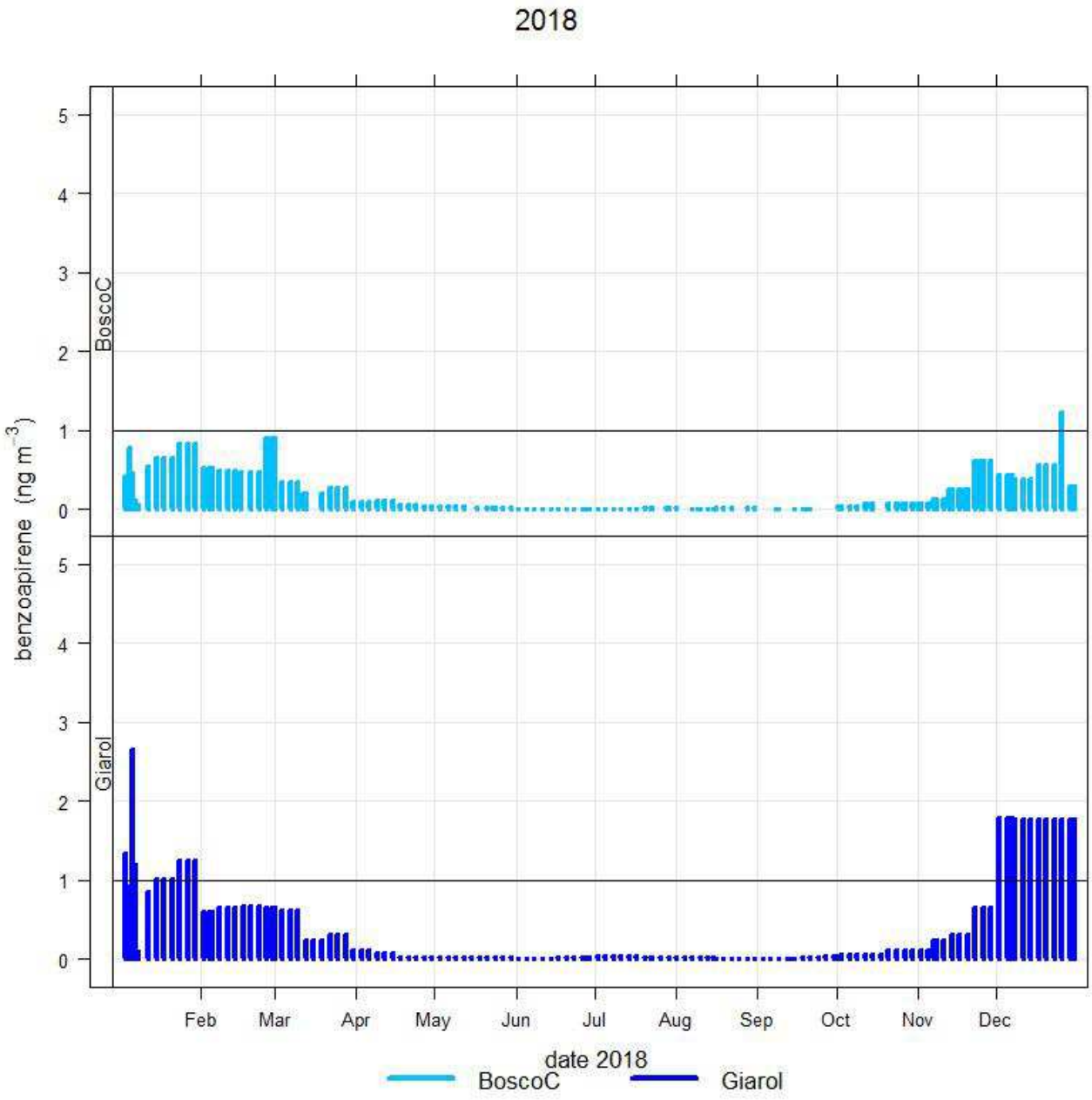


Figura 16. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di Benzo(a)pirene (ng/m^3), per l'anno 2018, a Bosco Chiesanuova e a Verona-Giarol.

5.9 Metalli

I metalli sono stati misurati presso le stazioni di Verona-Giarol e Boscochiesanuova. Le specie considerate sono Arsenico, Cadmio, Nichel e Piombo.
In tabella 16 sono riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di metalli misurata a Verona-Giarol e a Bosco Chiesanuova. Le concentrazioni rilevate sono ampiamente inferiori ai limiti di legge. I valori di concentrazione più elevati, anche per questi inquinanti, si trovano nei mesi invernali, ma sono comunque inferiori ai limiti legislativi.

Bosco Chiesanuova				
(ng/m^3)	**Arsenico**	**Cadmio**	**Nichel**	**Piombo**
media	<1.0	<0.2	<1.0	3.9
sd	0	0.0	0.4	2.1
min	<1.0	<0.2	<1.0	1.2
max	<1.0	0.2	1.5	11.1
N	65	65	65	65
Verona-Giarol				
(ng/m^3)	**Arsenico**	**Cadmio**	**Nichel**	**Piombo**
media	<1.0	<0.2	2.5	6.6
sd	0.2	0.1	1.2	3.4
min	<1.0	<0.2	1.1	2.9
max	1.8	0.4	6.5	15.6
N	64	64	64	64
Limite esposizione cronica	6.0	5.0	20.0	500.0
Limite di rivelabilità	1.0	0.2	1.0	1.0

Tabella 16. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione dei metalli (ng/m^3) misurata a Bosco Chiesanuova e Verona-Giarol.

6 Indice di qualità dell'aria

Un indice di qualità dell'aria è una grandezza che permette di rappresentare in modo sintetico lo stato di qualità dell'aria, tenendo conto contemporaneamente del contributo di più inquinanti atmosferici. L'indice utilizzato è associato una scala di 5 giudizi sulla qualità dell'aria come riportato nella figura 17.

Cromatismi	Qualità dell'aria
	Buona
	Accettabile
	Mediocre
	Scadente
	Pessima

Figura 17. Scala dei colori associati alle diverse "classi" di qualità dell'aria.

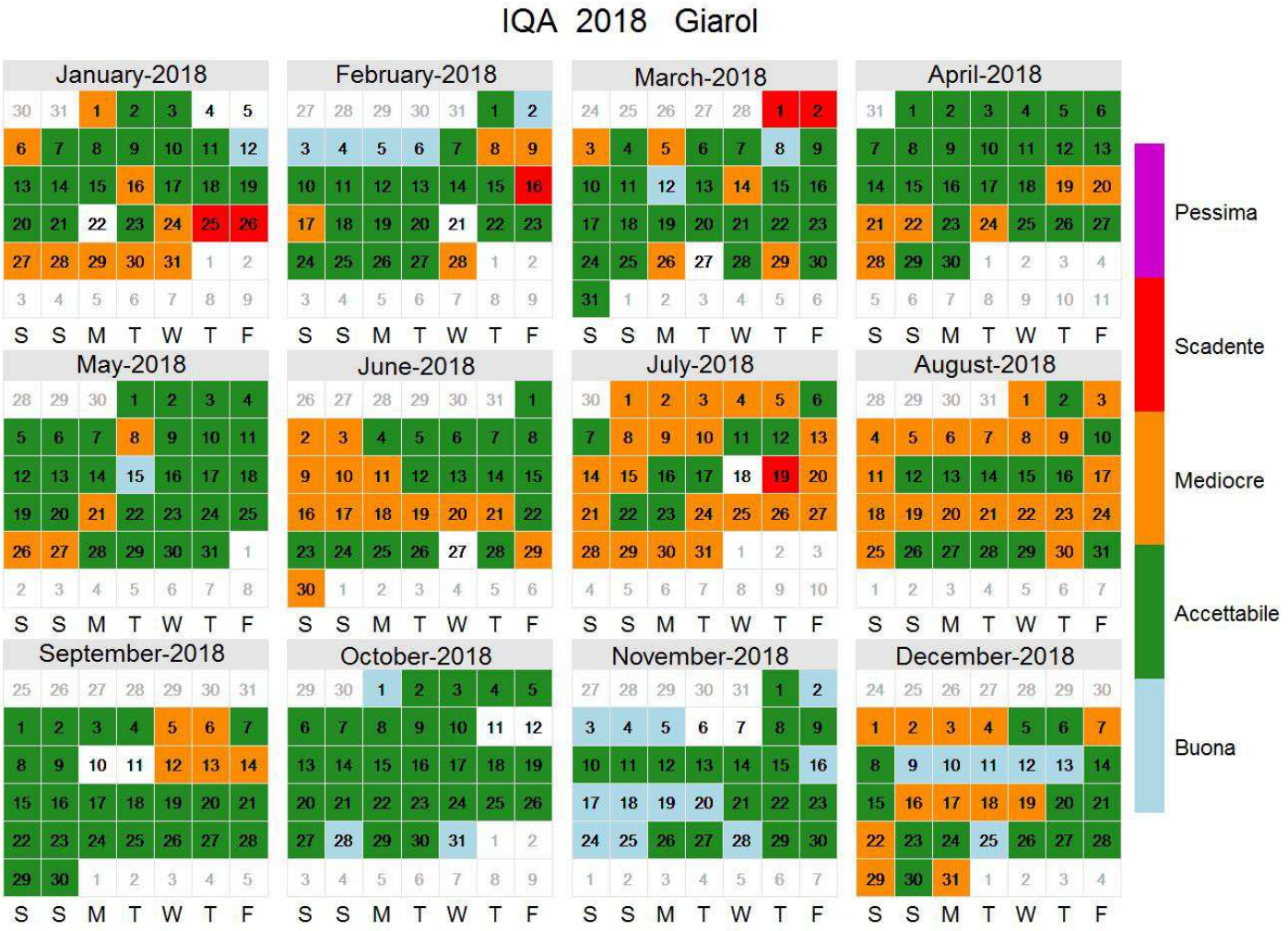
Il calcolo dell'indice, che può essere effettuato per ogni giorno di campagna, è basato sull'andamento delle concentrazioni di tre inquinanti: PM_{10}, biossido di azoto e ozono.

Le prime due classi (buona e accettabile) informano che per nessuno dei tre inquinanti vi sono stati superamenti dei relativi indicatori di legge e che quindi non vi sono criticità legate alla qualità dell'aria in una data stazione.
Le altre tre classi (mediocre, scadente e pessima) indicano invece che almeno uno dei tre inquinanti considerati ha superato il relativo indicatore di legge. In questo caso la gravità del superamento è determinata dal relativo giudizio assegnato ed è possibile quindi distinguere situazioni di moderato superamento da altre significativamente più critiche.

Per maggiori informazioni sul calcolo dell'indice di qualità dell'aria si può visitare la seguente pagina web: http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/iqa

In Figura 18 si riporta un grafico–calendario relativo a questo indice, calcolato per la stazione di misura della qualità dell'aria di Verona-Giarol. In Figura 19 è riportata una statistica di tale indice per tutto l'anno, per la stessa località. I mesi invernali più critici, a causa delle elevate concentrazioni di polveri sottili, sono stati gennaio, febbraio e marzo, quando si sono verificate cinque giornate con qualità dell'aria "Scadente": questo è accaduto in corrispondenza di situazioni meteorologiche in cui un anticiclone invernale ha interessato la nostra regione, causando periodi prolungati di inversione termica, che hanno favorito concentrazioni elevate degli inquinanti nello strato più superficiale dell'atmosfera. Anche a luglio e agosto la qualità dell'aria è stata prevalentemente mediocre, in una giornata anche scarsa, a causa delle elevate concentrazioni di ozono. In tutto l'anno 2018, sono state prevalenti le giornate con qualità dell'aria accettabile 60%; quelle con qualità buona sono state l'8%, quelle con qualità mediocre il 27% (figura 19). Invece, le giornate con qualità dell'aria scadente hanno rappresentato il 2% dell'intero anno. Nel complesso c'è stato un miglioramento rispetto all'anno 2017, soprattutto in virtù del minor numero di criticità nel periodo invernale.

In figura 21 è riportato il grafico della frequenza con cui si sono presentate le diverse classi di qualità dell'aria presso la stazione di Bosco Chiesanuova: nell'8% dei giorni la qualità è stata buona, nel 4% accettabile, nel 22% dei casi mediocre. Non ci sono state giornate con qualità dell'aria scadente o pessima. Dal grafico–calendario di figura 20 si nota che a Bosco Chiesanuova i mesi estivi sono caratterizzati da numerose giornate con qualità dell'aria mediocre a causa delle elevate concentrazioni di ozono.



