Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

REGIONE DEL VENETO

Relazione sulla Qualità dell'Aria Anno 2014

Provincia di Verona

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore Primo Munari

Servizio Controlli Ambientali

Dottoressa Francesca Predicatori

Ufficio Informativo Ambientale

Dottoressa Simona De Zolt Sappadina

Dottor Paolo Frontero

Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

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.

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 qualità dell'aria della provincia di Verona poste a Verona Cason, Verona Borgo Milano, Boscochiesanuova, San Bonifacio e Legnago. Sono, inoltre, analizzati dati della stazione di Fumane (di tipo industriale), di Ca' del Bue e San Giovanni Lupatoto, facenti parte della rete di monitoraggio dell'impianto AGSM di Ca' del Bue.
La posizione delle stazioni è rappresentata in Figura 1: le due stazioni di Cason e Borgo Milano si trovano nel comune di Verona, e rappresentano una situazione di fondo urbano e di traffico urbano, rispettivamente. La stazione di Bosco Chiesanuova, situata sopra i 1000 m di quota slm, rappresenta una situazione di fondo, essendo lontana dalle fonti di pressione più significative che si trovano in pianura. La stazione di Fumane, per la prima parte dell'anno, è stata soggetta alle emissioni del cementificio della ditta Cementirossi, costituendo quindi una stazione di tipo industriale; in seguito alla chiusura dell'impianto, a fine maggio, è diventata una stazione di fondo. Le stazioni di San Bonifacio e Legnago sono stazioni di fondo urbano.

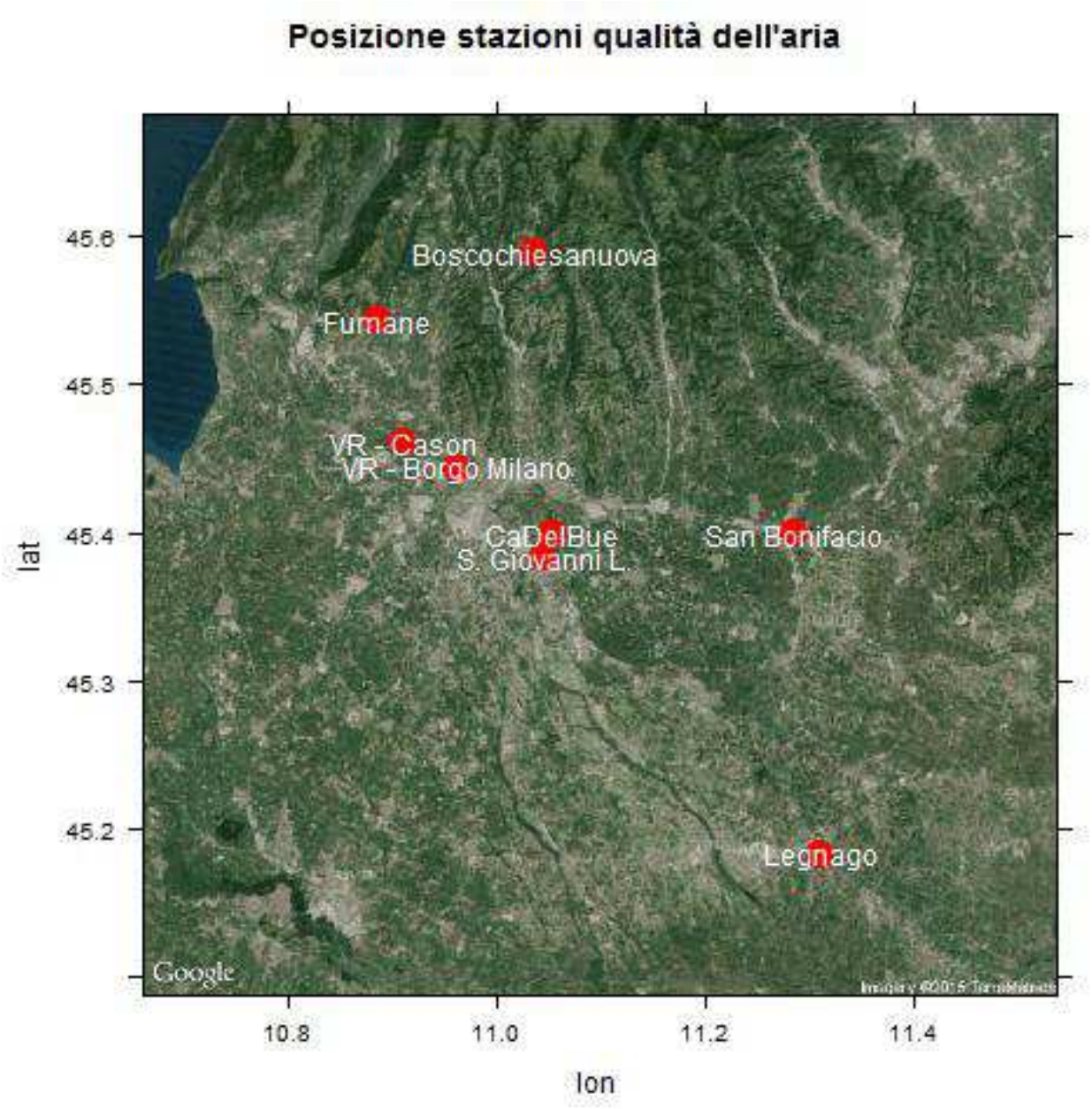


Figura 1. Mappa delle centraline per il monitoraggio della qualità dell'aria della provincia di Verona.

2 Caratteristiche dei principali inquinanti

2.1 Polveri sottili - PM10

Con il termine polveri sottili o PM10 si indica la componente con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm del particolato aereodisperso. Si tratta di un insieme alquanto eterogeneo di composti che in parte derivano dall'emissione diretta causata dalle attività antropiche quali traffico, industria, riscaldamento. In parte (si stima per più dell'80%) è prodotto da reazioni chimico-fisiche che avvengono in atmosfera e coinvolgono i composti organici volatili, ammoniaca, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo. Inoltre, grazie alle ridotte dimensioni, le particelle di PM10 possono rimanere in atmosfera per periodi di tempo anche relativamente lunghi prima di subire il processo di dilavamento o sedimentazione. Non è quindi possibile legare la concentrazione di PM10 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 PM10 sul nostro territorio.

2.2 Polveri sottili - PM2,5

Il PM2.5 è costituito dalla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm delle polveri aereodisperse, costituisce circa il 60-70% del PM10. Viene indicato come "frazione respirabile" delle polveri poiché a causa delle sue ridotte dimensioni penetra fino agli alveoli polmonari. Può essere originato sia per emissione diretta sia in seguito a reazioni nell'atmosfera di composti chimici quali ossidi di zolfo, ossidi di azoto, ammoniaca e composti organici. Le fonti antropiche possono essere ricondotte essenzialmente ai processi di combustione (traffico veicolare, utilizzo di combustibili nei processi industriali) e a emissioni industriali. Il tempo di residenza in atmosfera delle polveri fini in atmosfera può essere di diversi giorni

2.3 Biossido di azoto - NO_2

Con il termine ossidi di azoto si indica 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, indipendentemente dalla composizione chimica del combustibile, poiché l'azoto e l'ossigeno che lo costituiscono sono naturalmente presenti nell'atmosfera e si combinano in tutti i processi in cui si raggiungono temperature sufficientemente elevate (>1210°C). Tali valori sono normalmente raggiunti nei motori a combustione interna. Nei processi di combustione si forma anche una piccola quantità di biossido (circa il 5%). Quest'ultimo è considerato un inquinante secondario perché deriva principalmente dall'ossidazione dell'ossido di azoto (NO), favorita dalla presenza di ossidanti quali l'ozono. Gli ossidi di azoto permangono in atmosfera per pochi giorni (4-5) e sono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi e di sostanze organiche. Gli effetti negativi sull'ambiente dovuti ad alte concentrazioni di NO_2 sono legati alla formazione di smog fotochimico in presenza di irraggiamento solare, alla acidificazione delle piogge ed alla riduzione dell'ozono stratosferico.

2.4 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 che da fonti naturali. L'origine naturale deriva principalmente dalle eruzioni vulcaniche mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche. A causa dell'elevata solubilità in acqua l'SO_2 viene assorbito facilmente dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio; quindi solo le piccolissime quantità raggiungono la parte più profonda del polmone. 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. Nel contempo si oppongono al fenomeno dell'effetto serra in quanto hanno la capacità di riflettere le radiazioni solari producendo un raffreddamento del pianeta.

2.5 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 (60% circa

su scala nazionale), seguito dall'industria metallurgica (16% circa) e dall'uso domestico e commerciale (14% circa). Il CO è un inquinante primario che solo lentamente viene ossidato a CO_2: il tempo di permanenza in atmosfera può arrivare a sei mesi.

2.6 Ozono - O_3

L'ozono è un inquinante di tipo secondario, prodotto da reazioni fotochimiche di trasformazione degli inquinanti primari, quali composti organici volatili e ossidi di azoto. Anche in questo caso, le condizioni meteorologiche hanno un'enorme influenza sull'andamento delle concentrazioni. In particolare il verificarsi di intensa radiazione solare, temperatura mite o alta e venti moderati favoriscono la formazione di smog fotochimico e l'aumento delle concentrazioni troposferiche di ozono; nell'arco della giornata, i livelli sono bassi al mattino (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. Precursori sono i composti idrocarburici e gli ossidi di azoto presenti nell'aria, anche relativamente distanti dal punto di formazione dell'O_3. Dall'analisi dei dati effettuata l'inquinamento da ozono risulta particolarmente critico in tutta l'area pianeggiante del Veneto. 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.

2.7 Benzene, toluene e xilene

Il benzene (formula bruta: 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 legata cioè alla volatilità del combustibile ed ai fenomeni fisici che la favoriscono. L'industria petrolchimica in questi ultimi anni sta utilizzando in sostituzione del benzene il toluene (formula bruta: C_7H_8). Esso infatti presenta caratteristiche chimico-fisiche molto simili a quelle del benzene ma risulta meno tossico.
Lo xilene (formula bruta: 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.

2.8 Metalli e metalloidi

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 dei 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 ampiamente presente nell'ambiente soprattutto come lega metallica o in combinazione con altri elementi (a dare ossidi principalmente). Fra le fonti di nichel sono annoverate: l'utilizzo di oli pesanti e di carbone, catalizzatori, acciaio e leghe non ferrose.
La principale fonte di piombo era rappresentata dall'utilizzo di questo elemento quali antidetonante nelle benzine: l'utilizzo della benzina verde ha portato ad una radicale diminuzione di questo inquinante nell'ambiente. Le rilevazioni effettuate sono inferiori agli 80 ng/m^3 previsti dalla normativa.
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.
I processi di formazione e lavorazione di leghe ferrose, prevedono l'utilizzo oltre che di minerali di ferro, di altri elementi quali vanadio, manganese, nichel, cobalto, cromo, molibdeno, rame e tungsteno. Tracce di questi elementi si possono ritrovare nell'aria ambiente, come componente del particolato fine.

2.9 Idrocarburi policiclici aromatici - IPA

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono una classe di composti organici formata da due o più anelli aromatici (es. benzene) condensati tra loro solitamente a formare una struttura piana. Si trovano naturalmente nel petrolio e la loro fonte antropica principale è data dalla combustione incompleta di legname, grassi, tabacco e combustibili fossili od organici in generale. I composti ad alto peso molecolare

sono inoltre abbondantemente presenti negli asfalti, nei bitumi e nel carbone. Il comportamento degli IPA nell'ambiente è fortemente legato al numero di anelli aggregati: i composti a basso peso molecolare risultano particolarmente volatili e maggiormente solubili. La loro solubilità in acqua rimane comunque scarsa o addirittura nulla per le strutture con un maggior numero di anelli, mentre risultano particolarmente solubili nelle sostanze lipidiche (lipofilia), aspetto questo che ne determina il bioaccumulo. Solitamente in aria non si ritrovano mai composti singoli ma miscele formate anche da decine di IPA differenti. Molti di questi sono stati classificati dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) come "probabili" o "possibili cancerogeni per l'uomo", eccezion fatta per il benzo(a)pirene che è stato classificato come "cancerogeno per l'uomo".

3 Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

La normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria è costituita dal 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 (PM10 e PM2.5), piombo (Pb), benzene (C_6H_6), oltre alle concentrazioni di ozono (O_3) e ai livelli nel particolato PM10 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 PM2.5 (25 $\mu g/m^3$, in vigore dal 1° gennaio 2015).

In questo documento è stato verificato il rispetto dei valori limite e/o valori obiettivo e di tutti gli indicatori riportati nelle tabelle da 1 a 3, per i seguenti parametri: NO_2, NOx, SO_2, CO, O_3, PM10, PM2.5, C_6H_6, Pb, As, Ni, Cd.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO_2	Soglia di allarme (*)	**500** $\mu g/m^3$
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	**350** $\mu g/m^3$
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	**125** $\mu g/m^3$
NO_2	Soglia di allarme (*)	**400** $\mu g/m^3$
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	**200** $\mu g/m^3$
PM10	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	**50** $\mu g/m^3$
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	**10** mg/m^3
O_3	Soglia di informazione (Media 1 h)	**180** $\mu g/m^3$
	Soglia di allarme (Media 1 h)	**240** $\mu g/m^3$
	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) Media su 8 h massima giornaliera	**120** $\mu g/m^3$
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Media su 8 h massima giornaliera	**120** $\mu g/m^3$

Tabella 1. 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 2. 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** μg/m^3
NO_X	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile	**30** μg/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** μg/m^{3}h
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	**6000** μg/m^{3}h

Tabella 3. Limiti di legge per la protezione degli ecosistemi.

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

Tabella 4. Linee guida di qualità dell'aria per i metalli da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

1 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 ed una pressione di 101,3 kPa) ed effettuano acquisizione, misura e registrazione dei risultati in modo automatico.
Il campionamento del particolato inalabile PM10 (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 PM10 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 azioni da intraprendere da parte delle Amministrazioni Comunali. 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).

4 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 5.