- **Figura 18. Grafico-calendario relativo all'indice della qualità dell'aria calcolato in base ai dati registrati presso la stazione di Verona-Giarol nel 2018.**

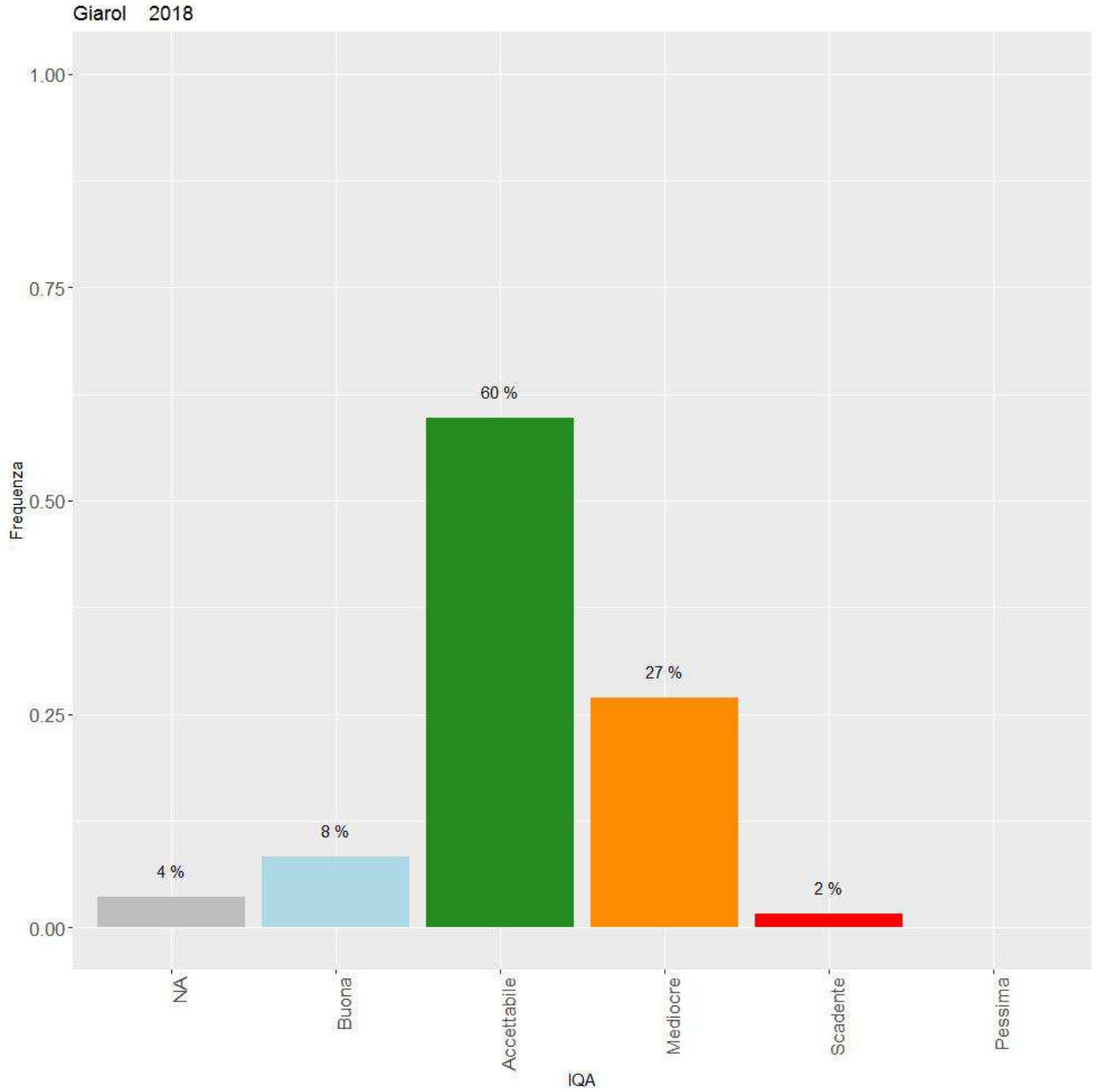
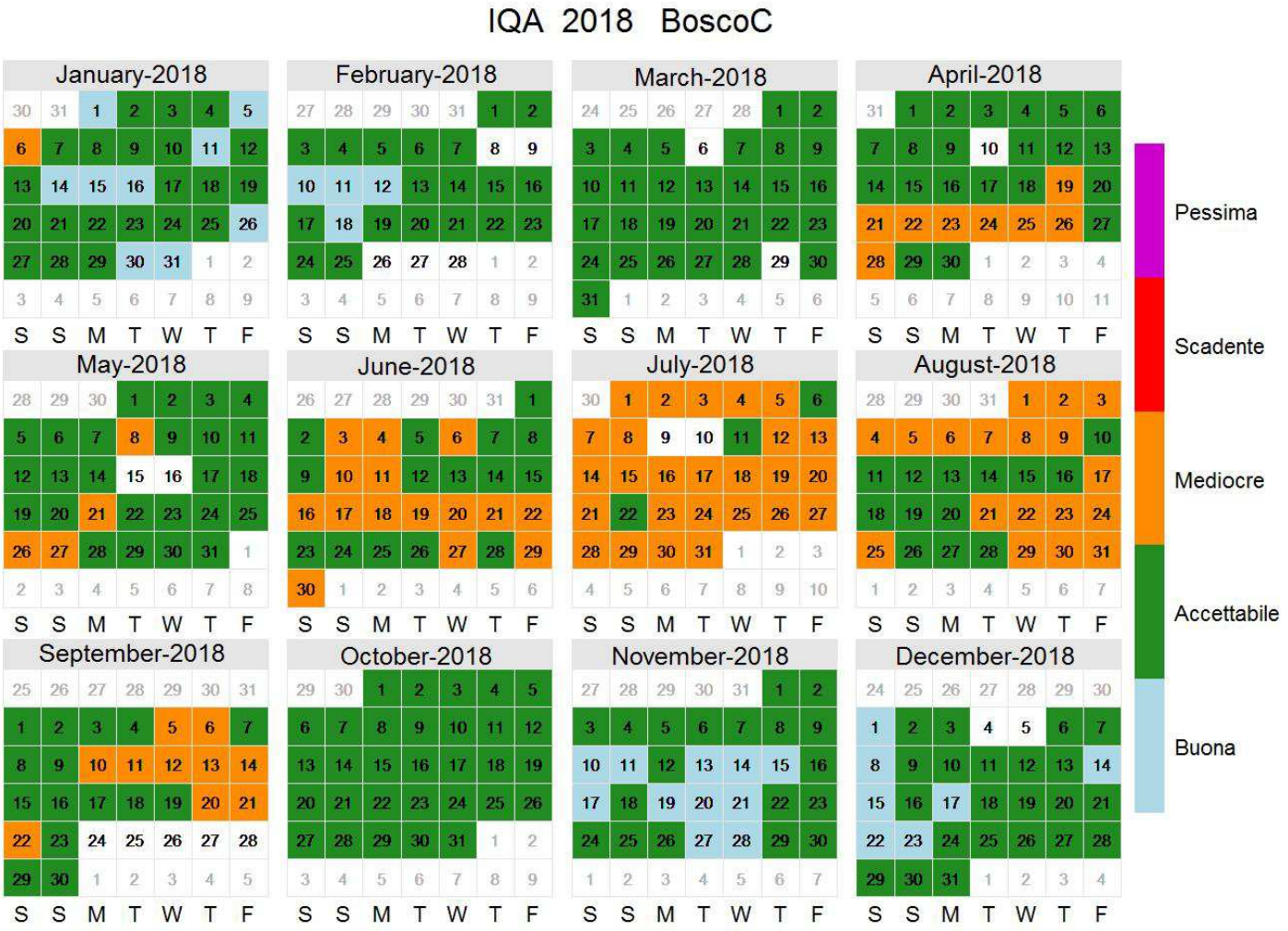


Figura 19. Frequenza delle giornate caratterizzate da diverso indice della qualità dell'aria. La frequenza relativa con cui una determinata classe si è presentata è riportato sopra la corrispondente barra. Dati relativi alla stazione di Verona-Giarol, anno 2018.



- **Figura 20. Grafico-calendario relativo all'indice della qualità dell'aria calcolato in base ai dati registrati presso la stazione di Bosco Chiesanuova nel 2018.**

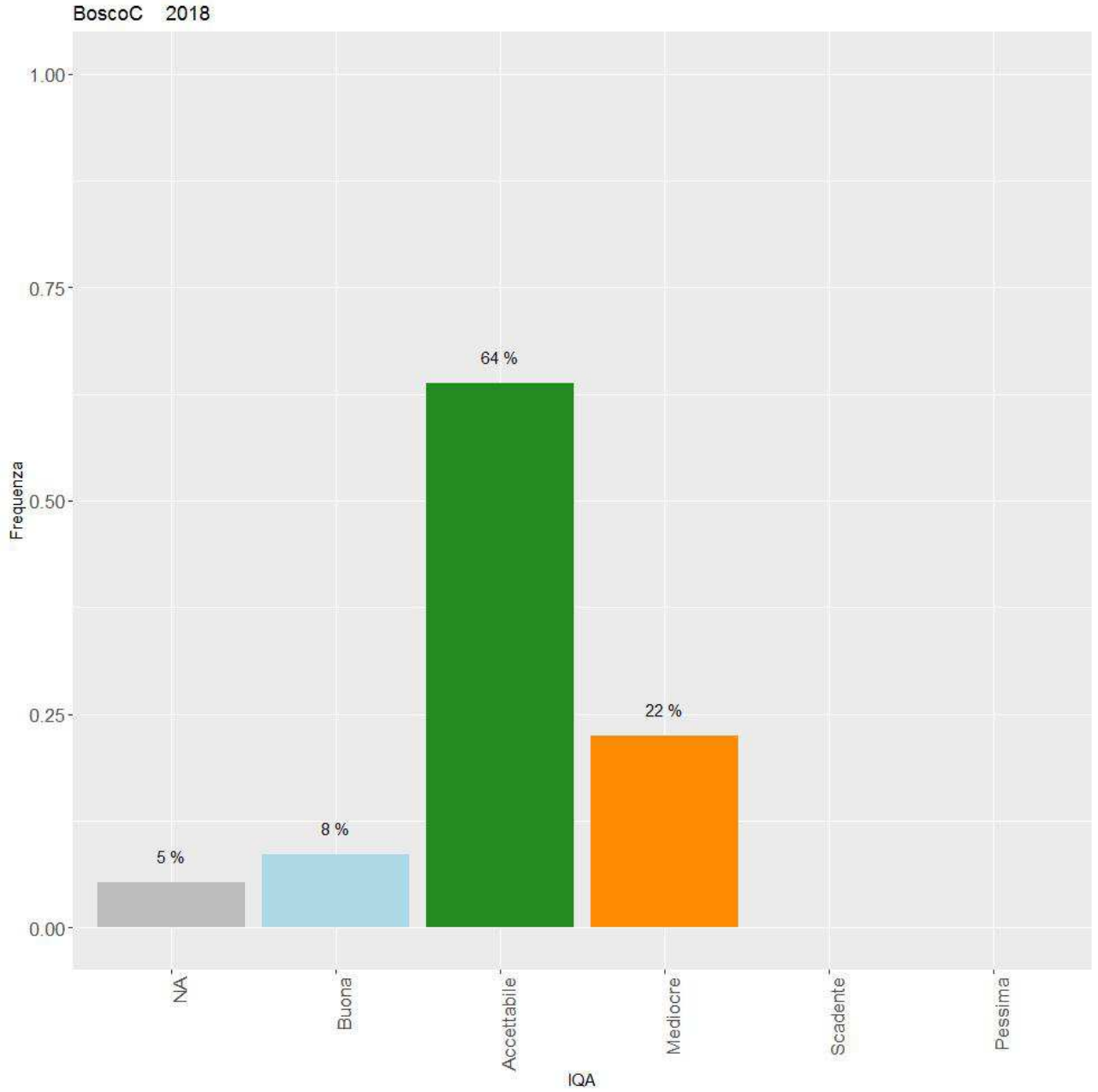


Figura 21. Frequenza delle giornate caratterizzate da diverso indice della qualità dell'aria. La frequenza relativa con cui una determinata classe si è presentata è riportato sopra la corrispondente barra. Dati relativi alla stazione di Bosco Chiesanuova.

7 Analisi dell'andamento interannuale dei principali inquinanti

La qualità dell'aria è determinata principalmente dall'entità delle emissioni di inquinanti in atmosfera e dalla meteorologia, in base alla quale si creano le condizioni per l'accumulo o la dispersione degli inquinanti. Il vento determina il rimescolamento e la dispersione degli inquinanti, la pioggia la loro deposizione per dilavamento. La persistenza di condizioni anticicloniche durante l'inverno favorisce la formazione di inversioni al suolo, cioè di uno strato di aria fredda e più densa vicino alla superficie terrestre, nel quale gli inquinanti si concentrano e si accumulano progressivamente. La presenza di uno strato freddo al suolo determina anche un maggior ricorso al riscaldamento domestico e quindi un ulteriore apporto di inquinanti da questa fonte emissiva. Al contrario, in estate, particolari situazioni meteorologiche possono causare periodi con temperature elevate, che favoriscono l'inquinamento fotochimico da ozono. Inoltre, in alcune situazioni sinottiche, può aver luogo un apporto da regioni limitrofe di aria con specifiche caratteristiche dal punto di vista della concentrazione di inquinanti. Questo vale in particolare per gli inquinanti di origine secondaria, come le polveri sottili e l'ozono, che permangono per lungo tempo in atmosfera: per la loro riduzione sono necessari, di conseguenza, piani di intervento su larga scala.

In questo capitolo viene esaminato l'andamento interannuale degli inquinanti più critici nella provincia di Verona: PM_{10}, ozono, ossidi di azoto, benzo(a)pirene. I valori medi e il numero di superamenti registrati nell'anno 2018 sono stati confrontati con quelli degli tredici anni precedenti (2005-2017).

In figura 22 è riportata la media annuale della concentrazione di PM_{10} a partire dal 2005 fino al 2018 per le diverse stazioni (ove disponibile). Si osserva una tendenza alla diminuzione della concentrazione media di PM_{10} presso tutte le stazioni della provincia. Sono visibili dei massimi locali negli anni 2011, 2015 e 2017, associabili alle condizioni meteorologiche, meno favorevoli alla dispersione degli inquinanti: la scarsa piovosità nei mesi invernali di quegli anni, associata alla scarsa ventilazione (dato non mostrato), è indice di queste condizioni meteo meno dispersive. La stessa tendenza è evidente in figura 23, che rappresenta, per lo stesso periodo, il numero di superamenti del limite di 50 $\mu g/m^3$ per il PM_{10}. Nel 2018 si è verificata una generale modesta diminuzione dei valori medi di PM10 e del numero di superamenti del limite giornaliero rispetto all'anno precedente (2017). Fa eccezione la stazione di Verona-Giarol, dove si registra un modesto aumento rispetto al 2017.

Le figure 26 e 27 si riferiscono al numero di superamenti dei due livelli indicati dalla normativa per la concentrazione di ozono: 180 $\mu g/m^3$ sulla media oraria e 120 $\mu g/m^3$ sul massimo della media mobile di 8 ore, rispettivamente. In entrambi i casi, non vi è una chiara tendenza, ma il numero varia di anno in anno, ed è influenzato prevalentemente dalle temperature estive. Nel 2018, il numero di superamenti della soglia di informazione di 180 $\mu g/m^3$ è stato inferiore a quello dell'anno precedente, in accordo con temperature estive mediamente più basse; per quanto riguarda invece il valore obiettivo di 120 $\mu g/m^3$, nelle stazioni di Legnago e Verona-Giarol il numero di superamenti è aumentato, mentre a BoscoChiesanuova e a San Bonifacio esso è diminuito.

Per quanto riguarda il biossido di azoto, è evidente una tendenza alla diminuzione nel periodo considerato, in tutte le stazioni della provincia, tranne a Verona-Giarol (Figura 26), in analogia con quanto evidenziato per la media annuale del PM10.

Il benzo(a)pirene misurato a Verona-Borgo Milano dal 2005 fino al 2012 ha mostrato una tendenza alla diminuzione (figura 27). Dal 2008 sono disponibili i dati di Verona-Cason. A Verona-Cason, tra il 2010 e il 2015, è stato registrato un aumento della concentrazione di questo inquinante. Nel 2016 la stazione di Verona-Cason è stata spostata a Verona-Giarol, dove le concentrazioni misurate sono state mediamente inferiori a quelle di Verona-Cason negli anni precedenti: tuttavia questo potrebbe essere legato alla diversa posizione della centralina. Infatti, questo inquinante è emesso dalla combustione incompleta di materiale organico, e la sua concentrazione potrebbe dipendere strettamente dalle fonti di pressione locali. Il dato del 2018 conferma però una tendenza alla diminuzione. A Bosco Chiesanuova, i dati sono disponibili dal 2013, e mostrano una leggera tendenza all'aumento fino al 2015, e successivamente una diminuzione, mantenendosi comunque sempre su valori molto bassi.

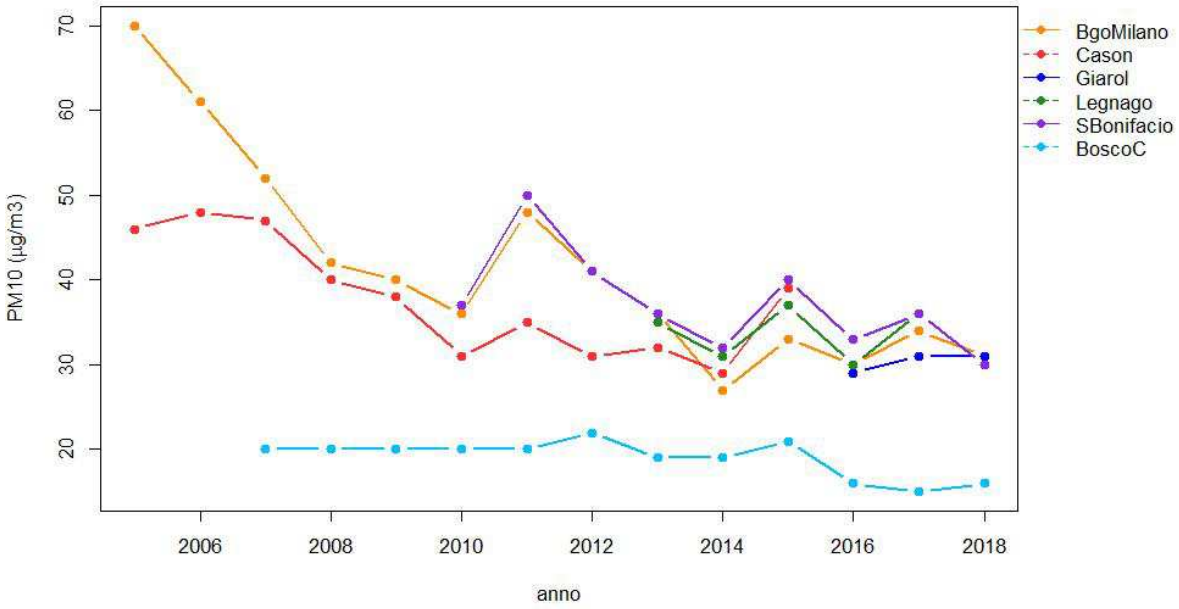


Figura 22. Valore medio della concentrazione di PM_{10} (µg/m^3) in varie stazioni della provincia di Verona. Evoluzione temporale nel periodo dal 2005 al 2018.

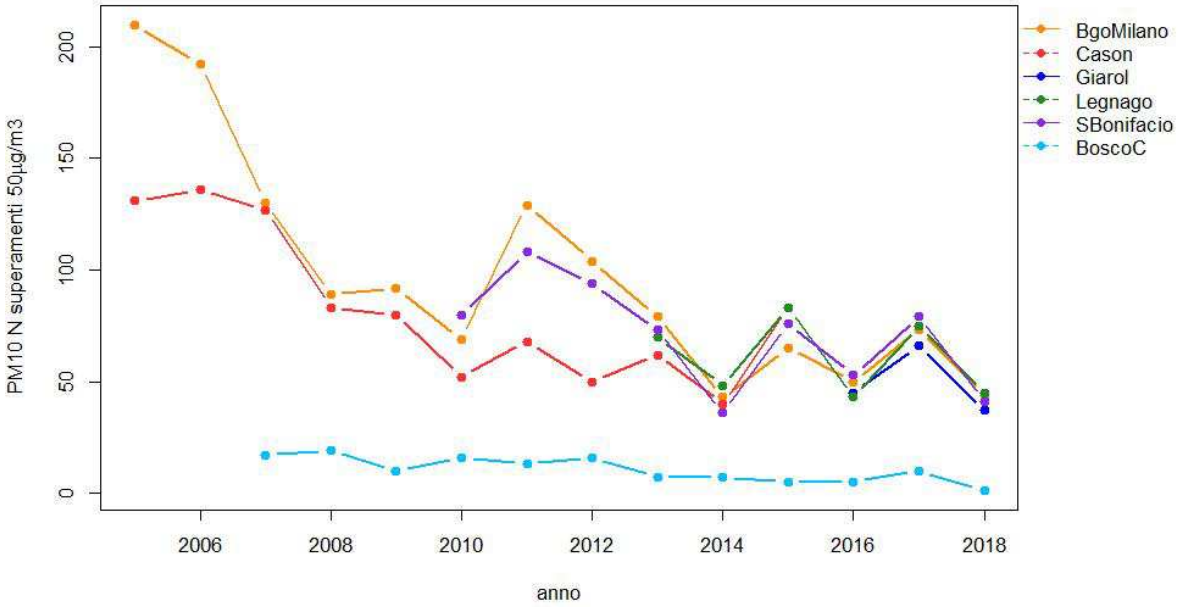


Figura 23. Numero di superamenti del limite di 50 µg/m^3 per la concentrazione di PM_{10} nelle stazioni della provincia di Verona. Evoluzione temporale nel periodo dal 2005 al 2018.

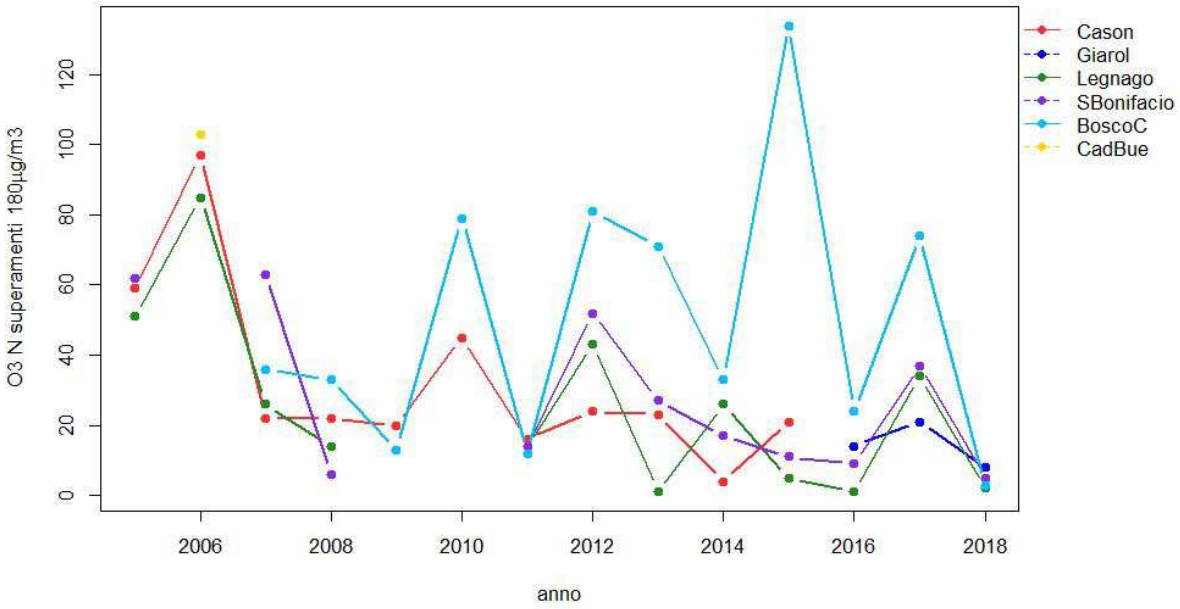


Figura 24. Numero di superamenti del valore obiettivo di 180 µg/m^3 per la concentrazione di ozono nelle stazioni della provincia di Verona. Evoluzione temporale nel periodo dal 2005 al 2018.