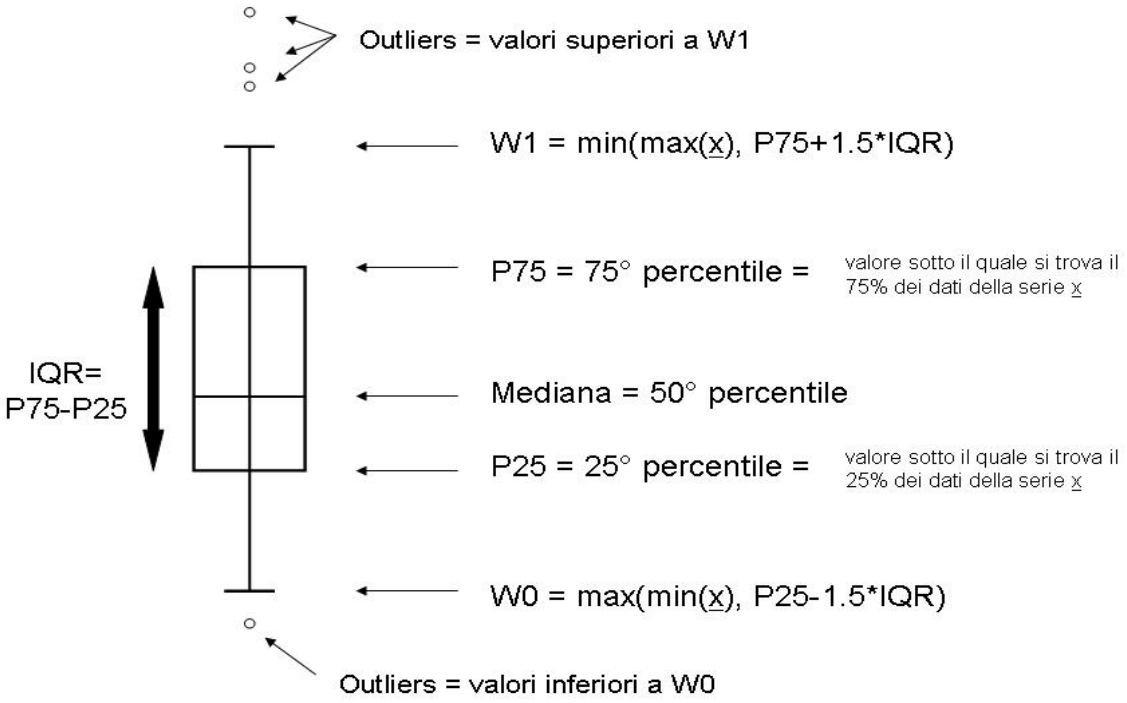


Figura 2. Schema esplicativo del box-Whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta ("box") indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata dal grafico è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita inferiormente il "box" è il 25% percentile, cioè il valore rispetto al quale il 25% dei dati è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita superiormente il "box" è il 75% percentile, cioè il valore rispetto al quale il 75% dei dati è inferiore. 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
N tot ore	Numero totale di ore del periodo di analisi
dati mancanti	Numero di ore in cui il dato è mancante
data.capture	Percentuale di dati validi in tutto il periodo di analisi
media	Media
sd	Deviazione Standard
min	Minimo
max	Massimo
mediana	Mediana
max giorn	Massimo calcolato sulle medie giornaliere
N superam 200	Numero di superamenti del limite orario di 200 mg/m3 per la concentrazione di NO2
N superam 400	Numero di superamenti della soglia di allarme di 400 mg/m3 per la concentrazione di NO2
N superam 120	Numero di superamenti del limite per la protezione della salute umana di 120 mg/m3 per la concentrazione di O3 (valutato sul massimo giornaliero della media mobile su 8 ore)
AOT40	Somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m3×ora e 80 µg/m3, nel periodo di tempo compreso tra maggio e luglio, utilizzando solo valori orari rilevati tra le ore 8:00 e le 20:00
N superam 180	Numero di superamenti della soglia di informazione di 180 mg/m3 per la concentrazione di O3 (valutato sulla media oraria)
N superam 240	Numero di superamenti della soglia di allarme di 240 mg/m3 per la concentrazione di O3 (valutato sulla media oraria)
N superam 50	Numero di superamenti del limite di 50 mg/m3 per la concentrazione media giornaliera di PM10
N superam 10	Numero di superamenti del limite di 10 mg/m^3 per la concentrazione di CO, valutato sulla media mobile di 8 ore
N superam 350	Numero di superamenti del limite di 350 µg/m^3 per la concentrazione media oraria di SO_2
N superam 125	Numero di superamenti del limite di 125 µg/m^3 per la concentrazione media giornaliera di SO_2

Tabella 5. Tabella esplicativa del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

4.1 Ossidi di azoto (NO_2)

Gli ossidi azoto sono rielvati presso utttte le stazioni poste in provincia di Verona.

Si osserva in Figura 3 che le serie temporali della concentrazione di NO_2 nelle diverse stazioni hanno un andamento molto simile, fatta eccezione per Bosco Chiesanuova e Fumane. La prima è una stazione di background rurale, localizzata in quota e lontano dalle fonti di pressione presenti in pianura, per la quale andamento e valori medi (Tabella 6) si discostano nettamente da quelli delle altre stazioni. La seconda, invece, nella prima parte dell'anno, fino al 22 maggio 2014, è stata un sito di tipo industriale, influenzata dalle emissioni della ditta Cementirossi; dopo tale data, il cementificio ha cessato la sua attività. L''assenza di questa fonte di pressione è ben evidente nella serie temporale, che nella seconda parte dell'anno mostra valori nettamente inferiori: la media della concentrazione di NO_2 per il primo periodo è 47 µg/m^3, mentre nel secondo è molto più bassa e pari a 13 µg/m^3. In Tabella 7 è stata riportata concentrazione media annua di NOx e PM10, nel periodo tra giugno e dicembre, negli anni dal 2011 al 2014: in tal modo è stato effettuato un confronto tra periodi caratterizzati dalle stesse condizioni climatiche (almeno mediamente), ma da diverse fonti di pressione. Nel 2014 il cementificio non era in funzione, negli anni precedenti era in attività. Si osserva che i valori medi relativi al 2014 sono molto più bassi di quelli degli anni precedenti, confermando che il cementificio è stato una fonte emissiva importante, che ha inciso fortemente sulla qualità dell'aria di Fumane.

Tabella 6 e Figura 4 mostrano che i valori medi annuali più elevati si trovano nelle tre stazioni di San Bonifacio, Verona – Borgo Milano e Ca' del Bue, mentre quelli più bassi si trovano a Bosco Chiesanuova.

Osservando invece i valori massimi, quelli più elevati si trovano a San Bonifacio. Segue Fumane, per la presenza di picchi di concentrazione di NO_2 nella prima parte dell'anno, probabilmente associati alle

emissioni del cementificio. Anche la stazione di Legnago, pur essendo considerata di “fondo urbano”, mostra dei valori massimi molto elevati.

Il giorno tipo della concentrazione di NO_2, mostrato in Figura 5, è molto simile per le varie stazioni, mostrando due picchi, il primo tra le 6 e le 8 e il secondo tra le 18 e le 20, che coincidono con i picchi di traffico, principale fonte di pressione per questo inquinante. L'andamento della concentrazione di NO_2 rilevato presso la stazione di Bosco Chiesanuova, stazione di fondo remoto e posta relativamente in quota, si discosta e mostra un aumento della concentrazione nelle ore serali.

La settimana tipo, rappresentata in Figura 6, mostra un picco tra giovedì e venerdì, e un minimo la domenica, confermando la relazione di questo inquinante col traffico.

Figura 7 mostra le medie mensili, ed evidenzia che le concentrazioni più elevate si raggiungono in inverno (gennaio e marzo) e quelle minime in estate (agosto): questo comportamento si spiega con l’influenza delle condizioni meteorologiche, che nel periodo estivo sono più favorevoli al rimescolamento dello strato atmosferico più vicino alla superficie e quindi alla diluizione degli inquinanti. Ancora una volta si vede come la stazione di Fumane si discosta dalle altre, mostrando un picco nelle concentrazioni medie mensili a marzo, e i valori più bassi dopo la chiusura del cementificio.
Le concentrazioni medie mensili rilevate a Bosco Chiesanuova varia fra un massimo pari a 14 µg/m^3 a gennaio a un minimo pari a 8 µg/m^3 nei mesi estivi: in questo caso l'assenza di fonti emissive nelle vicinanze dalla stazioni fa sì che i valori rielvati siano legati alle condizioni meteorologiche e al trasporto degli inquinanti da aree più lontane.

Non è avvenuto alcun superamento dei limiti normativi relativi a questo inquinante.

NO_2 (µg/m^3)	Bosco Chiesanuova	Fumane	Legnago	San Giovanni Lupatoto	San Bonifacio	Borgo Milano	Cason	Ca' del Bue
N tot ore	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
dati mancanti	523	383	117	590	711	443	449	373
data.capture	94	96	99	93	92	95	95	96
media	10	26	22	26	36	29	25	33
sd	7	25	15	16	20	17	15	20
min	2	2	2	2	2	2	2	2
max	67	159	133	117	169	108	102	127
mediana	8	16	18	24	34	27	22	31
max giorn	42	75	56	59	72	60	55	63
N superam 200	0	0	0	0	0	0	0	0
N superam 400	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 6. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di NO_2 ($\mu g/m^3$) misurata presso le centraline di qualità dell’aria della provincia di Verona.

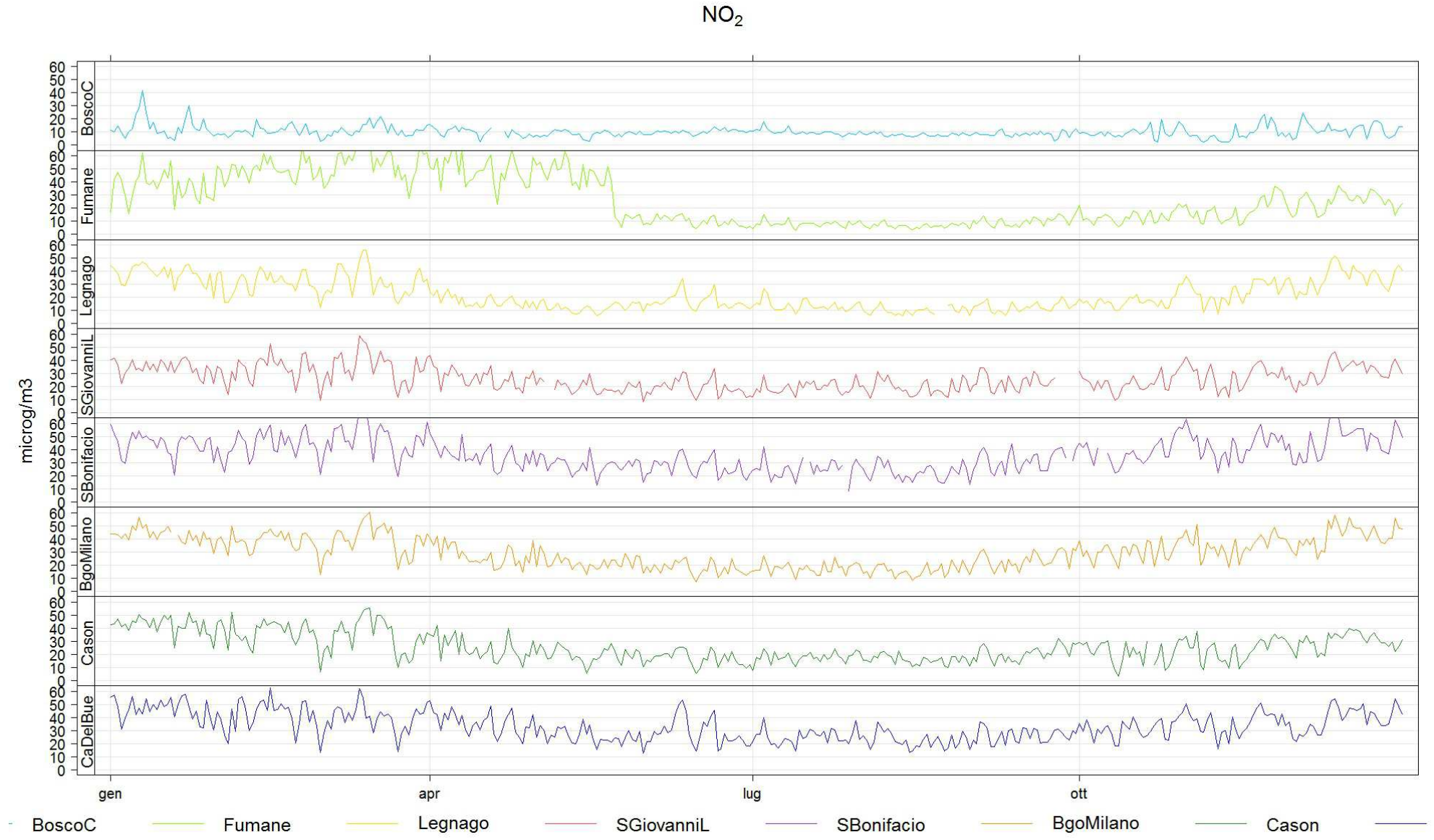


Figura 3. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di NO2 (µg/m3), per l'anno 2014, per le diverse centraline di misura.

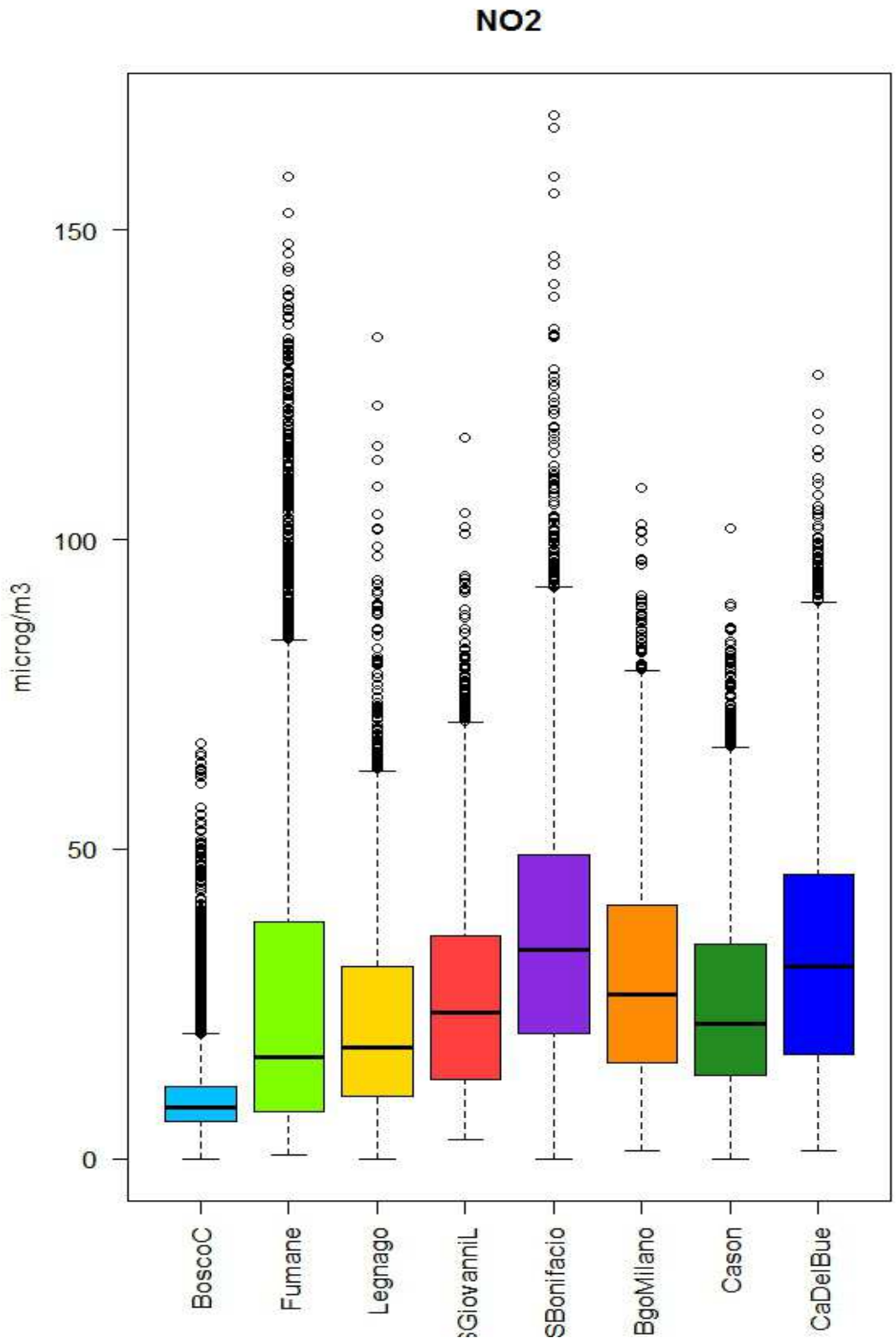


Figura 4. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di NO2 (μg/m3) nel 2014, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