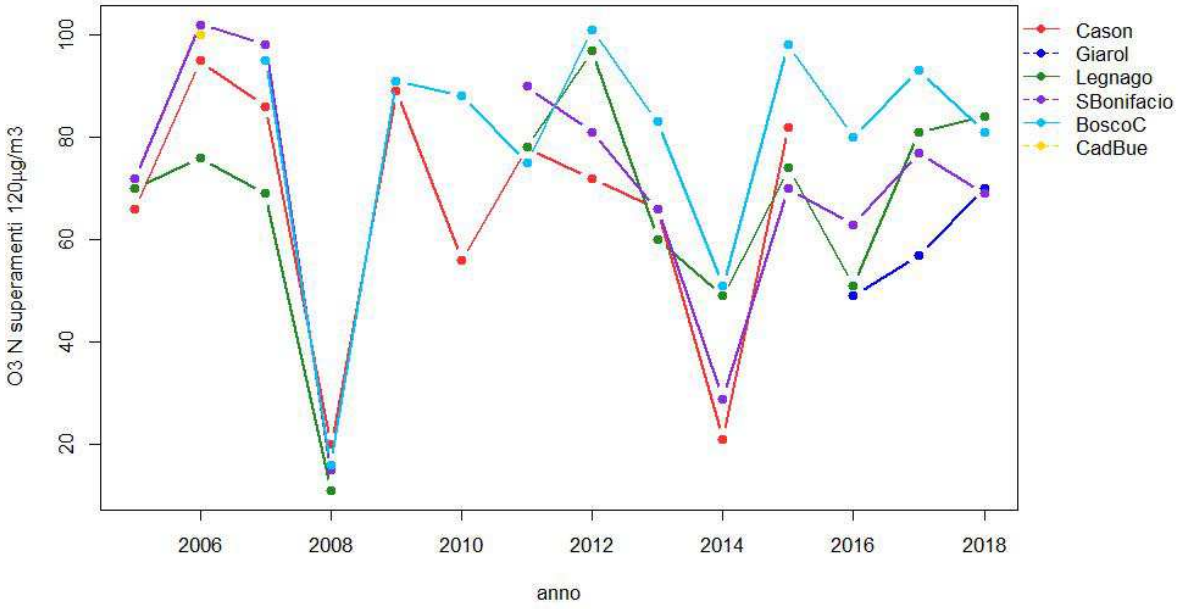


Figura 25. Numero di superamenti del valore obiettivo di 120 µg/m^3 per la concentrazione di ozono (limite applicato al massimo giornaliero della media mobile su 8 ore) nelle stazioni della provincia di Verona. Evoluzione temporale nel periodo dal 2005 al 2018.

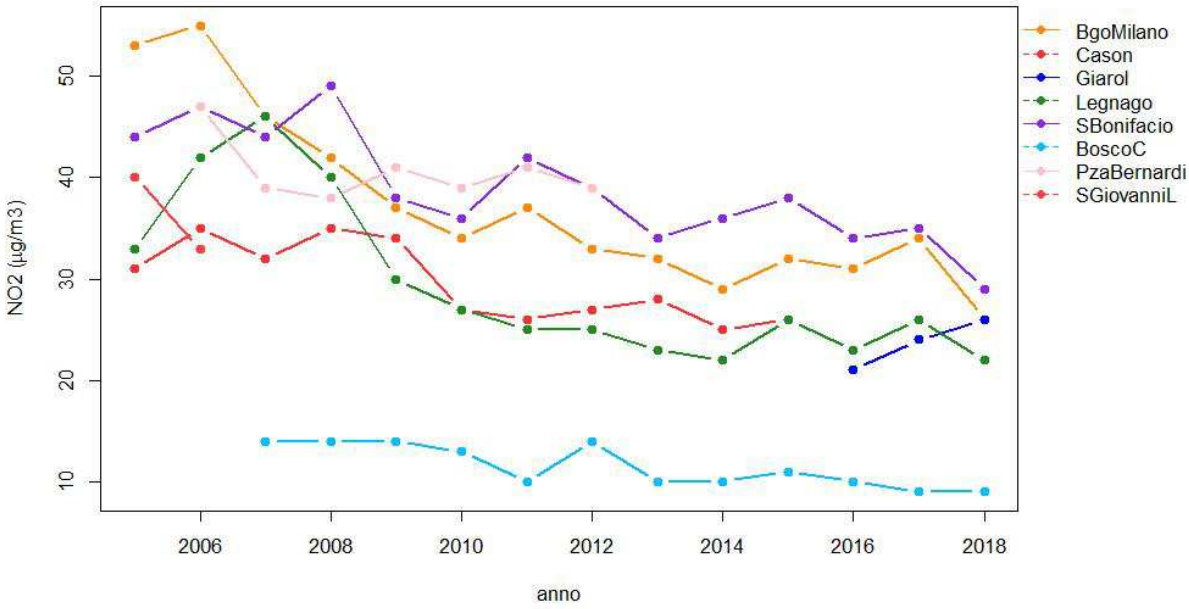


Figura 26. Concentrazione media di NO_2 nelle stazioni della provincia di Verona. Evoluzione temporale nel periodo dal 2005 al 2018.

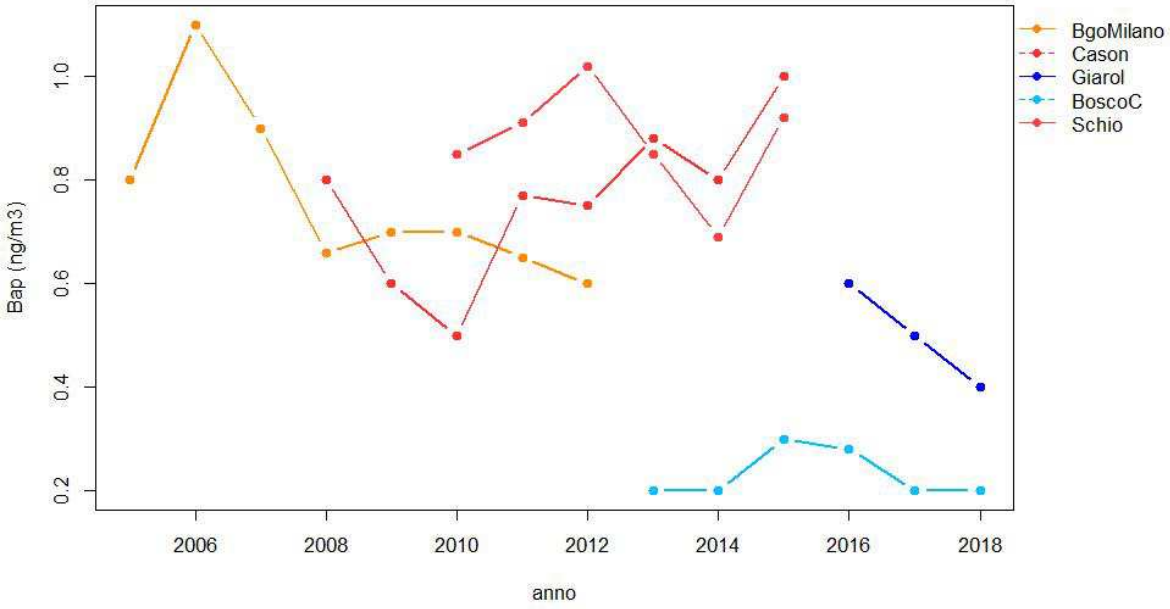


Figura 27. Concentrazione media di benzo(a)pirene (BaP) nelle stazioni della provincia di Verona. Evoluzione temporale nel periodo dal 2005 al 2018.

8 Commento meteorologico e valutazione di alcuni parametri meteorologici utili alla dispersione degli inquinanti atmosferici (A cura del Centro Meteorologico di Teolo)

Il presente rapporto annuale illustra l'andamento meteorologico del 2018 con riferimento al territorio provinciale di Verona. Ad un *excursus* introduttivo, nel quale è descritta la situazione meteorologica e gli effetti sulle capacità dispersive dell'atmosfera a livello regionale, segue un'analisi più dettagliata, sull'area comunale e provinciale di Verona, di tre variabili: la precipitazione e il vento, che sono particolarmente significative per la dispersione degli inquinanti atmosferici, e la temperatura massima giornaliera nei mesi estivi, che è un fattore che incrementa la formazione di ozono. I dati di precipitazione, vento e temperatura rilevati nell'anno 2018 sono stati messi a confronto con la serie climatologica (anni 2003-2017) e con le serie degli anni più recenti.

8.1 Analisi della situazione meteorologica dell'anno 2018

Le condizioni meteorologiche che causano un maggiore accumulo di inquinanti e la cui persistenza può portare ad episodi acuti di inquinamento, sono in modo particolare quelle associate alla presenza di alta pressione. In tali situazioni, infatti, da un lato mancano le precipitazioni che dilavano l'atmosfera e, dall'altro, l'intensità dei venti, che favorirebbe la dispersione degli inquinanti, è debole o molto debole. Inoltre, durante l'inverno, lo scarso rimescolamento dei bassi strati durante il giorno e la prolungata presenza di inversioni termiche, prevalentemente notturne provocano un forte ristagno degli inquinanti, tra cui le polveri sottili. Durante l'estate, quando si verificano condizioni di alta pressione, l'intenso soleggiamento attiva la formazione di ozono, che risulta altresì incentivata in presenza di temperature elevate (superiori a 28°C).

Il passaggio di perturbazioni, invece, con le relative precipitazioni e con l'aumento della ventilazione favorisce il dilavamento dell'atmosfera, la dispersione degli inquinanti e la scomparsa dell'inversione termica; pertanto, ai passaggi di perturbazioni sono generalmente connesse migliori capacità dispersive dell'atmosfera. In estate, le perturbazioni portano un aumento della nuvolosità che riduce il soleggiamento e un calo delle temperature, quindi le condizioni meteorologiche sono sfavorevoli alla formazione di ozono.

Nel successivo paragrafo si riportano una sintesi delle condizioni meteorologiche prevalenti nel corso dell'anno e alcune considerazioni sul loro effetto sulle capacità dispersive dell'atmosfera. Un'analisi meteorologica più completa dell'intero anno viene riportata nella relazione regionale annuale di qualità dell'aria. Per tali analisi ci si è basati sui commenti meteorologici stagionali, pubblicati sul sito internet dell'Agenzia alla pagina di Climatologia a cura del Dipartimento per la Sicurezza del Territorio – Centro Valanghe di Arabba.

8.1.1 Sintesi della situazione meteorologica ed effetti sulle capacità dispersive dell'atmosfera

Nelle prime due decadi di gennaio 2018, le fasi di tempo stabile sono state intervallate da alcuni passaggi di perturbazioni (nei primi giorni del mese, tra la prima e la seconda decade, e a metà mese) e da un periodo di tempo variabile, senza precipitazioni (tra il 15 e il 20); questo ha determinato condizioni in prevalenza favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Nella terza decade di gennaio il tempo è stato stabile con marcate inversioni termiche e conseguente ristagno degli inquinanti. In febbraio il passaggio di alcune perturbazioni si è alternato a temporanee fasi di tempo stabile e questo ha fatto sì che le fasi con condizioni favorevoli alla dispersione abbiano interrotto i periodi di accumulo degli inquinanti.
Nei mesi primaverili sono stati frequenti i passaggi di perturbazioni con numerosi giorni di pioggia che hanno favorito il dilavamento dell'atmosfera e l'abbattimento degli inquinanti.
Nella prima parte dell'estate (da giugno fino a circa metà luglio) sono stati frequenti gli episodi di instabilità, che, da una parte, hanno favorito la dispersione delle polveri sottili e, dall'altra, hanno limitato la formazione di ozono troposferico, dal momento che è stato ridotto il soleggiamento e le temperature massime hanno raggiunto valori non particolarmente elevati. In seguito, soprattutto a cavallo tra l'ultima decade di luglio e la metà di agosto, il tempo è stato in prevalenza stabile e

soleggiato anche con temperature superiori alla media del periodo; in questa parte dell'estate, mentre le polveri sottili sono rimaste su livelli relativamente bassi, grazie al rimescolamento termo-convettivo, è stata invece favorita la formazione dell'ozono troposferico.
Nei mesi autunnali, i periodi con tempo stabile, più duraturi in settembre, sono stati intervallati da alcuni passaggi di perturbazioni che hanno temporaneamente interrotto le fasi di accumulo degli inquinanti.
In dicembre sono state prevalenti le condizioni di tempo stabile che hanno favorito l'accumulo degli inquinanti.

8.2 Analisi di piogge e venti nel 2018 per Verona

Di seguito si riporta un'analisi dettagliata delle precipitazioni e dei venti per il comune di Verona.

La stazione utilizzata è quella di "Buttapietra", che è la più vicina della rete ARPAV (distanza inferiore a 10 km). Si fa presente che presso questa stazione la quota di misura anemometrica è 2 m, pertanto l'intensità del vento misurata è sottostimata rispetto a misure effettuate a 5 o 10 m di altezza.

8.2.1 Precipitazioni nell'area di Verona

Di seguito si riporta l'andamento mensile delle piogge rilevate presso la stazione di Buttapietra nell'anno 2018; inoltre si effettua un confronto con l'andamento mensile calcolato sulla serie climatologica dal 2003 al 2017 e, per facilitare il confronto con le relazioni degli ultimi due anni, con le cumulate mensili rilevate negli ultimi due anni (2016 e 2017).