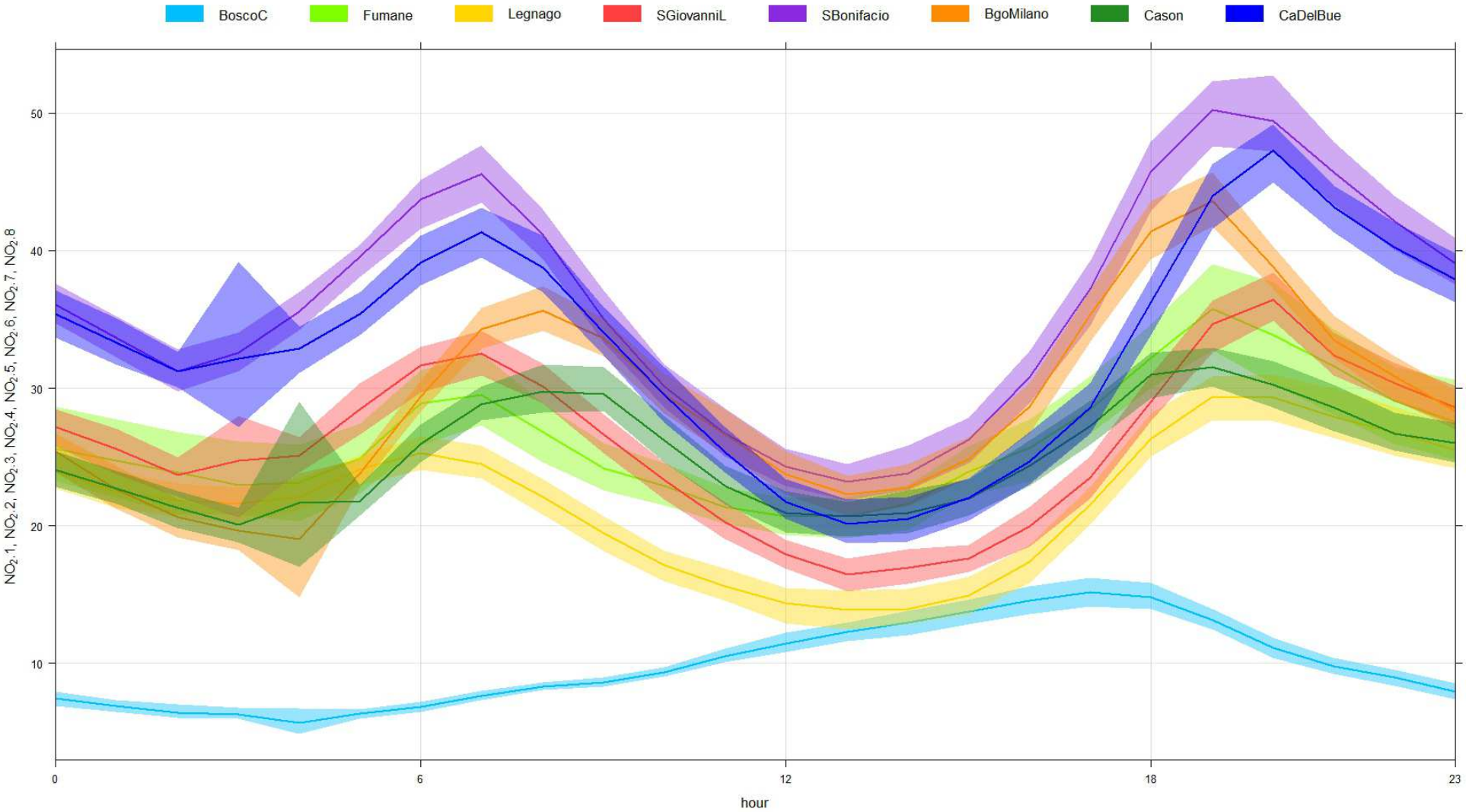


Figura 5. Giorno tipo per la concentrazione di NO2 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico.

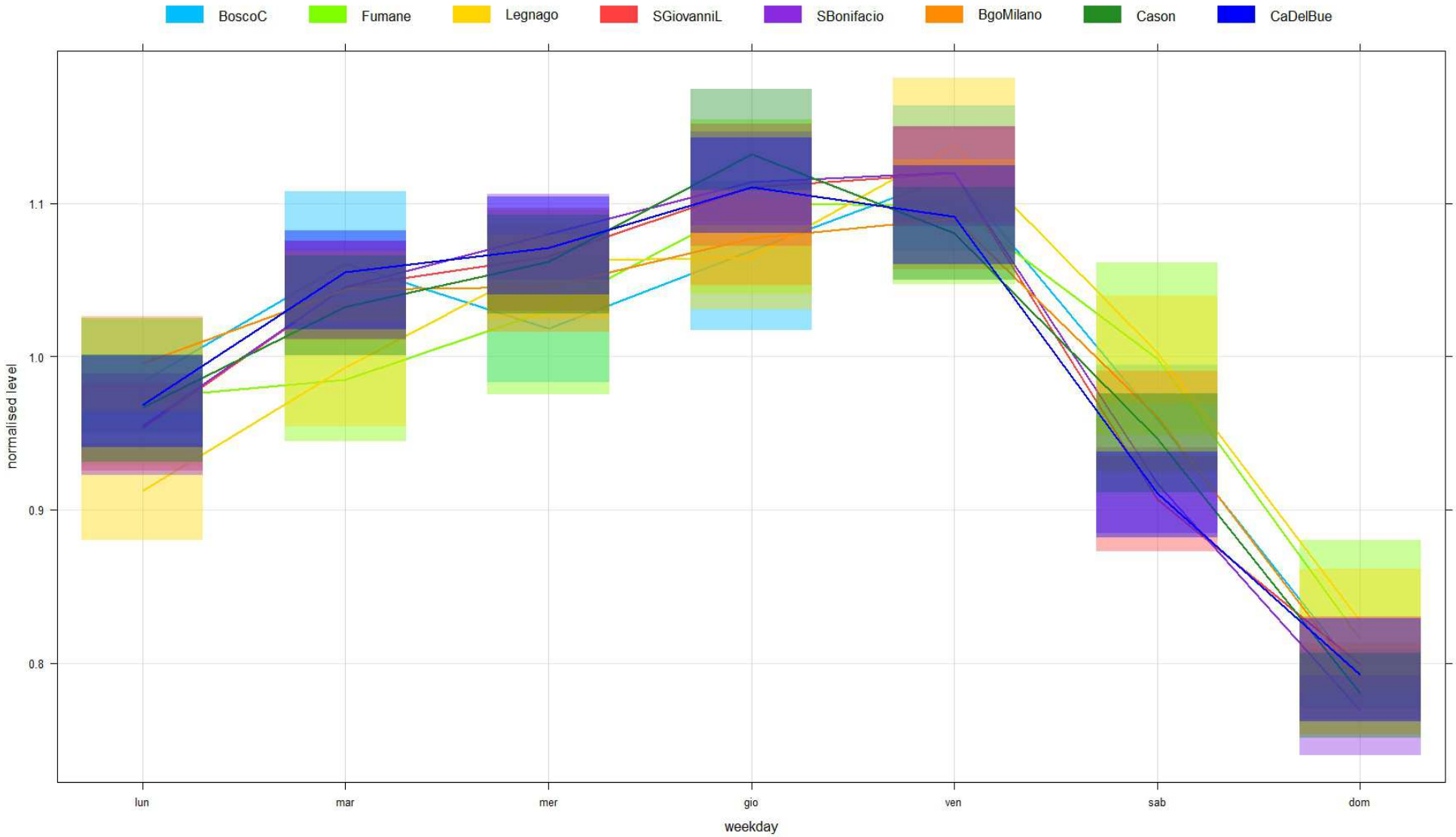


Figura 6. Settimana tipo della concentrazione di NO_2 ($\mu g/m^3$), presso le diverse centraline di misura.

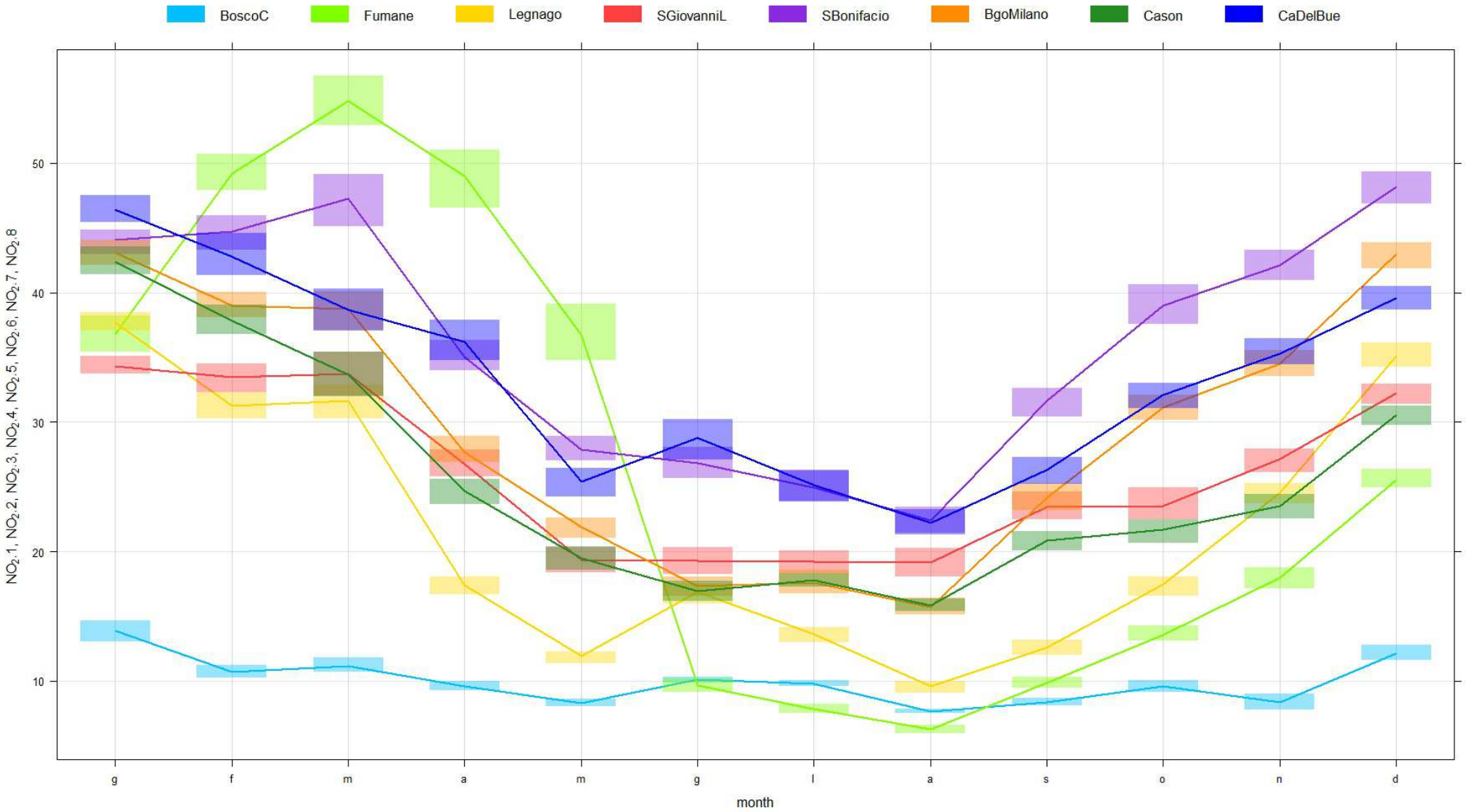


Figura 7. Medie mensili della concentrazione di NO_2 ($\mu g/m^3$), presso le diverse centraline di misura.

Anno	NO_X (µg/m^3)	PM10 (µg/m^3)
2011	84	29
2012	63	29
2013	66	29
2014	24	19

Tabella 7: Concentrazione media di NOx e PM10 a Fumane nel periodo compreso tra giugno e settembre, negli anni dal 2011 al 2014.

4.2 Analisi del monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio (CO), viene rilevato dalle stazioni delal rete regionale di qualità dell'aria di Verona – Borgo Milano (traffico urbano), Boscochiesanuova (fondo remoto) e dalle stazioni di San Giovanni Lupatoto e Ca' delBue (rete di moniraggio dell'impianto AGSM di Ca' del Bue)

I valori medi e massimi di concentrazione di CO sono molto bassi, se si tiene conto che il limite di rilevabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m^3. I valori medi e massimi più elevati sono quelli della stazione di Borgo Milano, e sono comunque di un ordine di grandezza inferiori al limite normativo di 10 mg/m^3.

La Figura 8 mostra che le serie temporali della concentrazione di questo inquinante hanno un andamento simile nelle stazioni di San Giovanni Lupatoto, Borgo Milano e Ca' del Bue. Il giorno tipo della concentrazione di CO (Figura 10) mostra due picchi che coincidono con quelli dell'NO_2 e del traffico, e anche la settimana tipo (Figura 11) mostra un minimo alla domenica. Anche per questo inquinante l'influenza della componente meteorologica sulle medie mensili è evidente (Figura 12): i valori massimi si trovano in inverno e i minimi in estate. Invece la centralina di Bosco Chiesanuova mostra un andamento che si discosta da quello delle altre località.

CO (mg/m^3)	Bosco	SGiovanniL	BgoMilano	CaDelBue
N tot ore	8760	8760	8760	8760
dati mancanti	397	526	461	370
data.capture	95	94	95	96
media	0.3	0.1	0.4	0.2
sd	0.1	0.2	0.2	0.2
min	0.0	0.0	0.0	0.0
max	0.7	1.6	1.7	1.6
mediana	0.3	0.0	0.3	0.2
max giorn	0.5	0.7	1.0	0.9
roll.8.CO.gt.10	0	0	0	0

Tabella 7. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di CO (mg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona.

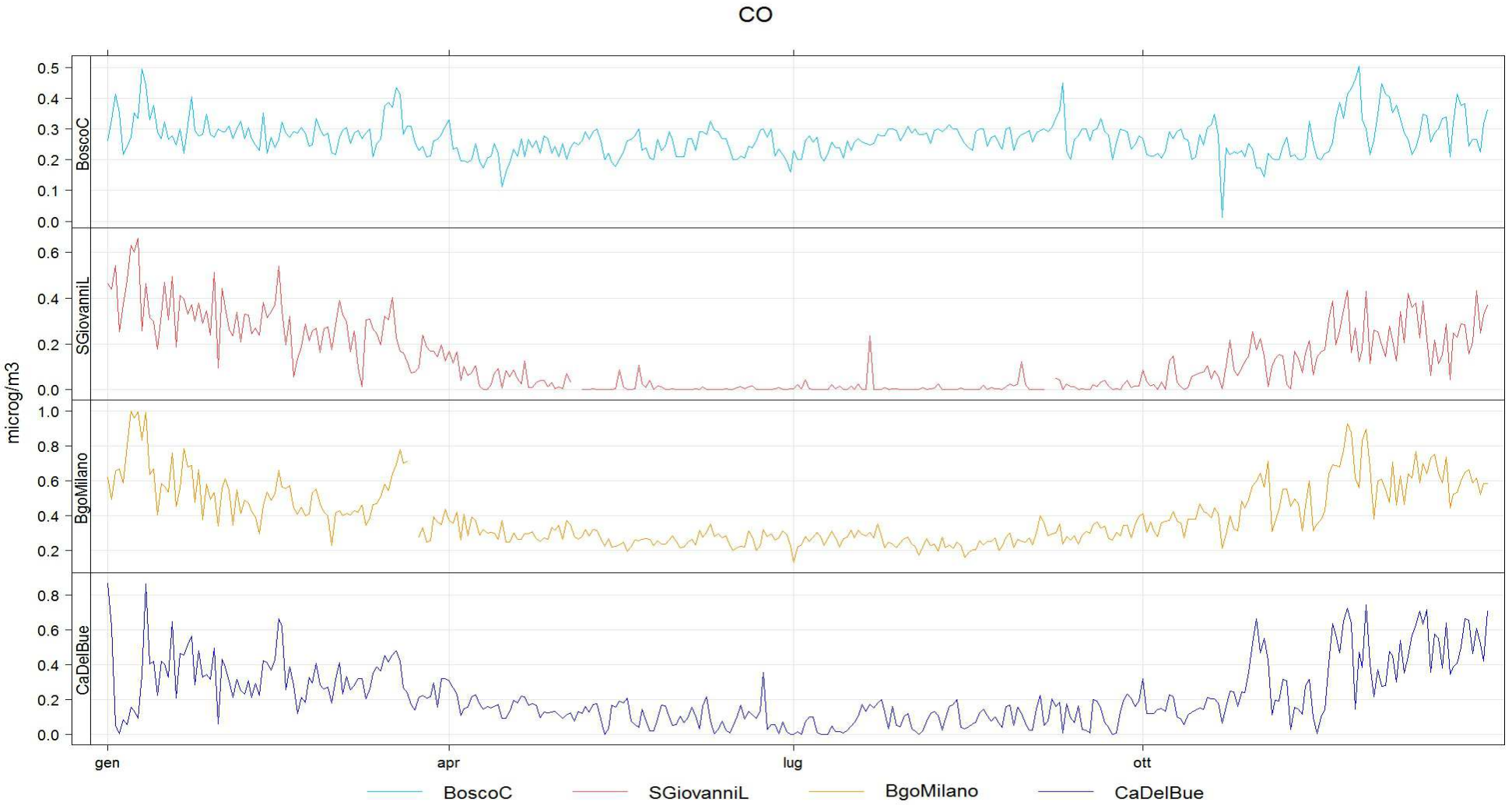


Figura 8. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di CO (mg/m3), per l'anno 2014, per le diverse centraline di misura.

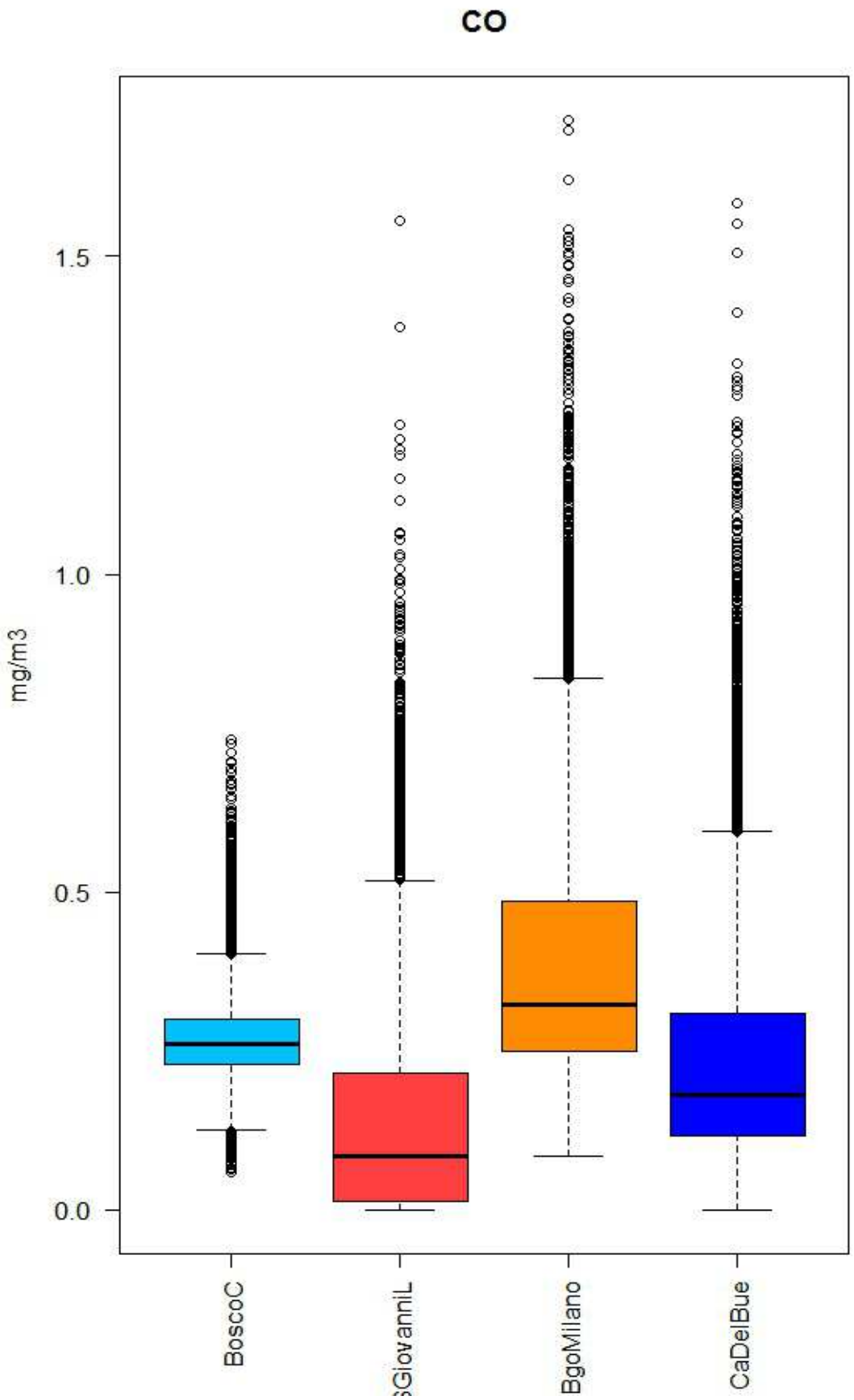


Figura 9. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di CO (mg/m3) nel 2014, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

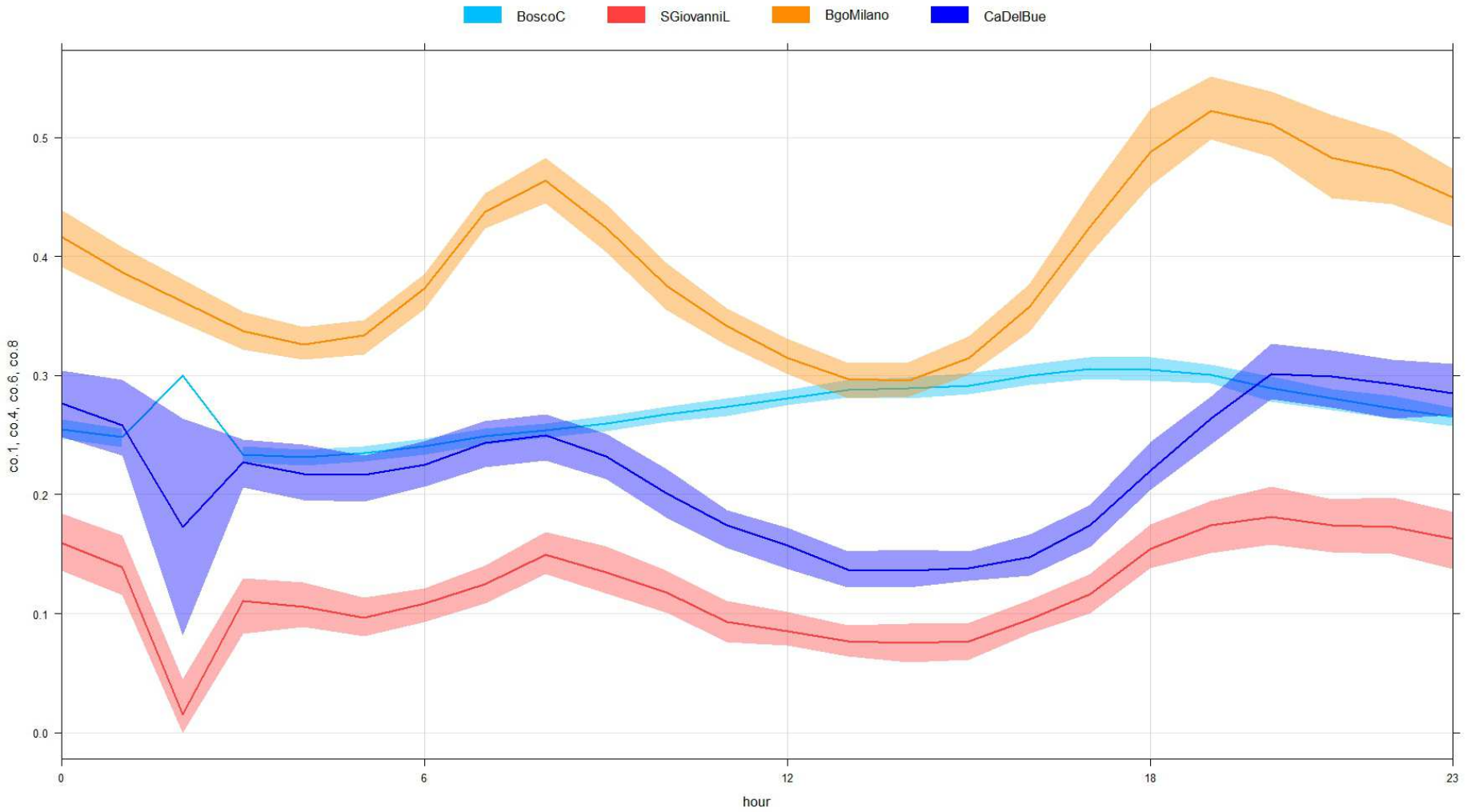


Figura 10. Giorno tipo per la concentrazione di CO (mg/m^3), presso le diverse centraline di misura. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media: esso è più ampio alle ore 2, perché in corrispondenza di questa ora avviene generalmente la taratura dello strumento, e i dati disponibili sono di meno.

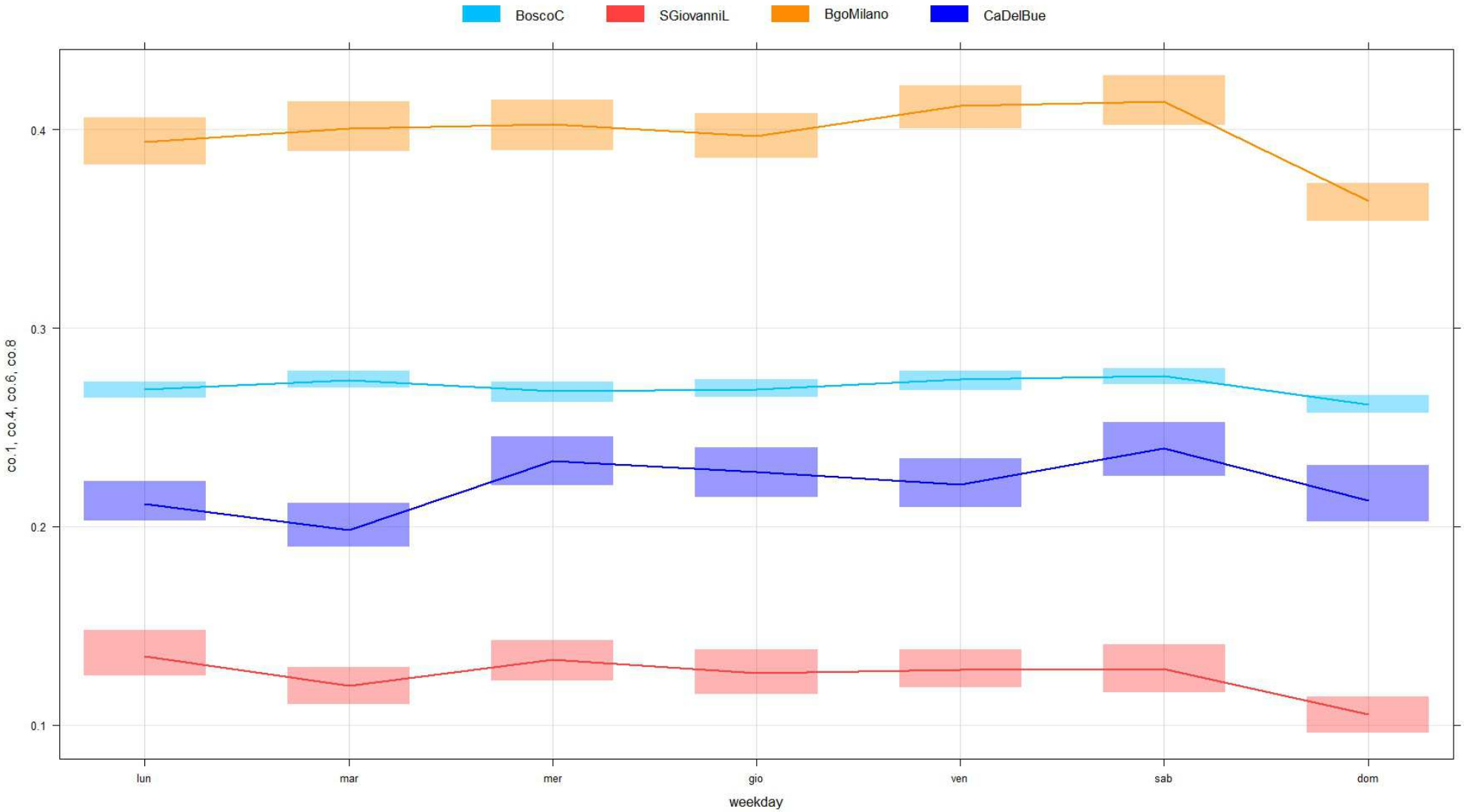


Figura 11. Settimana tipo della concentrazione di CO (mg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

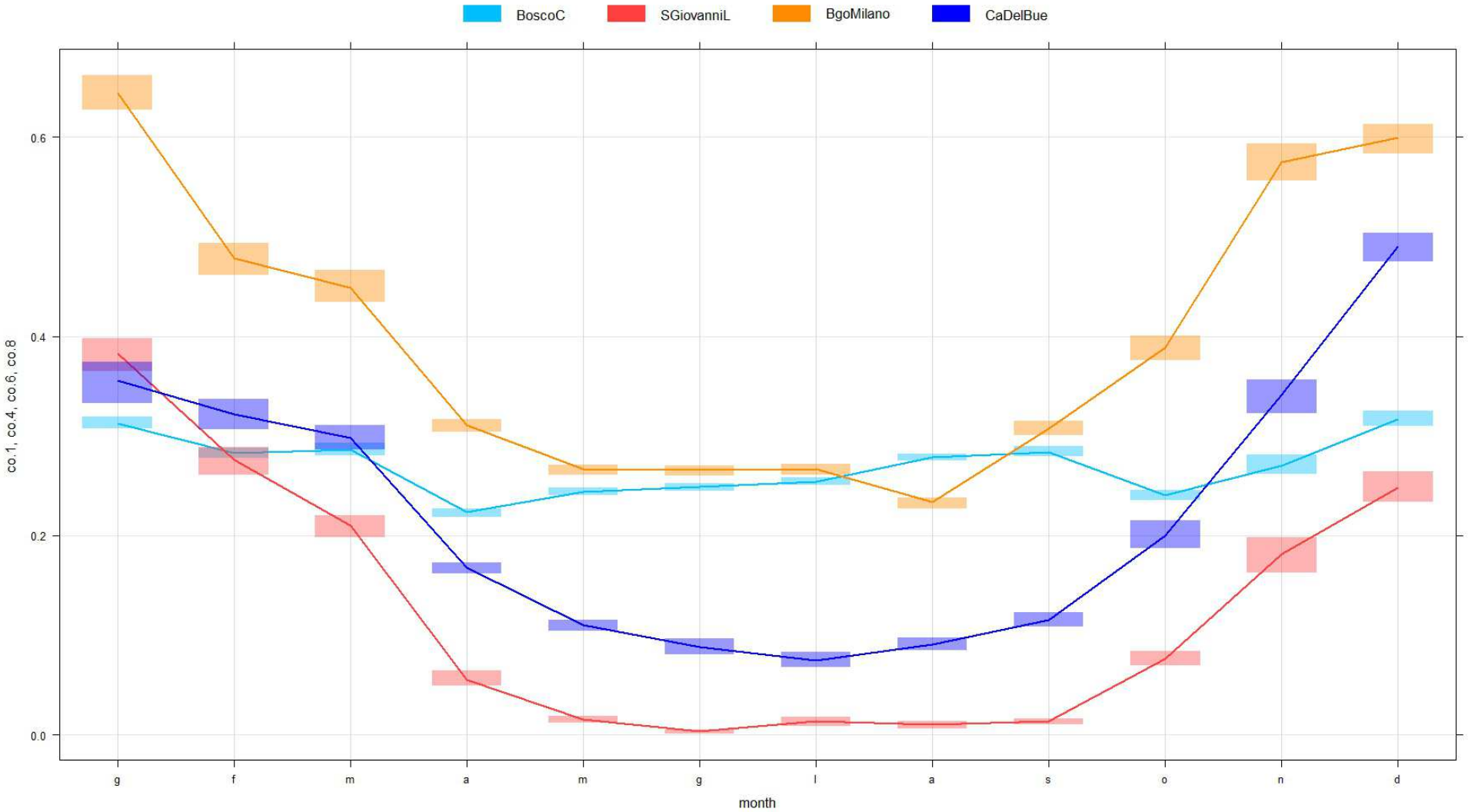


Figura 12. Medie mensili della concentrazione di CO (mg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

4.3 Analisi del biossido di zolfo (SO_2)

Il biossido di zolf (SO_2), viene rilevato dalle stazioni della rete regionale di qualità dell'aria di Verona – Borgo Milano (traffico urbano), Boscochiesanuova (fondo remoto). San Bonifacio e dalle stazioni di San Giovanni Lupatoto e Ca' delBue (rete di monitoraggio dell'impianto AGSM di Ca' del Bue)

I valori medi di SO_2 sono molto bassi, inferiori al limite di rilevabilità dello strumento di misura, pari a 5 µg/m3. Tuttavia, ci sono degli episodi in cui i valori orari risultano più elevati, come evidente dai valori dei massimi, riportati in Tabella 8, e dagli "outliers" nel box-whisker plot di Figura 13.