In figura 28, le precipitazioni cumulate mensili nel corso dell'anno 2018 sono messe a confronto con le precipitazioni mensili medie registrate negli anni dal 2003 al 2017; gli ultimi due rettangoli a destra rappresentano la precipitazione totale dell'anno 2018 e quella totale media, riferita al periodo 2003-2017, divise per 10 per facilitare la lettura con la stessa scala. Dal confronto in 28 si può osservare che:

- le precipitazioni di marzo, maggio, giugno, agosto, settembre, ottobre, novembre sono state più abbondanti rispetto alla media, con uno scarto maggiore in maggio che è anche il mese in cui è stata registrata la cumulata più alta;
- nei restanti mesi le precipitazioni sono state inferiori alla media;
- dicembre è stato il mese in cui il deficit di precipitazioni rispetto alla media è stato maggiore e la cumulata mensile è stata la più bassa del 2018;
- complessivamente le precipitazioni del 2018 sono state più abbondanti della media.

In Figura 9 si mettono a confronto le precipitazioni cumulate mensili (istogrammi a linee verticali) e totali (istogrammi a tinta unita, valore diviso per dieci per facilitare la lettura con la stessa scala) del 2018 con quelle degli ultimi due anni (2016, 2017); risulta evidente che:

- nei mesi di gennaio, marzo, aprile, maggio, luglio, agosto, ottobre e novembre, le cumulate di precipitazione sono state maggiori rispetto ai mesi corrispondenti di entrambi i due anni precedenti;
- in febbraio, è piovuto meno che nei corrispondenti mesi sia del 2015 che del 2016;
- in settembre e dicembre, le precipitazioni sono state più abbondanti del 2016, ma meno del 2017;
- in giugno è piovuto meno del 2016 ma di più rispetto al 2017
- la cumulata del 2018 è superiore a quelle dei due anni precedenti, con uno scarto maggiore rispetto al 2017.

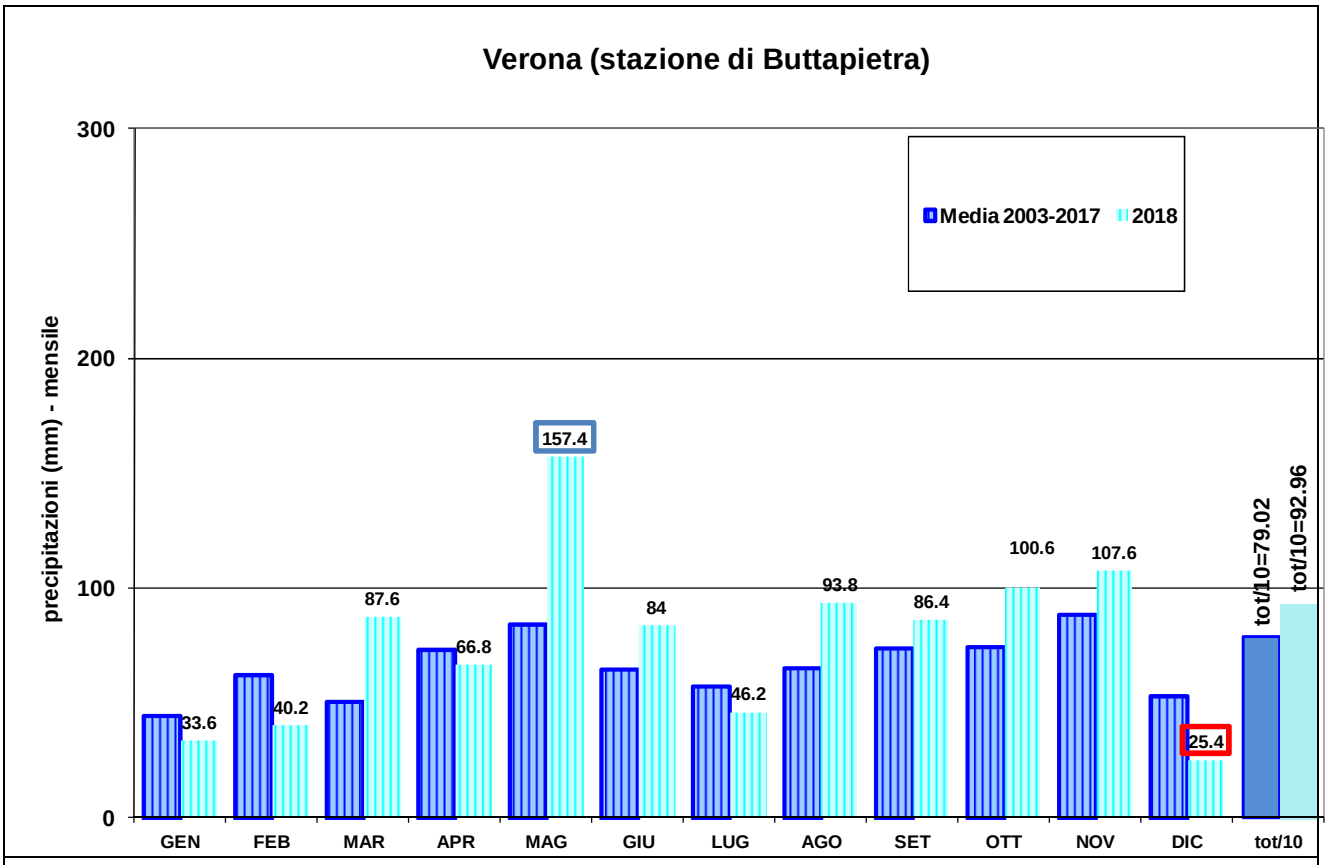


Figura 28: Verona: confronto delle precipitazioni mensili (istogrammi a linee verticali) e totali (istogrammi a tinta unita) nell'anno 2018 con la media di riferimento (anni 2003-2017).

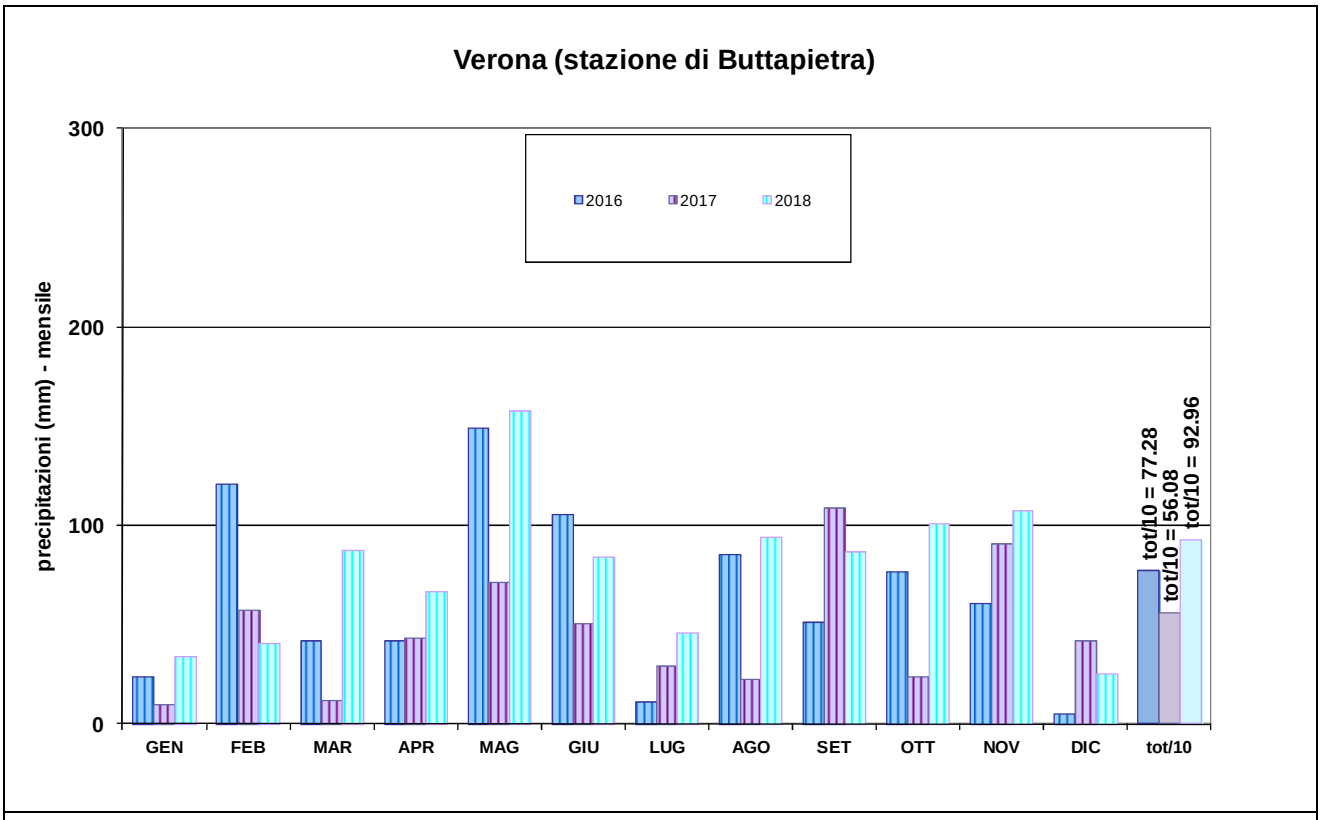
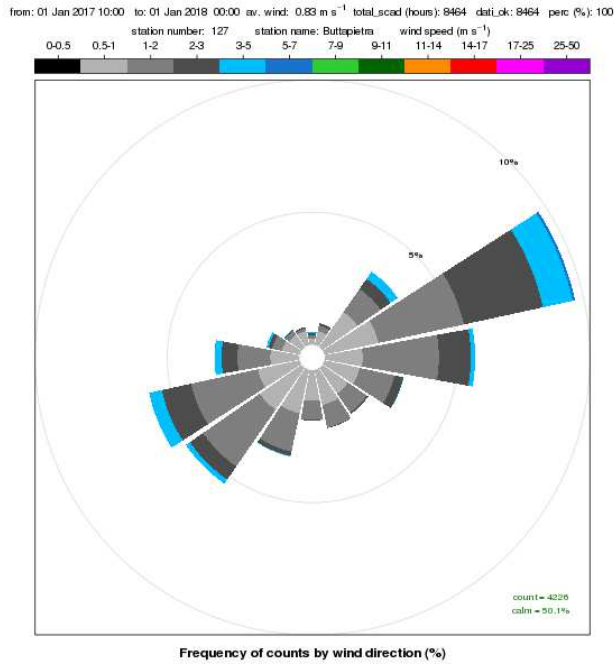


Figura 29: Verona: confronto delle precipitazioni mensili (istogrammi a linee verticali) e totali (istogrammi a tinta unita) del 2018 (azzurro) con quelle degli anni 2016 (blu) e 2017 (viola).

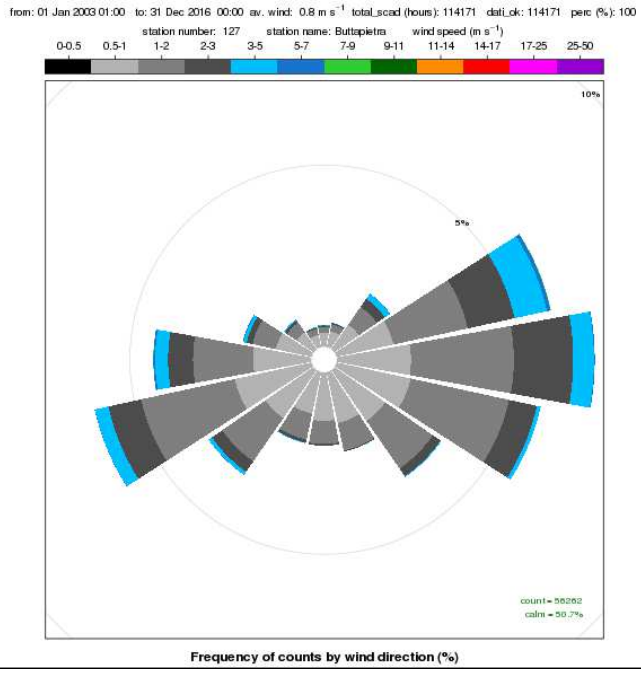
8.2.2 Venti nell'area di Verona.

Di seguito (figura 30) si riportano le rose dei venti per l'anno 2018, e per la serie climatologica (anni 2003-2017). La direzione prevalente di provenienza del vento per l'anno 2018 è est-nordest (quasi 11% dei casi), seguita da altre componenti nord-orientali e sud-occidentali. Rispetto alla climatologia è maggiormente presente la componente est-nordest. Inoltre, guardando la percentuale di calme e la velocità media del vento, risulta che l'anno 2018 è stato un po' più ventilato rispetto alla media degli anni precedenti.



a) rosa dei venti di Buttapietra dell'anno 2018:

percentuale di calme 50% velocità media 0.8 m/s.



b) rosa dei venti di Buttapietra del periodo 2003-2017:

percentuale di calme 51%, velocità media 0.8 m/s.