I valori medi più elevati si trovano a Fumane, ma anche San Bonifacio e Ca' del Bue mostrano singoli valori che superano i 20 µg/m^3. Ambedue le stazioni di Fumane e San Bonifacio sono influenzate dalla presenza di un impianto industriale nelle vicinanze. La stazione di Ca' del Bue si trova nei pressi di arterie intereasssate da un flusso notevole di veicoli pesanti (austrada A4 e tangenziale)

Tutti i valori sono comunque ampiamente inferiori ai limiti legislativi di 125 µg/m^3 (limite di 24 ore) e 350 µg/m^3 (limite orario).

SO_2 (µg/m^3)	BoscoC	Fumane	SGiovanniL	SBonifacio	BgoMilano	CaDelBue
media	2	4	2	3	2	3
sd	1	3	1	2	1	2
min	2	2	2	2	2	2
max	9	26	24	21	9	20
mediana	2	2	2	2	2	2
max giorn	6	13	7	7	8	13
hours.gt.350	0	0	0	0	0	0
hours.gt.125	0	0	0	0	0	0
N tot ore	8760	8760	8760	8760	8760	8760
dati mancanti	486	440	838	681	382	776
data.capture	94	95	90	92	96	91

Tabella 8. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di SO2 (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona.

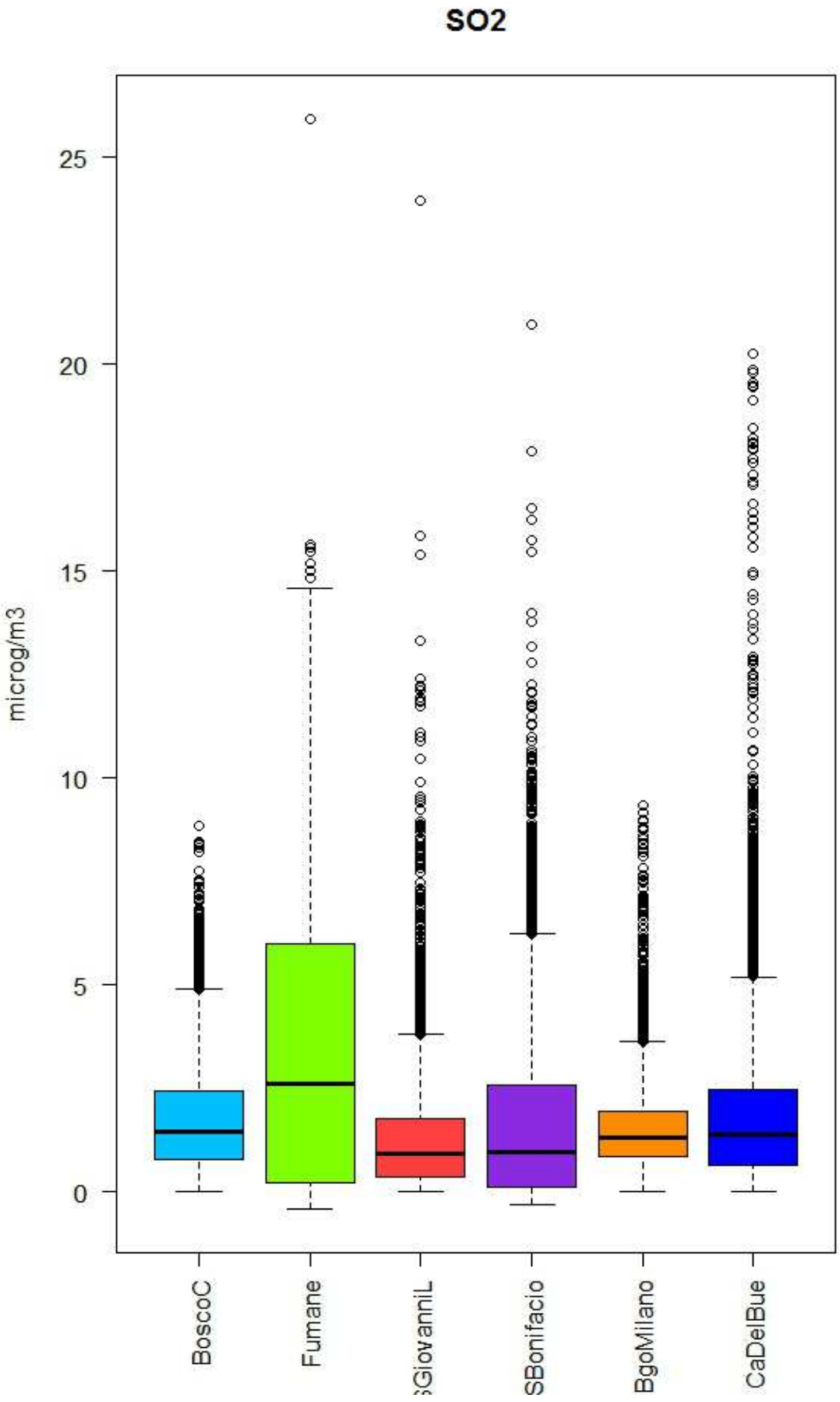


Figura 13. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di SO2 (μg/m3) nel 2014, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

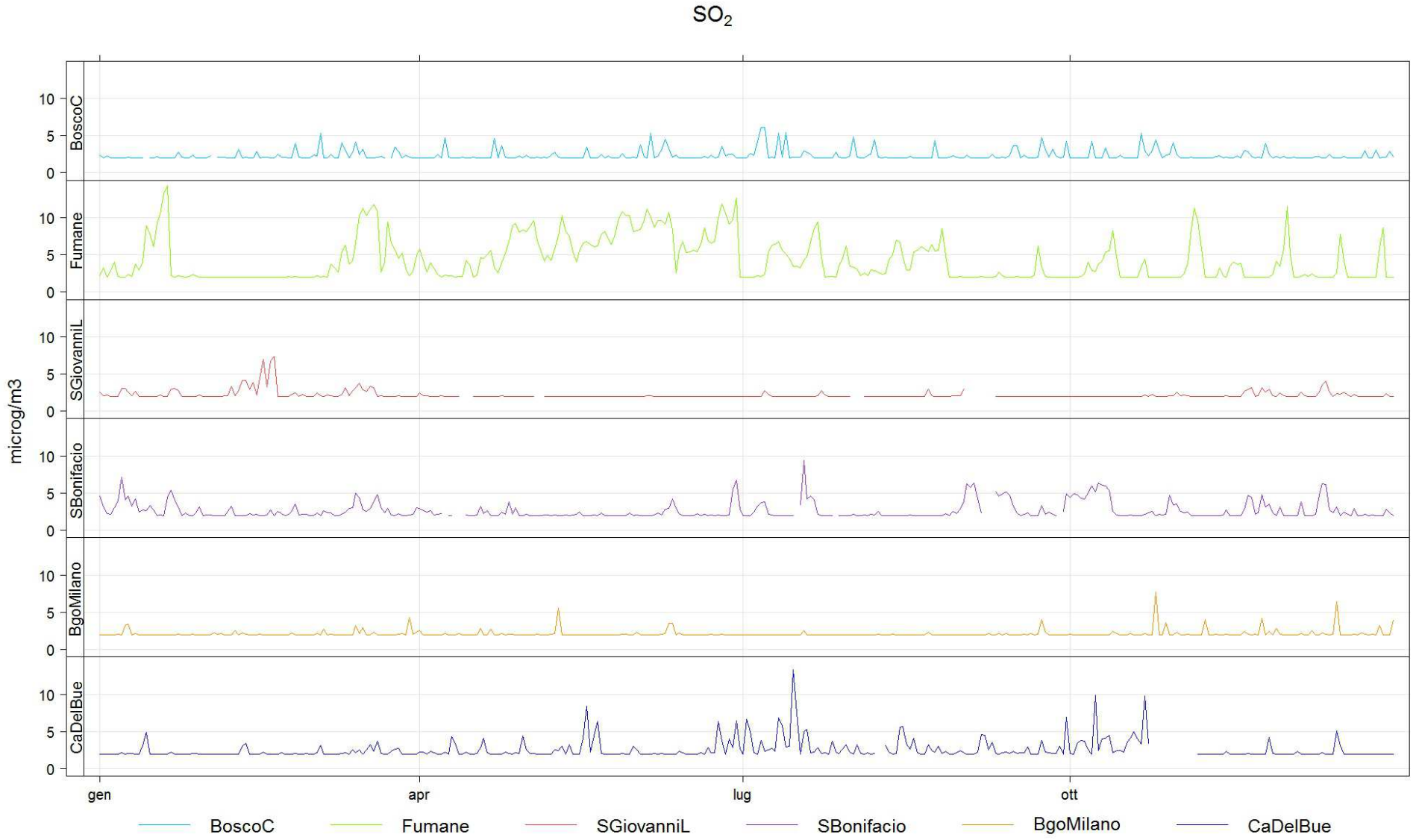


Figura 14. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di SO_2 ($\mu g/m3$), per l'anno 2014, per le diverse centraline di misura.

4.4 Analisi dell'ozono (O_3)

La concentrazione di ozono è rilevata dalle stazioni dela rete provinciale di qualità dell'aria di Verona – Cason , boscochiesanuova, Legnago e San Bonifacio.

L'ozono è un inquinante che si forma a partire da precursori quali ossidi di azoto e composti organici volatili, in presenza di radiazione solare. Per questo motivo le sue concentrazioni sono particolarmente elevate durante il periodo estivo (Figure 16, 17 e 20) e nelle ore centrali della giornata, (Figura 18), quando la radiazione solare è più intensa. In particolare, nel 2014, il mese più critico è stato giugno.

L'andamento della settimana tipo, riportato in Figura 19, che mostra valori massimi durante il fine settimana, si spiega con il fatto che il biossido di azoto tende a combinarsi con l'ozono, rimuovendolo dall'atmosfera: per questo motivo, la concentrazione di ozono e quella degli ossidi di azoto sono anticorrelate.

Nel corso dell'anno 2014, 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 9).

I valori medi e massimi più elevati si trovano a Bosco Chiesanuova (Figura 15). Questa stazione mostra un andamento della concentrazione di ozono che si discosta nettamente da quello delle altre postazioni: l'aumento della concentrazione nelle ore centrali della giornata è molto meno marcato (Figura 18), come anche la variazione nel corso dell'anno e durante la settimana (Figura 20 e Figura 21). Questo comportamento è tipico delle stazioni situate al di sopra dei 900 m di altitudine slm, lontane da fonti di pressione ambientale. Attraverso i fenomeni convettivi tipici dello strato mescolato e le circolazioni locali legate a effetti geografici (brezze monte-valle), l'ozono viene trasportato dalle aree di pianura, dove si forma tramite il processo fotochimico, in montagna. Presso queste stazioni, è bassa la concentrazione di altri inquinanti, come ossidi di azoto: questo impedisce la reazione di combinazione di ozono e ossido di azoto, che comporterebbe la rimozione dell'ozono nelle ore notturne. 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.

Tutto ciò è confermato anche dall'analisi di Figura 21, dove si mostra che a Bosco Chiesanuova le concentrazioni più elevate di ozono vengono misurate sia quando il vento soffia da nord (quindi da aree di fondo rurale) sia quando soffia da sud (quindi dalla pianura, dove sono elevate le concentrazioni dei vari inquinanti) in autunno, primavera ed estate; in inverno, invece, si hanno concentrazioni più elevate con venti che spirano da nord: questo, probabilmente, perché l'aria che proviene da sud, cioè dalla valle, in inverno è povera di questo inquinante, a causa della bassa radiazione e degli elevati livelli di ossidi di azoto.

Le condizioni meteorologiche particolari che hanno caratterizzato l'estate 2014 hanno inlfuito anche sulla concentrazione di ozono: i grafici di figura 16 e di figura 17 e 20 mostrano che i valori più elevati sono stati misurati in giugno, mentre luglio e agosto sono stati caratterizzati da valori inferiori, tipici del periodo primaverile.

O_3 (µg/m^3)	BoscoC	Legnago	San Bonifacio	Cason
media	79	51	42	42
sd	29	40	38	36
min	2	2	2	4
max	230	214	207	188
mediana	78	46	32	31
max giorn	186	129	129	110
N superam 120	51	49	29	21
AOT40	36226	36020	25439	21572
N superam 180	33	26	17	4
N superam 240	0	0	0	0
N tot ore	8760	8760	8760	8760
dati mancanti	387	379	508	489
data.capture	96	96	94	94

Tabella 9. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di O_3 (µg/m^3) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona.

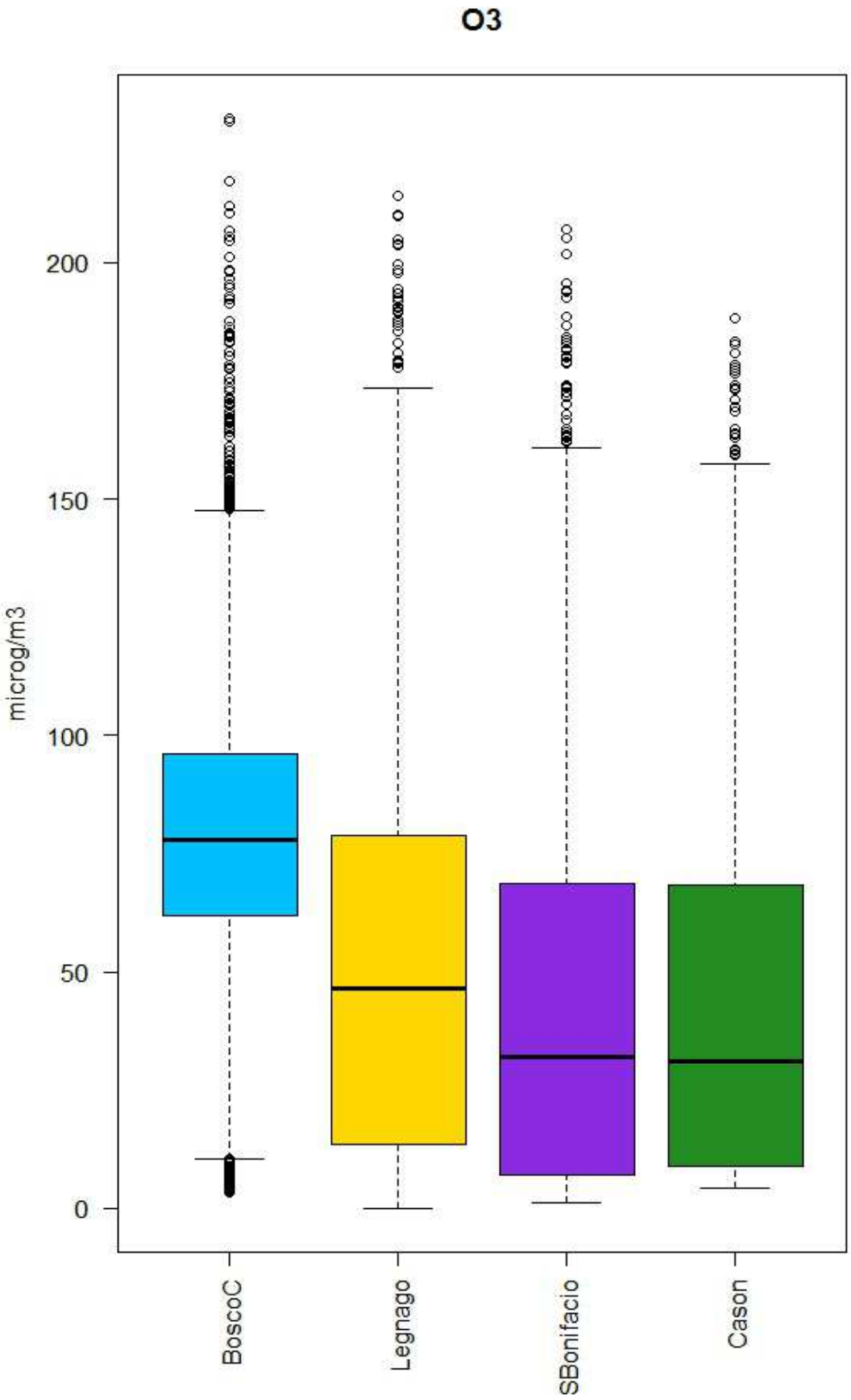


Figura 15. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di O_3 ($\mu g/m^3$) nel 2014, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

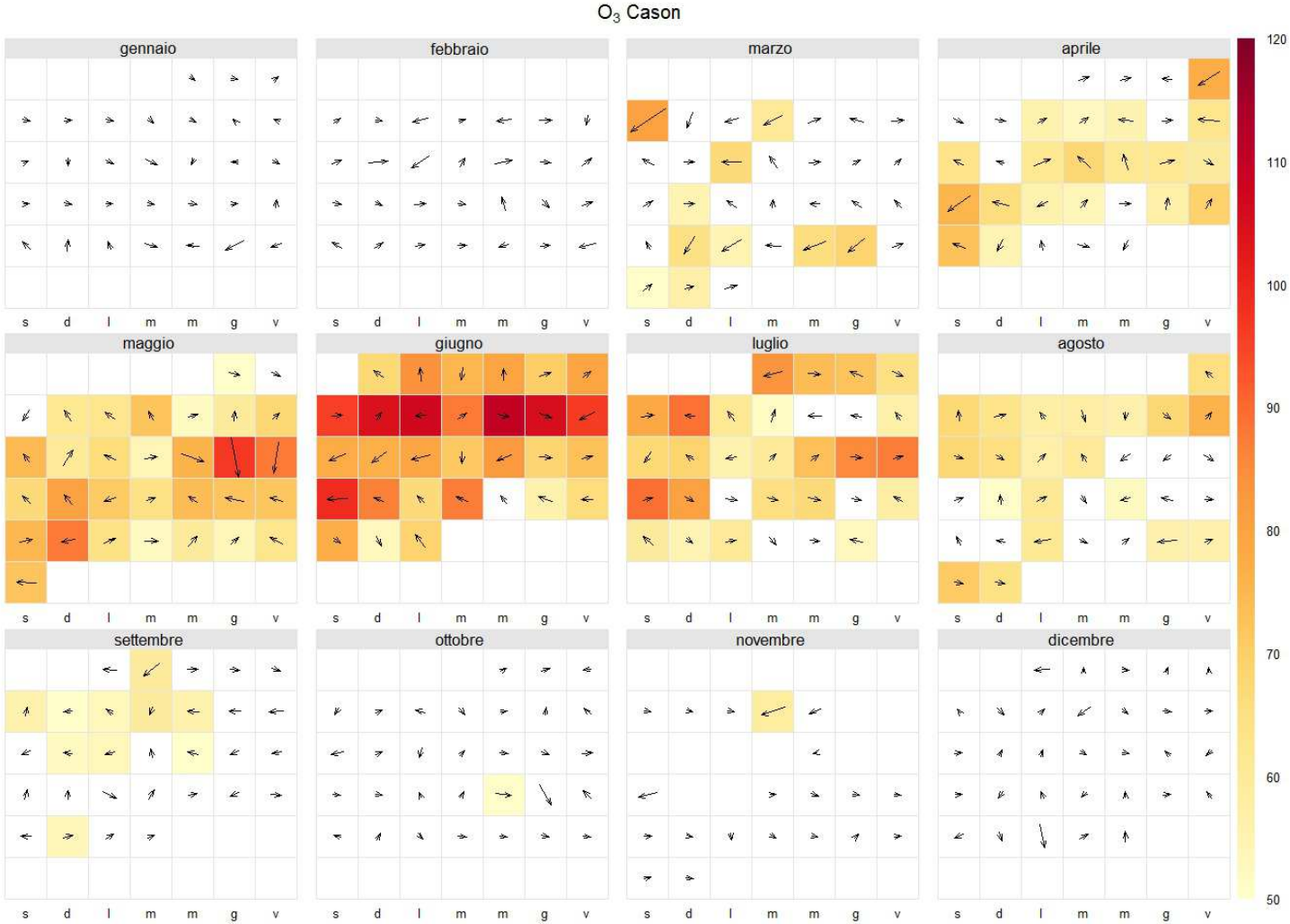


Figura 16. Grafico-calendario, in cui sono evidenziati i giorni dell'anno in cui la concentrazione di O_3 a Verona – Cason ha superato i 50 $\mu g/m^3$, con un colore che tende al rosso per le concentrazioni medie giornaliere più elevate.

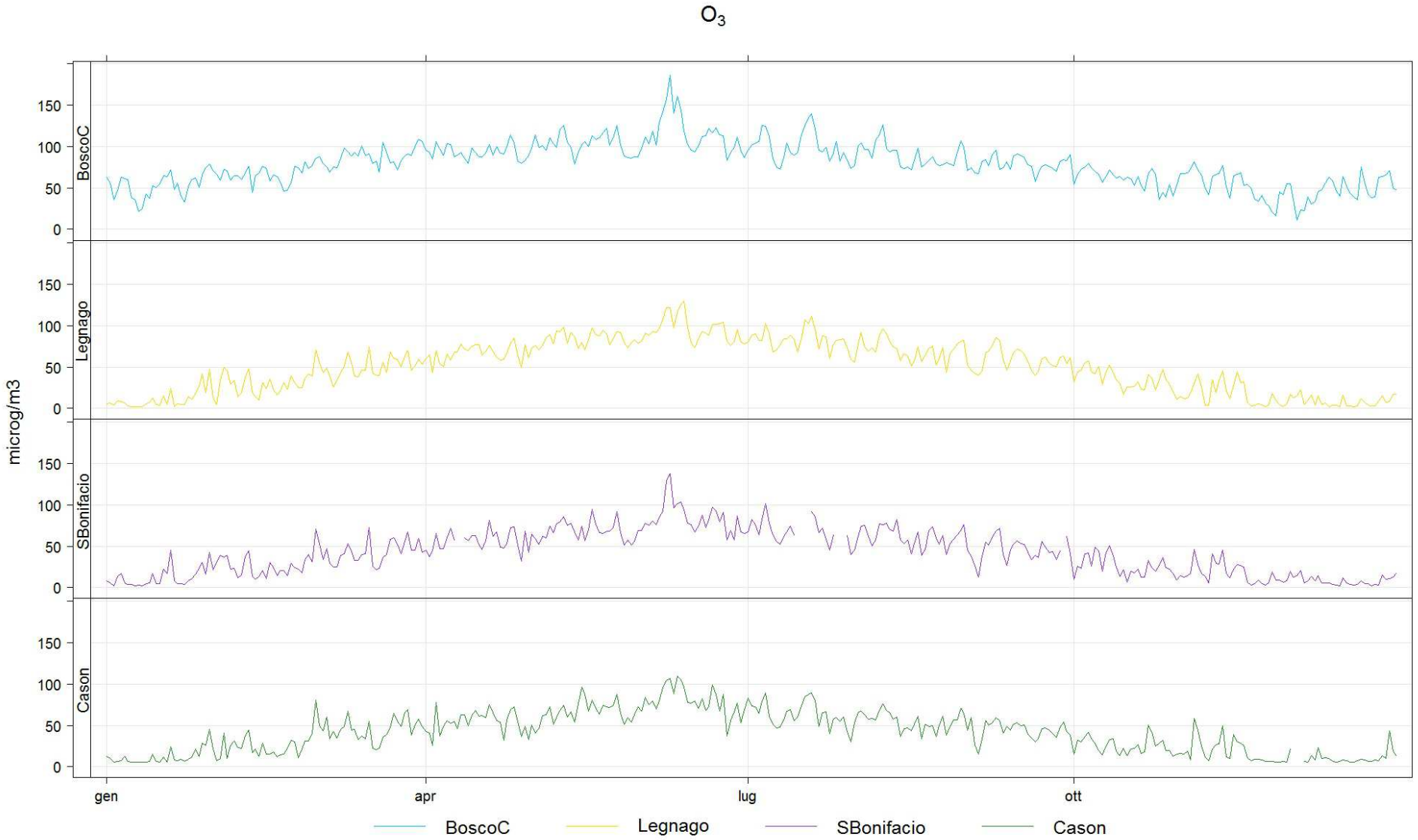


Figura 17. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di O3 (µg/m3), per l'anno 2014, per le diverse centraline di misura.

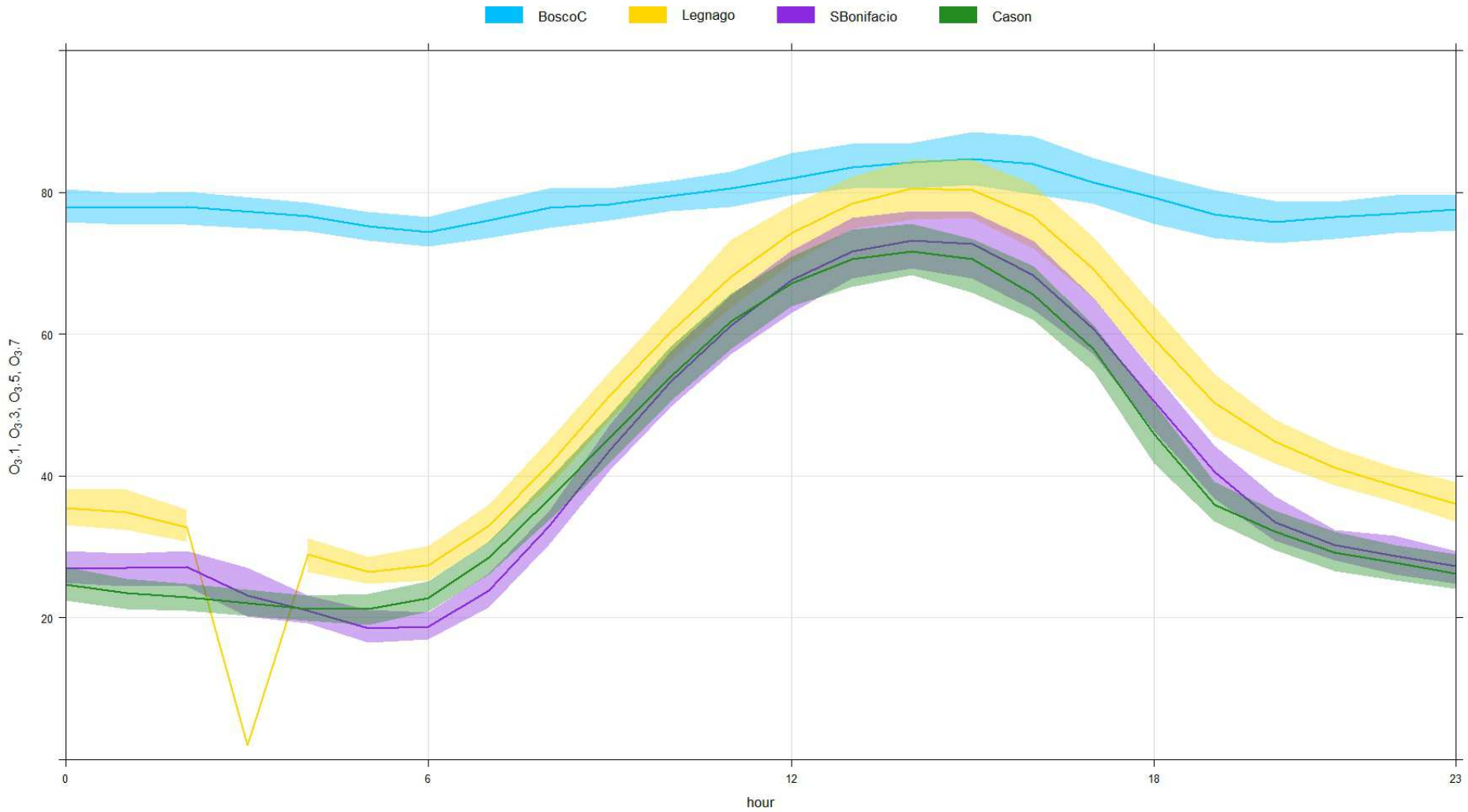


Figura 18. Giorno tipo O3 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media. Il dato delle ore 3 di Legnago manca a causa della taratura dello strumento.