Figura 30: rose dei venti a Buttapietra per diversi anni. Per la lettura delle rose dei venti: la lunghezza totale di ogni paletta corrisponde alla percentuale dei dati relativi a vento che soffia da una certa direzione; la porzione colorata di ogni paletta rappresenta la percentuale dei venti che soffiano da una certa direzione con intensità del vento corrispondente alla classe di colori riportata in alto. Per calma di vento si intende un vento che soffia con intensità inferiore a 0.5 m/s. La somma di tutte le frequenze (inclusa quella della calma) è uguale a 100%. La suddivisione in 16 quadranti facilita l'identificazione della direzione con i punti cardinali.

8.3 Valutazione sintetica delle capacità dispersive dell'atmosfera su Verona e provincia

Negli ultimi anni presso il Servizio Meteorologico di ARPAV è stato predisposto un prodotto che descrive in maniera sintetica le capacità dispersive dell'atmosfera. Si tratta di un diagramma circolare (figura 31) diviso in due metà di uguale area uno per la pioggia e l'altro per il vento. Ogni semicerchio è diviso a sua volta in 3 spicchi di estensione variabile, a seconda del numero di giorni in cui le precipitazioni e l'intensità media giornaliera del vento si sono collocate rispettivamente in una delle tre categorie, indicate nella leggenda a sinistra del diagramma. Le soglie sono state definite in maniera empirica, in base ad una prima analisi di un campione pluriennale di dati: la categoria di colore rosso (vento debole e pioggia scarsa o assente) raccoglie le situazioni poco favorevoli alla dispersione; quella di colore giallo ingloba le situazioni moderatamente favorevoli alla dispersione; quella verde (venti moderati o forti e precipitazioni abbondanti) riunisce le situazioni in cui è molto favorita la dispersione degli inquinanti.

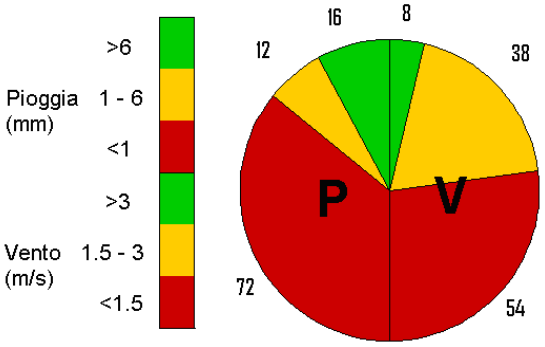


Figura 31: diagramma circolare con frequenza di casi di vento e pioggia nelle diverse classi: il rosso rappresenta dispersione inibita, il giallo dispersione moderata, il verde dispersione favorita.

Per la valutazione a livello provinciale delle capacità dispersive dell'atmosfera sono stati utilizzati i valori medi calcolati a partire dai dati delle stazioni meteorologiche più vicine alle località in cui viene effettuato il monitoraggio della qualità dell'aria. In particolare:

per le precipitazioni la media delle cumulate giornaliere registrate presso le stazioni di Arcole, Boscochiesanuova, Roverchiara, Sorgà, Vangadizza, Villafranca Veronese;

per il vento la media delle velocità medie giornaliere rilevate a quota 10 m presso le stazioni di Bardolino-Calmasino, Roverchiara, Sorgà, e a quota 5 m presso Bosco Chiesanuova.

In figura 32 si riporta il confronto effettuato mediante diagrammi circolari dell'anno 2018 con la serie climatologica (2003-2017), e in figura 33 con i periodi corrispondenti, nei quali sono state registrate le condizioni più favorevoli alla dispersione (migliore) o più critiche per l'accumulo (peggiore). Il confronto è effettuato per i mesi di gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre, dicembre, che sono i più problematici per l'inquinamento da polveri sottili. In figura 34, si effettua la comparazione con la distribuzione media, per la stagione invernale, per il periodo problematico per l'inquinamento da polveri fini (gennaio-marzo, ottobre-dicembre) e per l'intero anno.

Dal confronto in figura 33 si evince che:

- in marzo le condizioni di dispersione inibita sono state meno frequenti della media;
- gennaio, marzo, ottobre, novembre e dicembre hanno presentato una percentuale di condizioni di dispersione inibita maggiore della media.

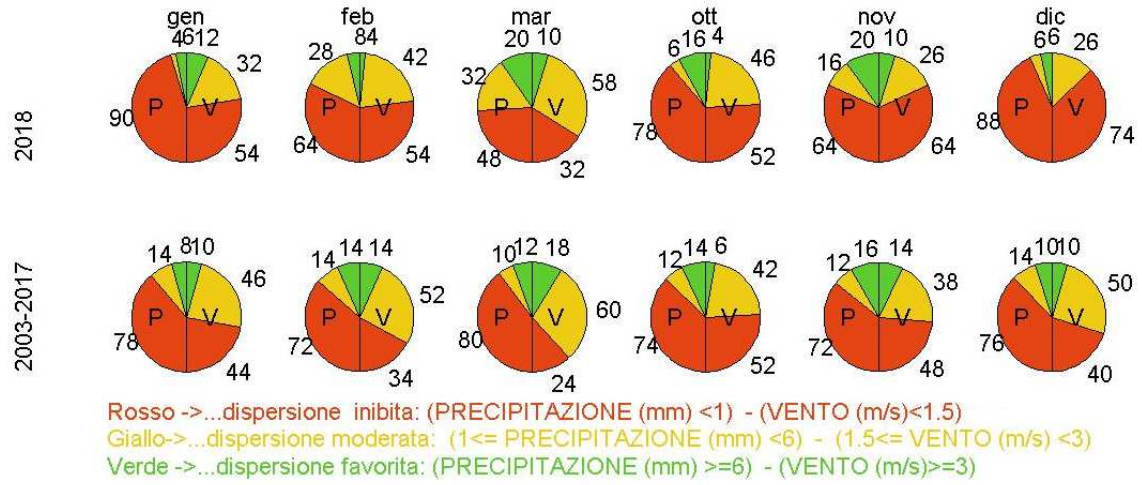


Figura 32: diagrammi circolari per la valutazione sintetica della qualità dell'aria, relative ai singoli mesi del semestre freddo, per l'anno 2018 (riga in alto), e per la media climatologica degli anni in cui sono state effettuate le misure di qualità dell'aria (2003-2017, riga in basso).

Confrontando, poi, le distribuzioni di piovosità e ventilazione con i corrispondenti mesi migliori e peggiori (figura 33) si evince che:

- in gennaio, pur presentandosi le condizioni di dispersione inibita con una percentuale simile a quella del corrispondente peggiore (2005), rispetto a quest'ultimo, anche le condizioni di dispersione favorita sono un po' più frequenti;
- in febbraio, marzo, ottobre novembre e dicembre le condizioni di dispersione inibita sono ben meno frequenti rispetto ai corrispondenti peggiori;
- marzo, pur essendo migliore rispetto alla media, in confronto al corrispondente migliore (2013) presenta una percentuale un po' più alta delle condizioni di dispersione inibita.

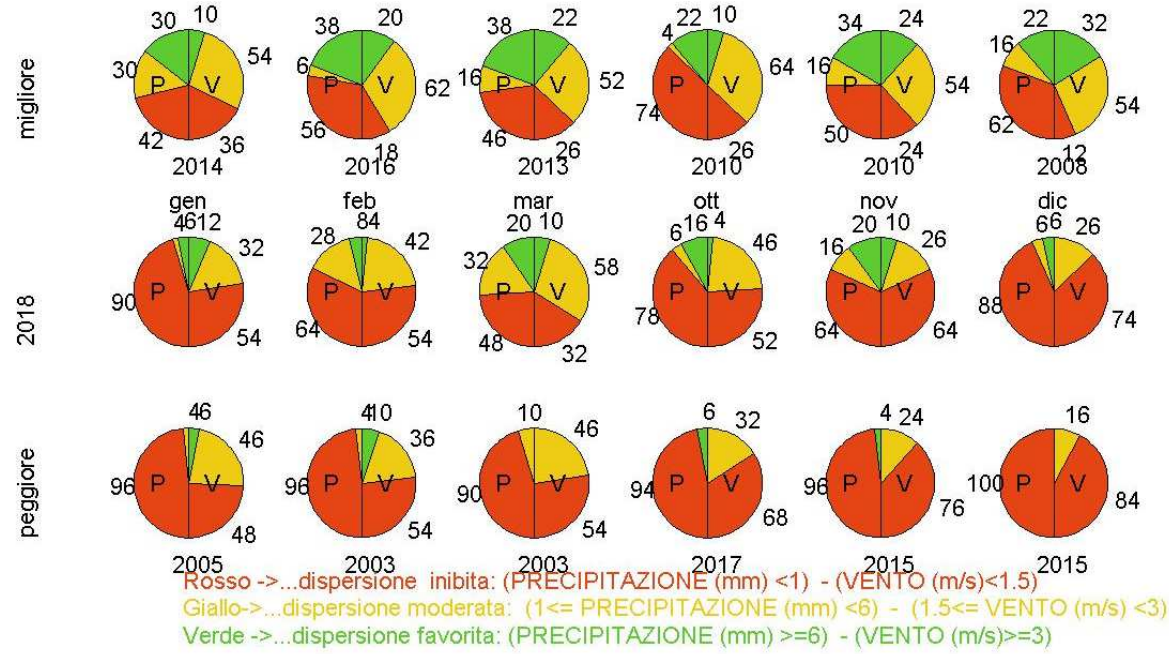


Figura 33: diagrammi circolari per la valutazione sintetica della qualità dell'aria, relative ai singoli mesi del semestre freddo, per l'anno 2018 (riga centrale) e per gli anni in cui si sono verificate condizioni più favorevoli (migliore, riga in alto) o meno favorevoli (peggiore, riga in basso) alla dispersione degli inquinanti; gli anni in cui si è verificato il mese migliore o peggiore sono riportati sotto ciascun diagramma circolare.

Dal confronto in figura 34, si evince che, la percentuale delle condizioni di dispersione inibita sia durante l'inverno (inv), sia durante il periodo critico per l'inquinamento da polveri sottili (invplus), sia nel corso dell'intero anno (anno) è stata un po' più alta in confronto alle rispettive distribuzioni medie.

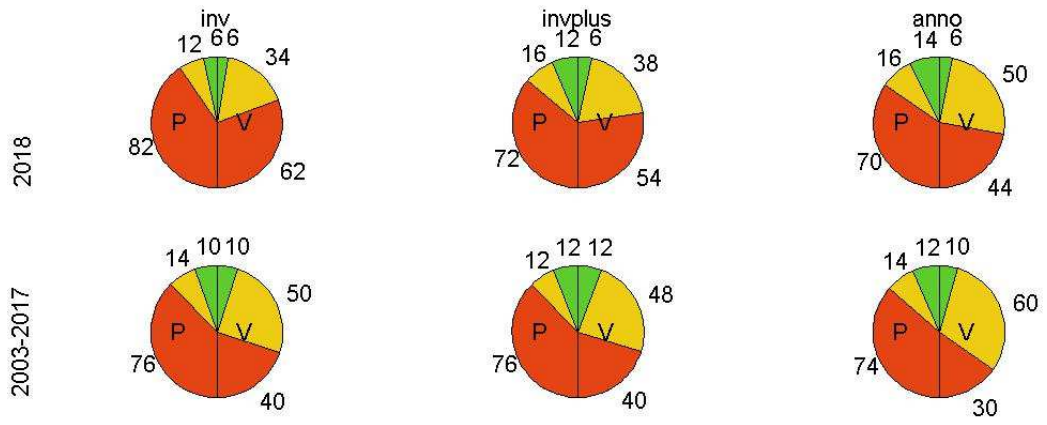


Figura 34: diagrammi circolari per la valutazione sintetica della qualità dell'aria, relativi ai mesi invernali, ai mesi invernali più marzo, ottobre e novembre (invplus) e annuali, per il 2018 e per la media climatologica (2003-2017).

8.4 Valutazione sintetica delle condizioni termiche che influenzano la formazione di ozono.

Per valutare se si sono verificate condizioni favorevoli alla formazione di ozono, sono stati analizzati i valori di temperatura massima giornaliera, registrati presso le stazioni più vicine alle località di misura di qualità dell'aria, in particolare: Arcole, Boscochiesanuova, Roverchiara, Sorgà, Vangadizza, Villafranca Veronese.