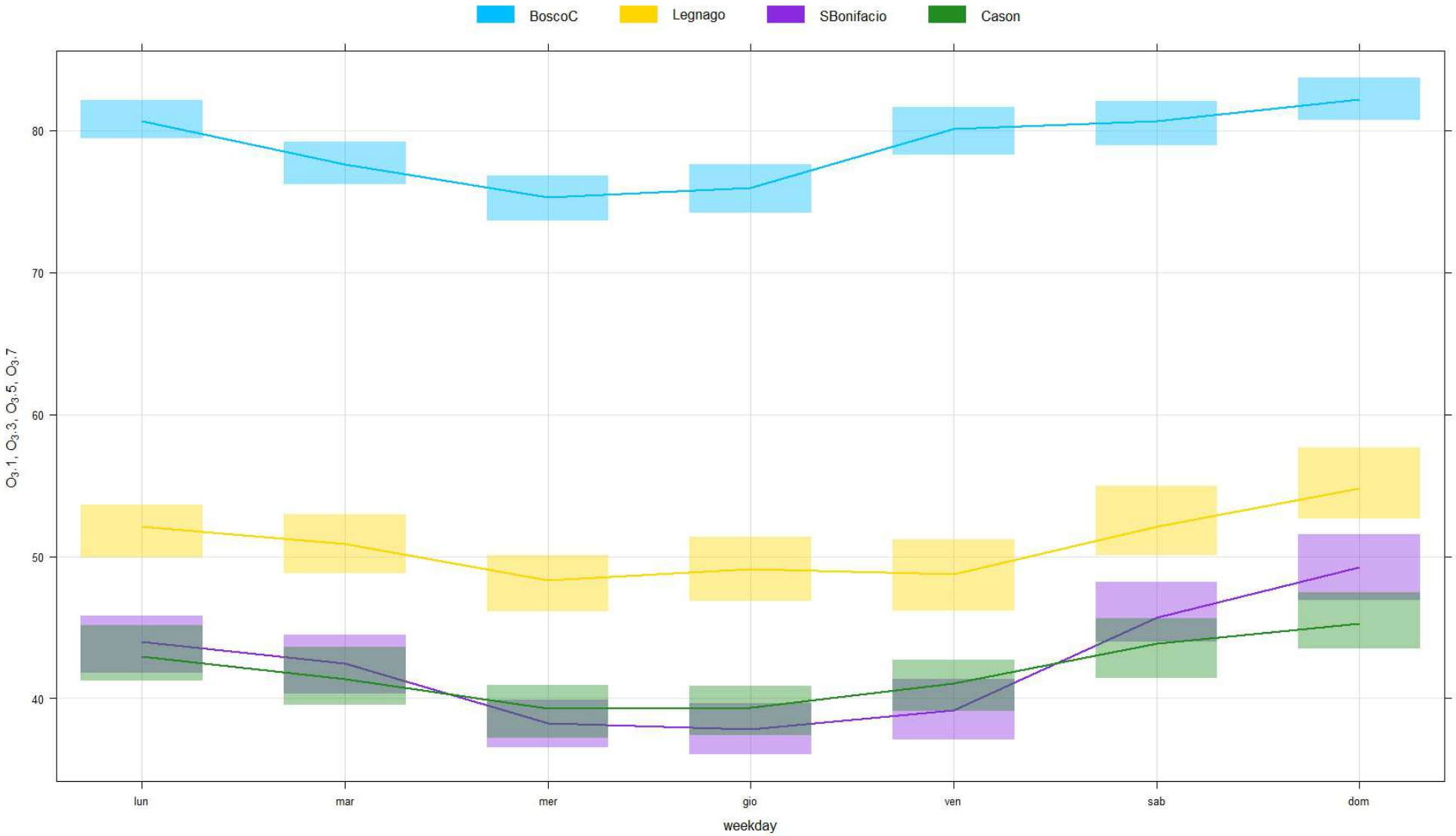


Figura 19. Settimana tipo O3 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

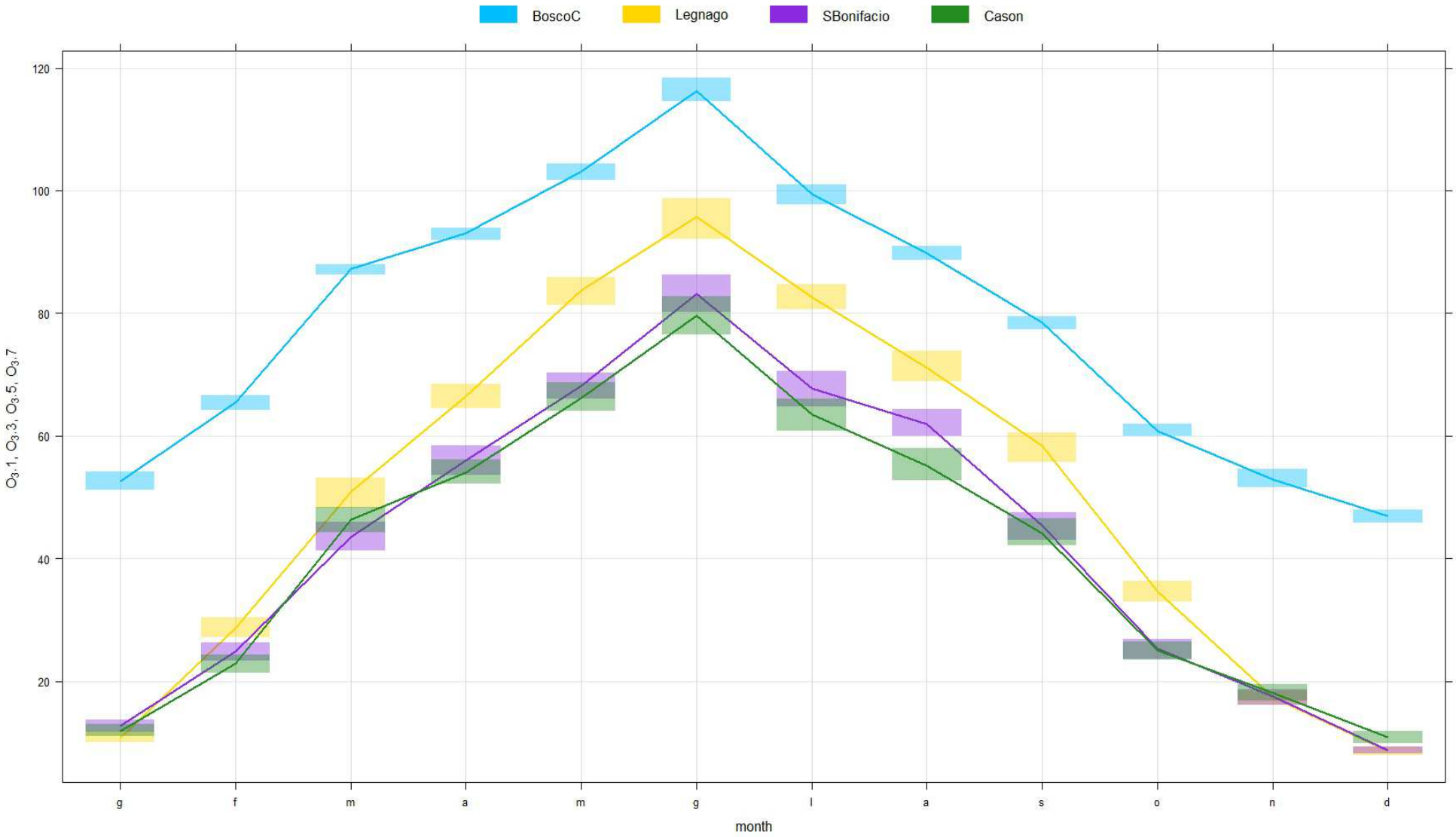


Figura 20. Medie mensili di O3 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

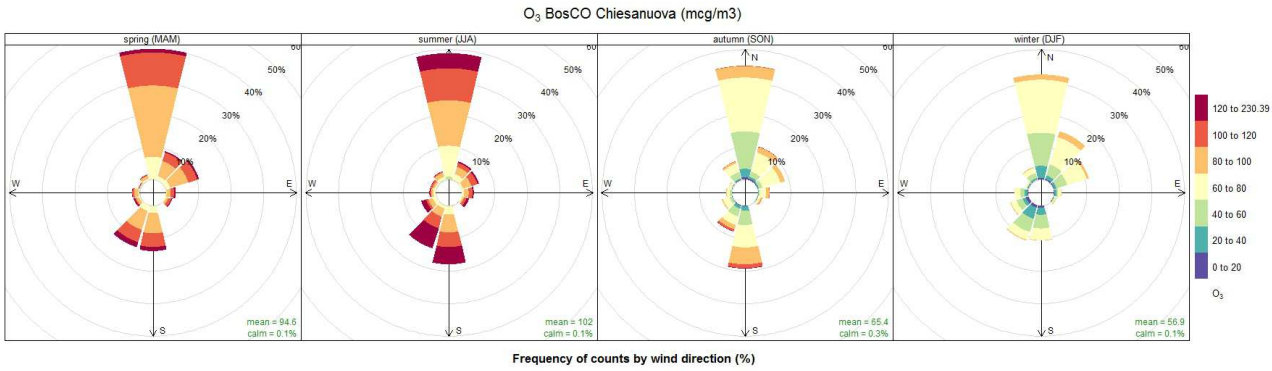


Figura 21. Relazione tra direzione del vento e concentrazione media di O_3 ($\mu g/m^3$)a Bosco Chiesanuova nelle quattro stagioni dell'anno (da sinistra a destra : primavera, estate, autunno, inverno). Come si vede, i venti provengono prevalentemente dai settori settentrionali e meridionali, a causa di un regime di brezza monte-valle, per cui si ha un vento da nord durante la notte e da sud durante il giorno. I colori tendenti al rosso indicano concentrazioni più elevate di O_3. Si osserva che le maggiori concentrazioni sono in primavera ed estate, con venti provenienti sia da nord sia da sud; in inverno le maggiori concentrazioni sono portate da venti settentrionali.

4.5 Analisi del materiale particolato di diametro inferiore a 10 μm (PM10)

Le concentrazioni di Pm10 sono rilevate dalle stazioni di Verona, Borgo milano e Cason, di San Bonifacio, Legnago e Bosco Chiesanuova. Presso le stazioni di Bosco Chiesanuova e San Bonifacio, sono disponibili anche i dati orari di PM10 misurato con metodo ottico. Questi dati sono stati utilizzati per visualizzare l'andamento delle serie temporali (Figura 23 e Figura 24).

Per questo inquinante, come per gli ossidi di azoto, i valori più elevati si trovano nelle stazioni di traffico e di fondo urbano e suburbano, mentre Bosco Chiesanuova e Fumane presentano valori medi inferiori (Tabella 10 e Figura 22). Nelle stazioni della pianura (Legnago, San Bonifacio, Veona - Borgo Milano e Verona - Cason) è stato superato il numero massimo di giornate in cui il valor medio della concentrazione di PM10 ha superato i 50 $\mu g/m^3$, mentre nelle due rimanenti di Fumane e Bosco Chiesanuova il numero dei superamenti è stato ampiamente inferiore (Tabella 10).

Il giorno tipo, rappresentato in Figura 24, mostra la presenza di due massimi, il primo tra le 9 e le 10 e il secondo tra le 19 e le 21, che possono essere messi in relazione ai picchi di traffico e ai momenti in cui inizia l'inversione termica notturna. Questo grafico, infatti, mostra delle analogie con lo stesso relativo al biossido di azoto (Figura 5), ma i picchi, in questo caso, sono molto meno definiti. Anche la settimana tipo (Figura 25), mostra una diminuzione della concentrazione di PM10 la domenica per alcune stazioni (Cason, Borgo Milano e Fumane), analogo a quello degli ossidi di azoto (Figura 6): tuttavia non si riconosce un andamento preciso, riconducibile a una fonte di pressione definita. Infatti, le polveri sottili sono un inquinante in buona percentuale secondario, che presentano caratteristiche abbastanza omogenee in vaste aree, e la loro concentrazione è fortemente influenzata dalle condizioni atmosferiche, assumendo valori più elevati in presenza di inversioni termiche, nei mesi invernali e nelle ore più fredde.

I valori medi mensili più elevati sono quelli di marzo (Figura 26), a causa dei valori elevati assunti dalle concentrazioni di questo inquinante tra il 13 e il 22 di questo mese, per l'affermarsi di un anticiclone di matrice atlantica che determinò una fase di tempo stabile e alta pressione, favorendo il ristagno degli inquinanti.

Il grafico-calendario di Figura 27 fornisce una rappresentazione immediata delle giornate dell'anno 2014 in cui la concentrazione di PM10 di Verona - Cason ha assunto valori più elevati e critici.

PM10 (µg/m³)	BoscoC	Fumane	Legnago	SBonifacio	BgoMilano	Cason
N tot dati	362	362	354	343	361	359
dati mancanti	3	3	11	22	4	6
data.capture	99	99	97	94	99	98
media	19	22	31	32	27	29
sd	12	16	21	17	19	20
min	6	2	2	11	2	2
max	101	133	109	116	126	129
mediana	15	18	25	27	21	25
N superam 50	7	16	48	36	43	40

Tabella 10. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10 (µg/m³) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona.

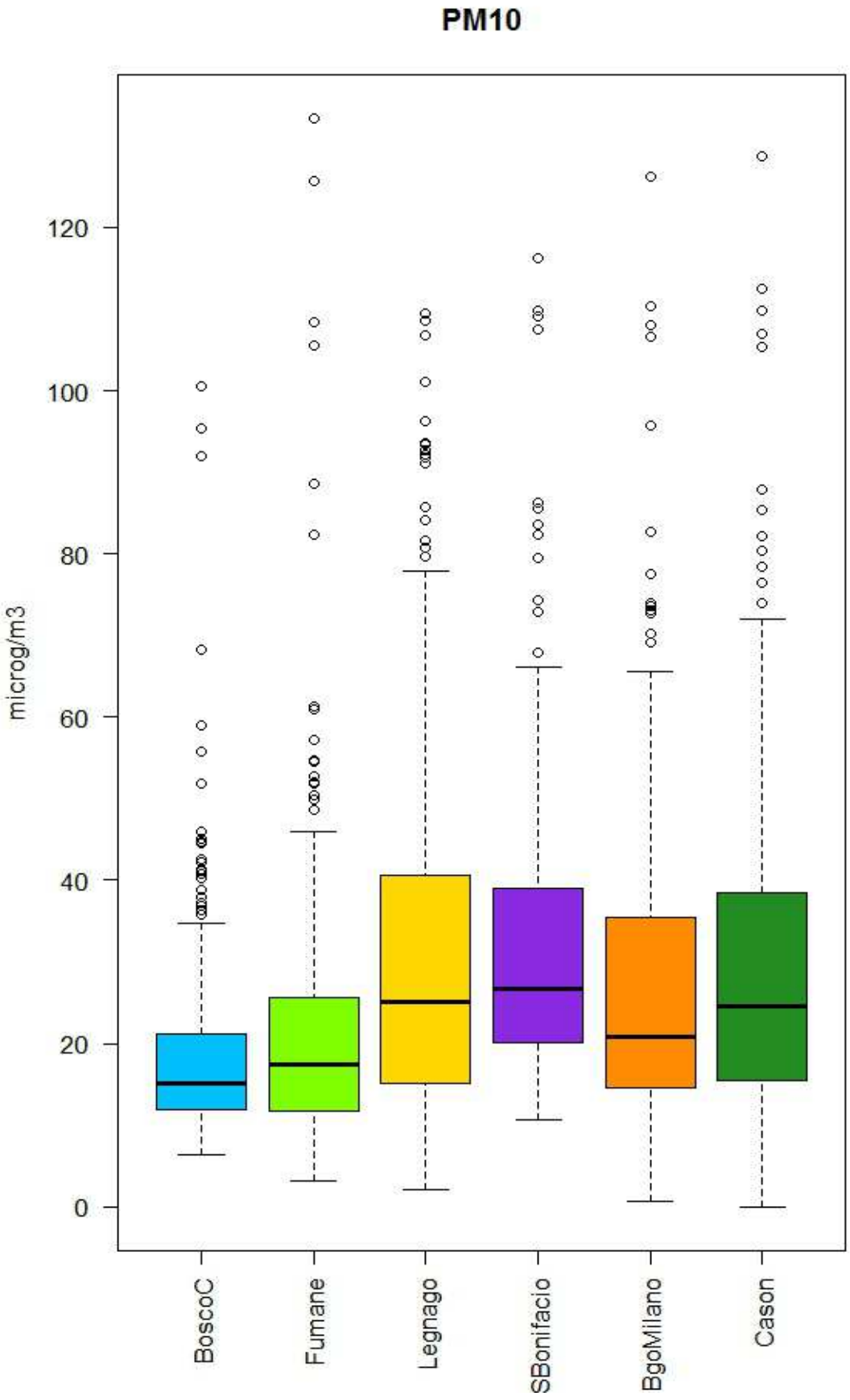


Figura 22. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di PM10 (µg/m3) nel 2014, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