In figura 35 si riporta un esempio per agevolare la lettura dei grafici relativi alla temperatura. La somma dei valori di tutte le fette è 100 (100%). La superficie di ogni fetta rappresenta la percentuale dei giorni del mese in cui la temperatura massima giornaliera ha raggiunto un valore compreso nell'intervallo indicato dalla legenda: al rosso corrispondono i valori più alti, favorevoli alla formazione di ozono, al verde quelli più bassi meno favorevoli per la formazione di ozono. Si ribadisce che l'assegnazione delle classi è stata definita in maniera empirica, in base ad una prima analisi di un campione pluriennale di dati.

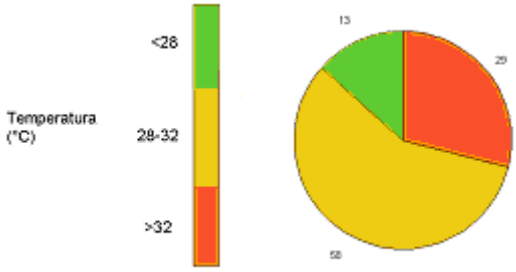


Figura 35: diagramma circolare con frequenza di temperatura nelle diverse classi: il rosso è associato alle classi più favorevoli alla formazione di ozono, il giallo alle classi moderatamente favorevoli alla formazione di ozono, il verde a quelle meno favorevoli alla formazione di ozono.

In figura 36 si riportano i diagrammi circolari dei mesi più critici per l'inquinamento da ozono per l'anno 2018, per la serie clima (anni 2003-2017), per i periodi in cui si sono verificate condizioni

climatiche sfavorevoli alla formazione di ozono (migliore) o più idonee all'incremento dell'inquinante (peggiore).

Dal confronto dei diagrammi circolari, si rileva che:

- in aprile la percentuale delle condizioni moderatamente favorevoli alla formazione di ozono è stata un po' più alta della media, ma inferiore a quella dell'aprile peggiore (2011);
- in maggio, giugno e luglio, le condizioni poco favorevoli alla formazione di ozono sono un po' meno frequenti della media, ma più numerose rispetto ai corrispondenti peggiori (2009, 2003, 2015);
- in agosto le condizioni molto favorevoli alla formazione di ozono sono state raggiunte con una frequenza maggiore rispetto alla media, ma inferiore rispetto a quella dell'agosto peggiore (2003)
- settembre presenta una percentuale di condizioni poco favorevoli alla formazione di ozono più bassa rispetto alla media, ma più alta rispetto al corrispondente peggiore (2011).

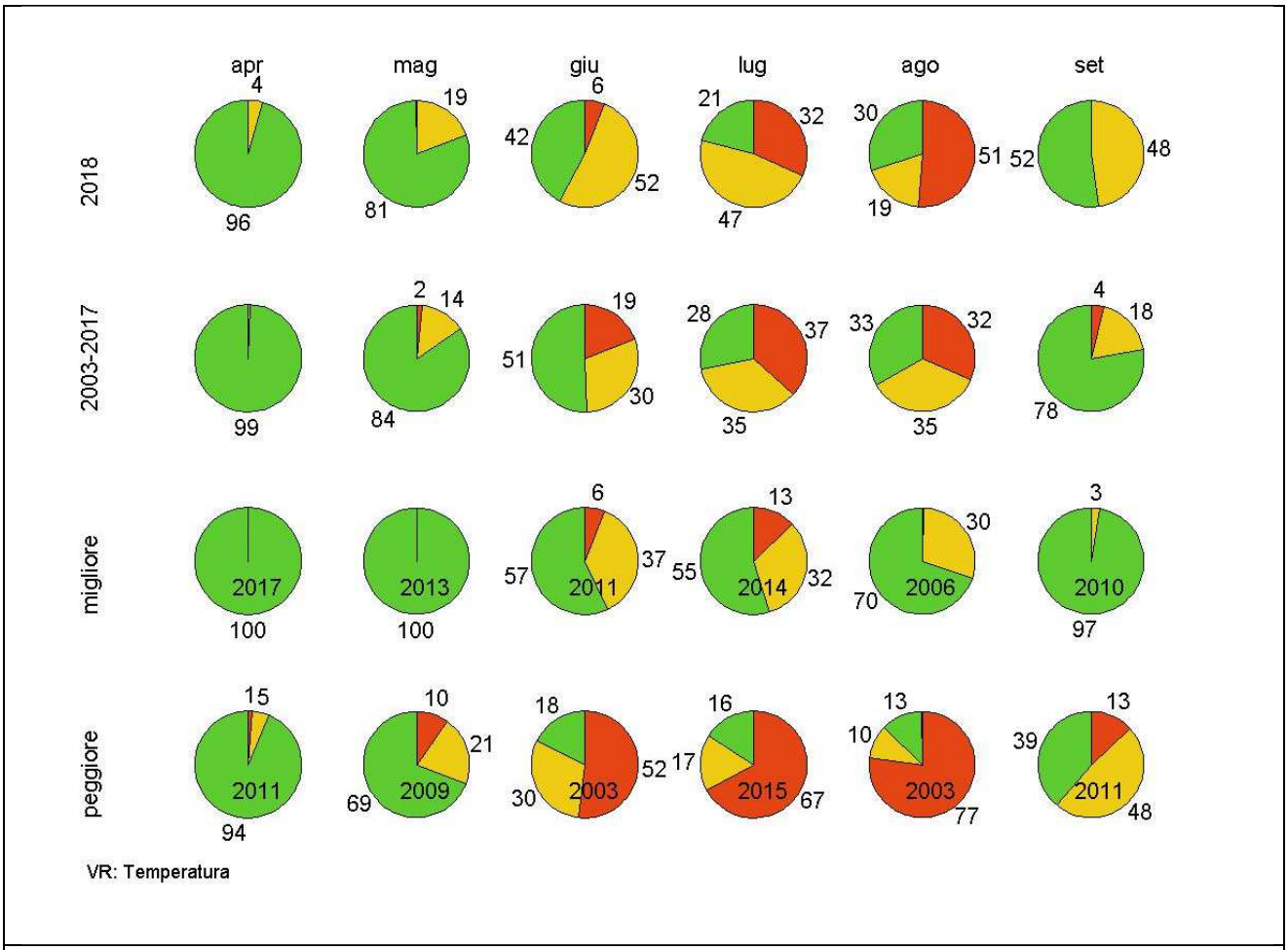


Figura 36: confronto della distribuzione delle temperature nelle tre classi di dispersione dei mesi più critici per l'inquinamento da ozono (aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre): la prima riga in alto si riferisce all'anno 2018, la seconda alla distribuzione climatica riferita agli anni dal 2003 al 2017, la terza riga ("migliore") al mese della serie climatologica in cui si sono verificate le condizioni meno favorevoli alla formazione dell'ozono, la quarta riga ("peggiore") al mese in cui si sono verificate le condizioni più favorevoli alla formazione di ozono. Per la terza e la quarta riga, sul diagramma circolare relativo al singolo mese, è riportato l'anno in cui si sono verificate le condizioni migliori o peggiori, rispettivamente, cioè l'anno cui si riferiscono i dati.

9 Sintesi

Nell'anno 2018 gli inquinanti più critici in provincia di Verona sono stati le polveri sottili (PM_{10}) nel periodo invernale e l'ozono (O_3) in estate, come del resto è accaduto in tutto l'ultimo decennio.

La concentrazione di polveri sottili (PM_{10}) ha superato il valore limite per l'esposizione acuta di 50 µg/m^3 per un numero di volte superiore a quello consentito dalla normativa (35 giornate), in tutte le stazioni di pianura della provincia di Verona. Solo a Bosco Chiesanuova tale limite è stato rispettato. Il limite di legge relativo all'esposizione cronica, pari a 40 µg/m^3, applicato alla media annua, non è invece stato superato presso alcuna stazione della provincia.
L'ozono ha superato sia il limite orario di 180 µg/m^3 , relativo all'esposizione acuta, sia quello di 120 µg/m^3 (sul massimo della media mobile di 8 ore) in tutte le stazioni in cui tale inquinante è monitorato. Anche l'indice AOT40, utilizzato per la valutazione dell'esposizione degli ecosistemi dagli effetti di elevate concentrazioni di ozono, e valutato nelle stazioni di fondo rurale, è stato superato a Bosco Chiesanuova.
Anche gli ossidi di azoto, per quanto non presentino dei superamenti dei limiti legislativi, risultano inquinanti tra i più problematici per la provincia di Verona, come per tutto il Nord-Italia: infatti essi sono coinvolti nelle reazioni chimiche che portano alla formazione di inquinanti secondari, come PM10 e ozono, che invece mostrano dei superamenti dei limiti di legge.
Gli altri inquinanti monitorati non presentano particolari criticità, essendo stati rispettati tutti i limiti normativi.
Per gli inquinanti monitorati, la situazione rispetto agli anni precedenti non risulta in peggioramento. In generale, il livello dell'inquinamento nel 2018 è stato molto simile a quello dell'anno precedente, il 2017. Infatti tutte le stazioni hanno mostrato una lieve diminuzione dei valori medi e del numero di superamenti dei limiti di legge, a eccezione di Verona-Giarol, dove si assiste a un lieve incremento della media annuale di PM10 e NO_2 e del numero di superamenti del limite di 120 µg/m^3 sul massimo della media mobile dell'ozono.

Inquinante	Limite esposizione acuta	Limite esposizione cronica salute umana	Limite esposizione cronica ecosistemi	Tendenza 2005-2017	Tendenza 2017-2018
PM10	SUPERATO	RISPETTATO		↘	↘ * con eccezione VR-Giarol
PM2.5		RISPETTATO			
O_3	SUPERATO	SUPERATO	SUPERATO	→	↘ * con eccezione VR-Giarol
NO_2	RISPETTATO	RISPETTATO		↘	↘ * con eccezione VR-Giarol
NOx			RISPETTATO		
SO2	RISPETTATO		RISPETTATO		
CO	RISPETTATO				
Benzene		RISPETTATO			
Benzo(a)pirene		RISPETTATO		↘	↘
Arsenico		RISPETTATO			
Nichel		RISPETTATO			
Cadmio		RISPETTATO			
Piombo		RISPETTATO			

Tabella 17. Situazione dei diversi inquinanti in relazione al rispetto dei diversi limiti normativi, e tendenza osservata per la loro concentrazione nell'ultimo decennio e negli ultimi due anni, sulla base dell'analisi dei dati delle stazioni di qualità dell'aria della provincia di Verona. In relazione al rispetto dei limiti normativi, la situazione è stata valutata come positiva (celle verdi) o negativa (celle gialle).

Inquinante/Parametro	Bosco Chiesanuova	Legnago	San Bonifacio	VR-Borgo Milano	VR-Giarol
PM10 media (µg/m^3)	16	30	30	31	31
PM10 N superamenti 50	1	45	41	44	37
PM2.5 media (µg/m^3)					21
O3 N superamenti 180	3	2	5		8
O3 N superamenti 120 µg/m^3 del max giornaliero media 8h	81	84	69		70
AOT40 (µg/m^3 h)	34828				
NO2 media (µg/m^3)	9	22	29	26	26
NOx media (µg/m^3)	11				
SO2 media (µg/m^3)	<3			<3	
CO media (mg/m^3)	0.3			0.3	
Benzene (µg/m^3)		0.8	1.0	0.9	0.6
BaP (ng/m^3)	0.2				0.4
Arsenico (ng/m^3)	<1				<1
Cadmio (ng/m^3)	<0.2				<0.2
Nichel (ng/m^3)	<1.0				2.5
Piombo (ng/m^3)	3.9				6.6

Tabella 18. Sintesi dei principali parametri statistici e del numero di superamenti relativi ai diversi inquinanti, nelle stazioni della qualità dell'aria della provincia di Verona, nel 2018. In relazione al rispetto dei limiti normativi, la situazione è stata valutata come positiva (celle verdi) o negativa (celle gialle).

10 Conclusioni

Nella presente relazione sono stati analizzati i dati di qualità dell'aria misurati nelle 5 stazioni ubicate in provincia di Verona: le stazioni di traffico di Verona-Borgo Milano e San Bonifacio, quelle di fondo urbano di Verona-Giarol e Legnago, e quella di fondo rurale di Bosco Chiesanuova.
L'analisi dei dati è stata sviluppata attraverso la produzione di tabelle che riportano i principali parametri statistici: esse permettono di definire le caratteristiche delle serie temporali di ogni inquinante, relative a ogni stazione di misura. I dati sono stati confrontati anche attraverso la produzione di opportuni grafici. E' stato analizzato l'andamento dei principali inquinanti nell'ultimo decennio presso le varie stazioni della provincia.

Per quanto riguarda il biossido di azoto, non vi è stato alcun superamento dei limiti di legge presso le stazioni fisse della rete di controllo della qualità dell'aria.
I valori medi e massimi più elevati di questo inquinante sono stati misurati nelle stazioni di pianura (San Bonifacio, Verona-Borgo Milano, Legnago, Verona-Giarol), nelle quali gli andamenti temporali sono molto simili. Sono evidenti i massimi di concentrazione al mattino e alla sera, in corrispondenza dei picchi di traffico e della presenza di inversioni termiche. Durante la settimana si osserva un progressivo aumento della concentrazione di NO_2 da lunedì a venerdì, probabilmente legato a un effetto di accumulo dell'inquinante, e a una diminuzione il sabato e la domenica, quando il traffico veicolare, che rappresenta la principale fonte di pressione per gli ossidi di azoto, è meno intenso. I valori di concentrazione più elevati si trovano nel periodo invernale, in corrispondenza di situazioni alto-pressorie che persistono più giorni sulla nostra regione, favorendo il ristagno di inquinanti nello strato atmosferico più vicino alla superficie. Si consideri inoltre che nei mesi invernali ha luogo un aumento delle emissioni associate al riscaldamento domestico. Nella stazione di fondo rurale di Bosco Chiesanuova, invece, i valori medi e massimi di concentrazione di questo inquinante sono molto più bassi rispetto a quelli delle stazioni di pianura; inoltre, l'andamento del giorno tipo non mostra i due massimi in corrispondenza dei picchi di traffico.
La stazione di fondo rurale di Bosco Chiesanuova è la stazione di riferimento per valutare il livello critico per la protezione della vegetazione per gli ossidi di azoto totali (NO_x), pari a 30 µg/m^3: il valore medio annuale misurato è pari a 11 µg/m^3, inferiore pertanto al limite di riferimento.

La situazione del particolato atmosferico (PM_{10}) è più critica: tutte le stazioni fisse di Verona e della pianura superano, per più di 35 giorni l'anno, il valore limite giornaliero per la protezione della salute dagli effetti acuti (50 µg/m^3). I valori medi annuali sono però inferiori al valore limite relativo all'esposizione cronica, di 40 µg/m^3.
L'andamento delle concentrazioni di PM_{10} mostra delle analogie con quello degli ossidi di azoto. Infatti, anche in questo caso, si possono distinguere due gruppi di stazioni: da un lato quelle di pianura, con valori medi e massimi più elevati e la presenza di massimi nei mesi invernali, in corrispondenza di situazioni meteorologiche che favoriscono le inversioni termiche; dall'altro la stazione di fondo di Bosco Chiesanuova, con valori medi e massimi inferiori e un andamento che si discosta da quello delle altre. I mesi in cui i valori medi giornalieri sono stati più elevati sono stati gennaio e dicembre. Le più elevate concentrazioni invernali di questo inquinante sono legate al riscaldamento domestico, attivo tra ottobre e marzo, alle basse temperature ed elevata umidità che favoriscono la formazione di nitrato di ammonio (sale che rappresenta una percentuale di poco inferiore al 50 % del particolato più sottile, PM2.5), oltre che alla minore altezza dello strato mescolato.

Per quanto riguarda le polveri di diametro inferiore a 2.5 µm ($PM_{2.5}$), rilevate presso la stazione di Verona-Giarol, il loro valore medio annuo non ha superato il limite normativo relativo all'esposizione cronica ad esse relativo. Esse hanno rappresentato una frazione pari a 65% del PM_{10} totale, mediamente.

Un altro inquinante critico per la provincia di Verona è l'ozono (O_3). Essendo di origine fotochimica, esso manifesta i valori più elevati in estate e durante le ore centrali del giorno, quando è maggiore la radiazione solare. E' un inquinante secondario, che si forma a partire da ossidi di azoto e composti organici volatili. Le concentrazioni che si misurano talvolta in montagna possono essere legate a fenomeni di trasporto. Esso viene rimosso per deposizione e contatto su qualsiasi superficie, o attraverso una reazione chimica in cui reagisce con gli ossidi di azoto e viene

eliminato. Per questo motivo, in ambiente urbano si trova che mediamente, quando il traffico è più limitato e quindi le concentrazioni di ossidi di azoto sono più basse, i valori medi di ozono sono più elevati per la scarsa efficienza del processo di rimozione. L'andamento (annuale, settimanale, giornaliero) delle concentrazioni di ozono, con massimi molto pronunciati in estate e nelle ore centrali del giorno, è molto simile in tutte le stazioni di pianura. Bosco Chiesanuova, invece, rappresenta un'eccezione. Qui l'ozono viene trasportato dalla pianura, grazie alla brezza di valle che spira durante la notte, e si accumula, non essendo i meccanismi per la sua rimozione efficaci. Pertanto la sua concentrazione media è abbastanza stabile durante tutta la giornata, ed è piuttosto elevata anche in inverno.
La soglia di allarme di 240 µg/m^3, livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata, non è stata superata in alcuna stazione di misura; la soglia di informazione di 180 µg/m^3, oltre la quale vi è rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per i gruppi sensibili della popolazione, è stata superata presso tutte le stazioni in cui avviene il monitoraggio.
Il valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, pari a 120 µg/m^3, riferito al massimo giornaliero della media mobile su 8 ore, è stato superato presso tutte le stazioni. Esso non deve essere superato per più di 25 giorni all'anno, come media negli ultimi 3 anni: in base all'analisi dei dati a partire dal 2016, tale limite è stato superato in tutte le stazioni.
Il valore obiettivo per la protezione della vegetazione, espresso attraverso l'indice AOT40 e valutato per la stazione di fondo rurale di Bosco Chiesanuova, è stato superato.
In base all'analisi dei dati a partire dal 2005, l'anno 2018 non è stato particolarmente critico per questo inquinante, grazie alle temperature estive non eccessivamente evevate.

I valori medi di monossido di carbonio (CO) e di biossido di zolfo (SO_2) sono stati molto bassi, vicini al limite di rivelabilità dello strumento, e non vi sono stati superamenti.

Il benzene e il benzoapirene hanno avuto valori medi inferiori ai limiti normativi in tutti i punti di monitoraggio. L'andamento delle concentrazioni durante l'anno, per entrambi gli inquinanti, mostra valori più elevati nel periodo invernale.

Anche le concentrazioni di metalli, misurate per arsenico, piombo, cadmio e nichel, sono ampiamente inferiori ai limiti normativi.

Per fornire un'informazione sintetica relativa alla qualità dell'aria, è stato sviluppato un indice qualitativo, che tiene conto delle criticità relative ai tre inquinanti principali: NO_2, PM_{10} e O_3. Questo indice è stato calcolato per la stazione di Verona-Giarol, rappresentativa di una situazione di fondo urbano, tipica quindi della pianura veronese. In base ad esso, nel 2018, la qualità dell'aria di Verona-Giarol è stata prevalentemente accettabile (60% delle giornate), per il 27% dell'anno mediocre, per il 8% buona, per il 2% scadente o pessima. Le situazioni più critiche si sono verificate nei mesi invernali a causa delle elevate concentrazioni di polveri sottili. Lo stesso indice, calcolato per la stazione di Bosco Chiesanuova, fornisce un'indicazione della qualità dell'aria nella zona delle prealpi veronesi, dove le situazioni peggiori si verificano in estate, a causa delle elevate concentrazioni di ozono: l'analisi dei dati indica che anche presso questa stazione la qualità dell'aria è stata prevalentemente accettabile (64%), per il 8% buona, per il 22% mediocre.

L'analisi dell'andamento delle concentrazioni medie annue dei principali inquinanti, registrate dalle stazioni di della provincia di Verona tra il 2005 al 2018, evidenzia una generale tendenza al miglioramento della qualità dell'aria.

11 Glossario

Agglomerato
Zona costituita da un'area urbana o da un insieme di aree urbane che distano tra loro non più di qualche chilometro oppure da un'area urbana principale e dall'insieme delle aree urbane minori che dipendono da quella principale sul piano demografico, dei servizi e dei flussi di persone e merci, avente: 1) una popolazione superiore a 250.000 abitanti oppure 2) una popolazione inferiore a 250.000 abitanti e una densità di popolazione per km^2 superiore a 3.000 abitanti.

AOT40 (Accumulated exposure Over Threshold of 40 ppb)
Espresso in ($\mu g/m^3$)*h. Rappresenta la differenza tra le concentrazioni orarie di ozono superiori a 40 ppb (circa 80 $\mu g/m^3$) e 40 ppb, in un dato periodo di tempo, utilizzando solo valori orari rilevati, ogni giorno, tra le 8:00 e le 20:00 (ora dell'Europa centrale).

Background (stazione di)
Punto di campionamento ubicato in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, ecc.) ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito

Fattore di emissione
Valore medio (su base temporale e spaziale) che lega la quantità di inquinante rilasciato in atmosfera con l'attività responsabile dell'emissione (ad es. kg di inquinante emesso per tonnellata di prodotto o di combustibile utilizzato).

Industriale (stazione)
Punto di campionamento ubicato in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.

Inquinante
Qualsiasi sostanza immessa direttamente o indirettamente dall'uomo nell'aria ambiente che può avere effetti nocivi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso.

Inventario delle emissioni
Serie organizzata di dati, realizzata secondo procedure e metodologie verificabili e aggiornabili, relativi alle quantità di inquinanti introdotti nell'atmosfera da sorgenti naturali e/o da attività antropiche. Le quantità di inquinanti emesse dalle diverse sorgenti della zona in esame si possono ottenere tramite misure dirette, campionarie o continue o tramite stima.

IQA (Indice di Qualità dell'Aria)
E' una grandezza che permette di rappresentare in maniera sintetica lo stato di qualità dell'aria.

Margine di tolleranza
Percentuale del valore limite entro la quale è ammesso il superamento del valore limite alle condizioni stabilite dal D.Lgs. 155/2010.

Media mobile (su 8 ore)
La media mobile su 8 ore è una media calcolata sui dati orari scegliendo un intervallo di 8 ore; ogni ora l'intervallo viene aggiornato e, di conseguenza, ricalcolata la media. Ogni media su 8 ore così calcolata è assegnata al giorno nel quale l'intervallo di 8 ore si conclude. Ad esempio, il primo periodo di 8 ore per ogni singolo giorno sarà quello compreso tra le ore 17.00 del giorno precedente e le ore 01.00 del giorno stesso; l'ultimo periodo di 8 ore per ogni giorno sarà quello compreso tra le ore 16.00 e le ore 24.00 del giorno stesso. La media mobile su 8 ore massima giornaliera corrisponde alla media mobile su 8 ore che, nell'arco della giornata, ha assunto il valore più elevato.

Obiettivo 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.

Percentile
I percentili o quantili, sono parametri di posizione che dividono una serie di dati in gruppi non uguali, ad esempio un quantile 0.98 (o 98° percentile), è quel valore che divide la serie di dati in due parti, nella quale una delle due ha il 98% dei valori inferiore al dato quantile. La mediana rappresenta il 50° percentile. I percentili si calcolano come la mediana, ordinando i dati in senso crescente e interpolando il valore relativo al quantile ricercato.

Soglia di allarme
Livello oltre il quale sussiste 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.

Soglia di informazione
Livello di ozono 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 e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste.

Sorgente (inquinante)
Fonte da cui ha origine l'emissione della sostanza inquinante. Può essere naturale (acque, sole, foreste) o antropica (infrastrutture e servizi). A seconda della quantità di inquinante emessa e delle modalità di emissione una sorgente può essere puntuale, diffusa, lineare.

Traffico (stazione di)
Punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento massimi caratteristici dell'area monitorata influenzato prevalentemente da emissioni da traffico provenienti dalle strade limitrofe.

Valore limite
Livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso.

Valore obiettivo
Concentrazione nell'aria ambiente stabilita al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente, il cui raggiungimento, entro un dato termine, deve essere perseguito mediante tutte le misure che non comportino costi sproporzionati.

Zonizzazione
Suddivisione del territorio in aree a diversa criticità relativamente all'inquinamento atmosferico, realizzata in conformità al D.Lgs. 155/2010.

Dipartimento Provinciale di Verona
Unità operativa Fisica Ambientale
Via Dominutti 8
37135 Verona Italia
Tel.045-8016611 e 045-8016702
Fax 045-8016700
e-mail: dapvr@arpa.veneto.it
PEC: mailto:dapvr@pec.arpav.it
Maggio 2018

ARPAV

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

Direzione Generale Via Ospedale, 24 35131 Padova

Tel. +39 049 82 39301

Fax. +39 049 66 0966

e-mail urp@arpa.veneto.it

e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it

www.arpa.veneto.it