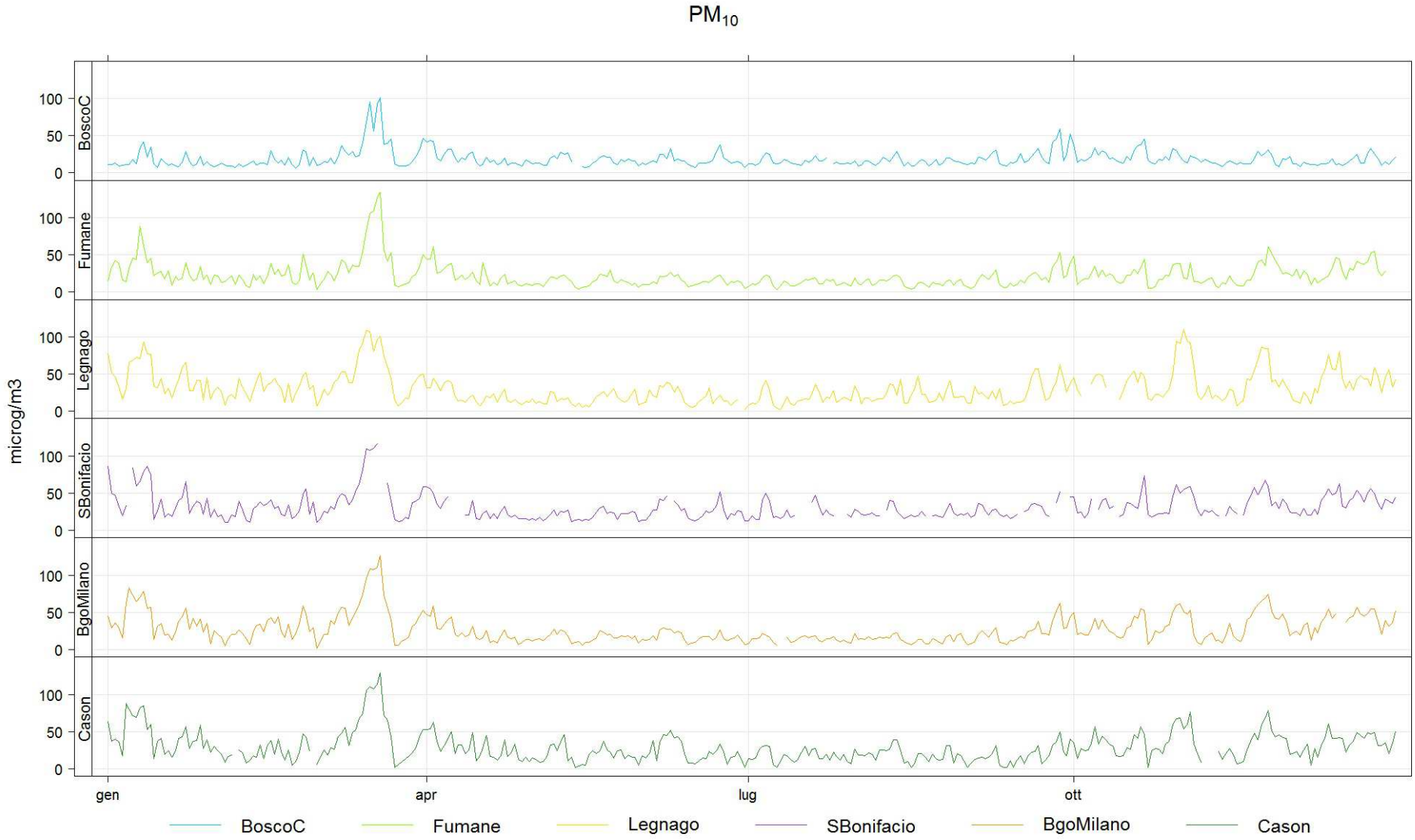


Figura 23. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di PM10 (µg/m^3), per l'anno 2014, per le diverse centraline di misura.

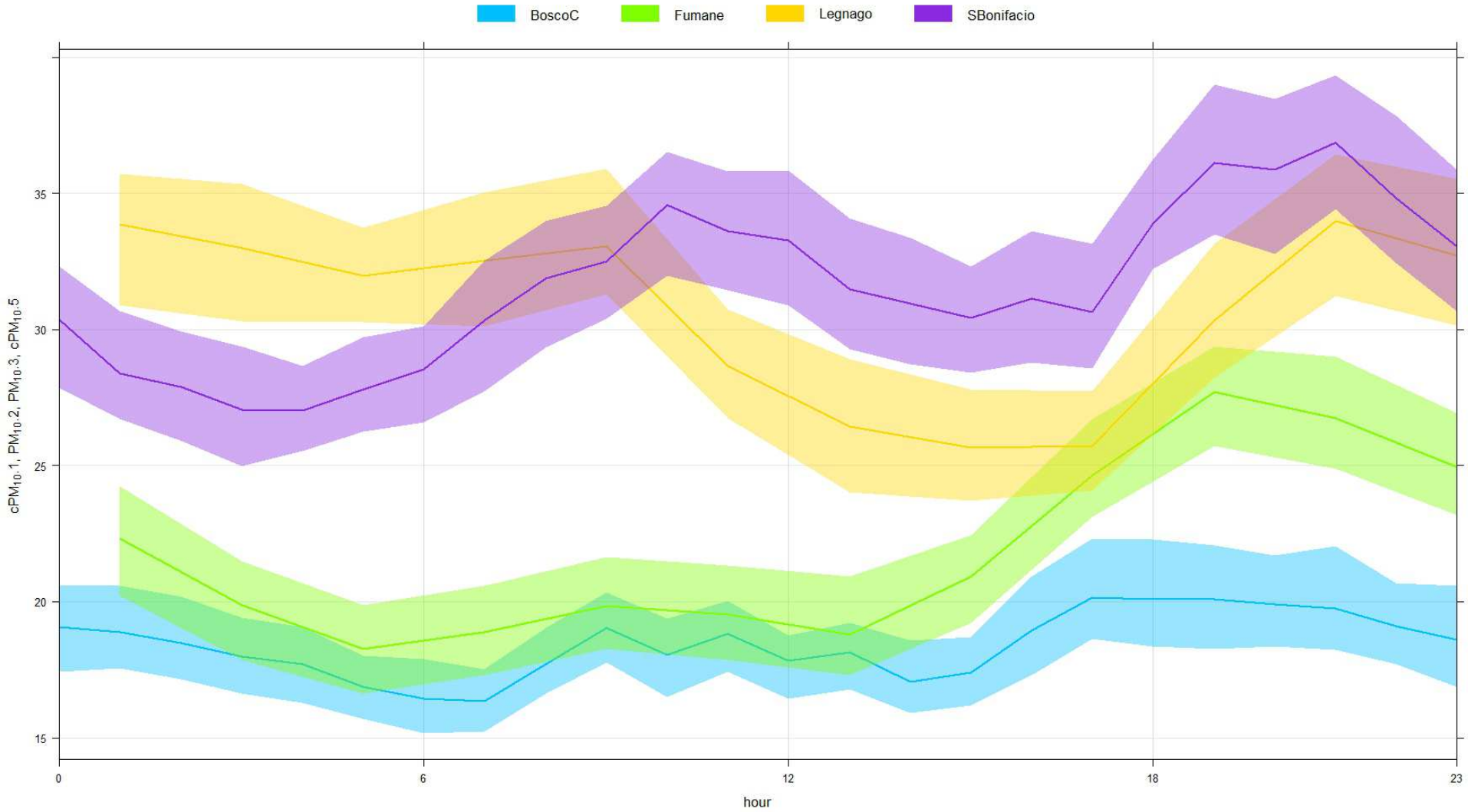


Figura 24. Giorno tipo PM10 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. Si noti che il dato delle ore 0 si riferisce al periodo compreso tra le ore 0 e le ore 1, e così anche per le altre ore riportate in ascissa del grafico. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

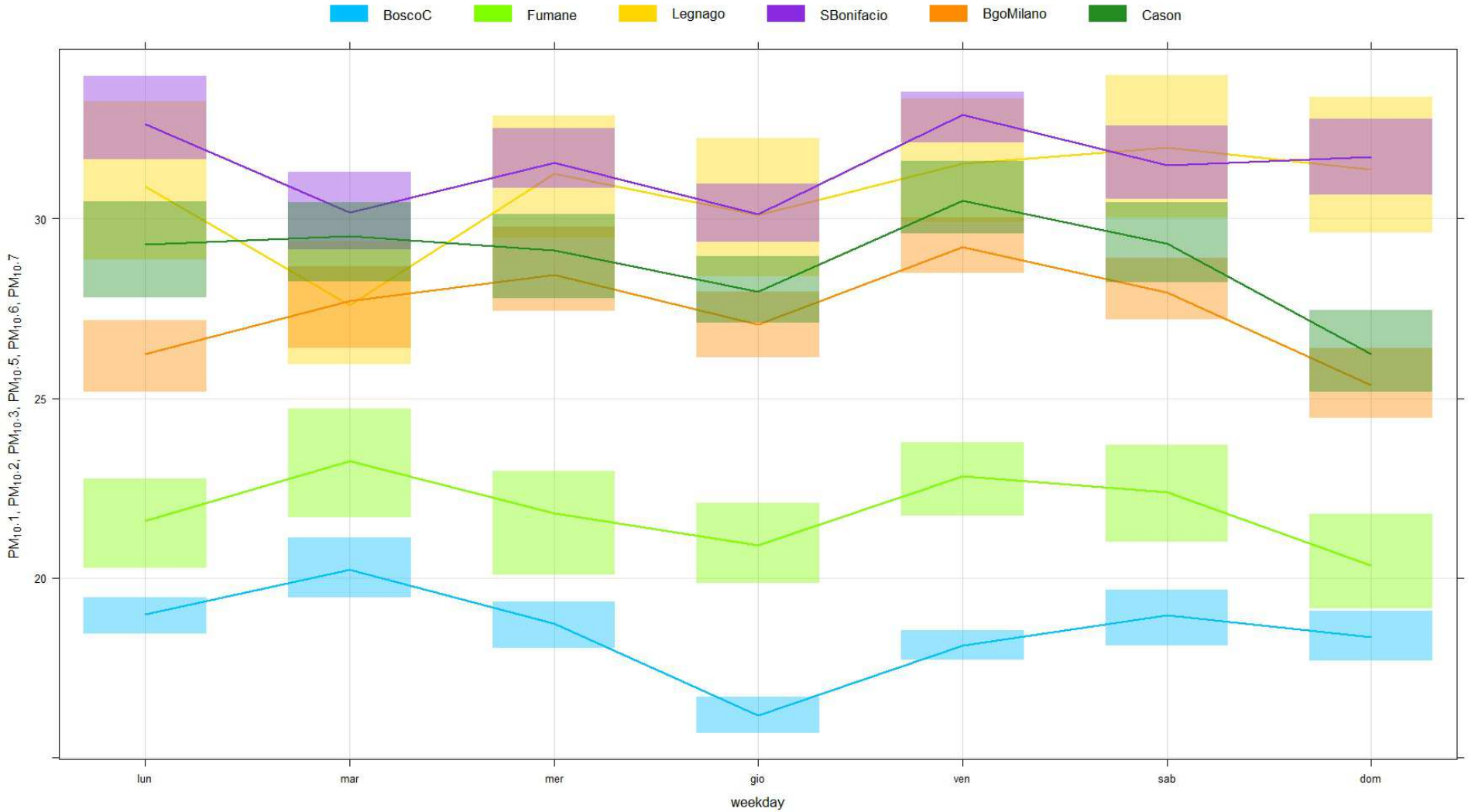


Figura 25. Settimana tipo PM10 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

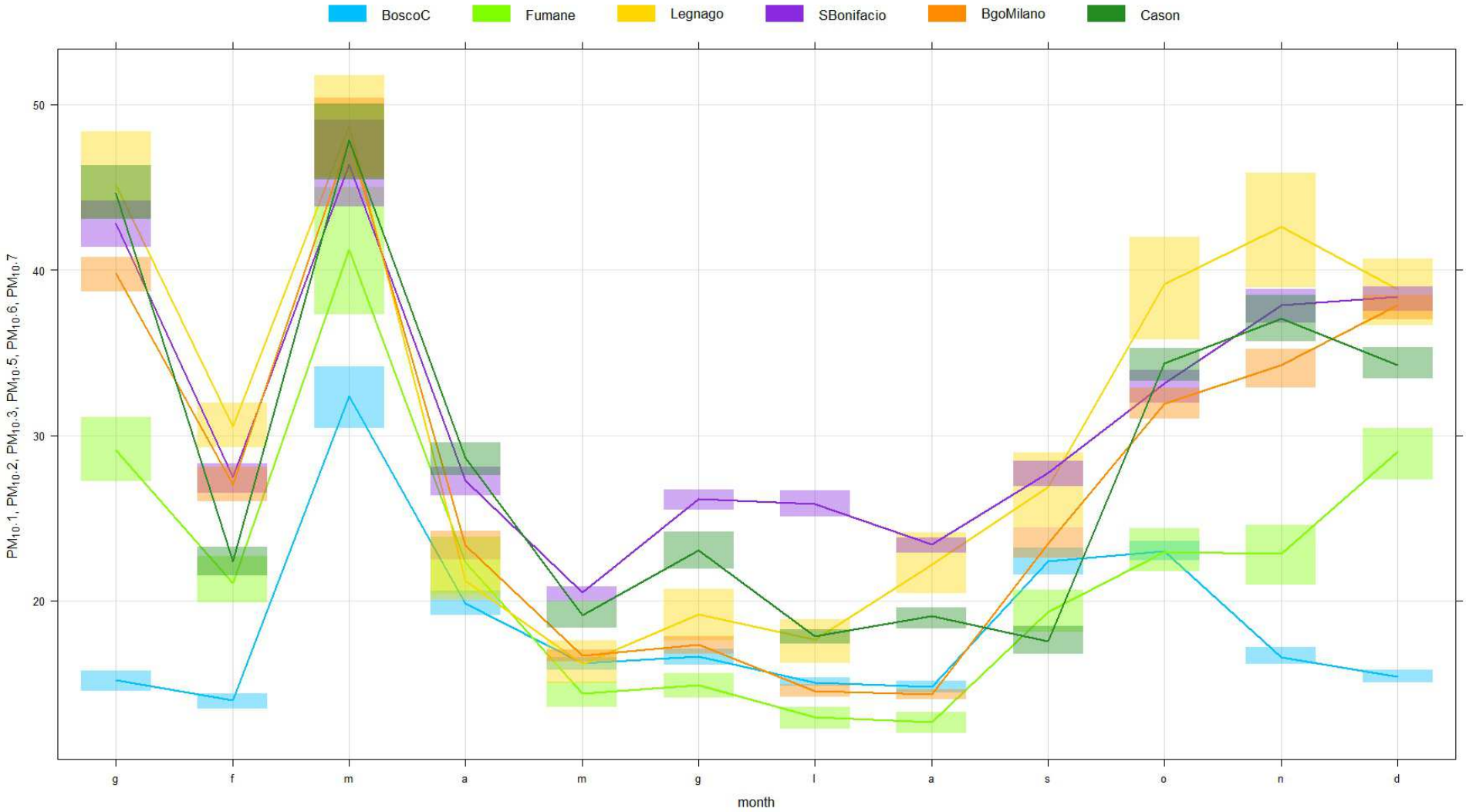


Figura 26. Medie mensili di PM10 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

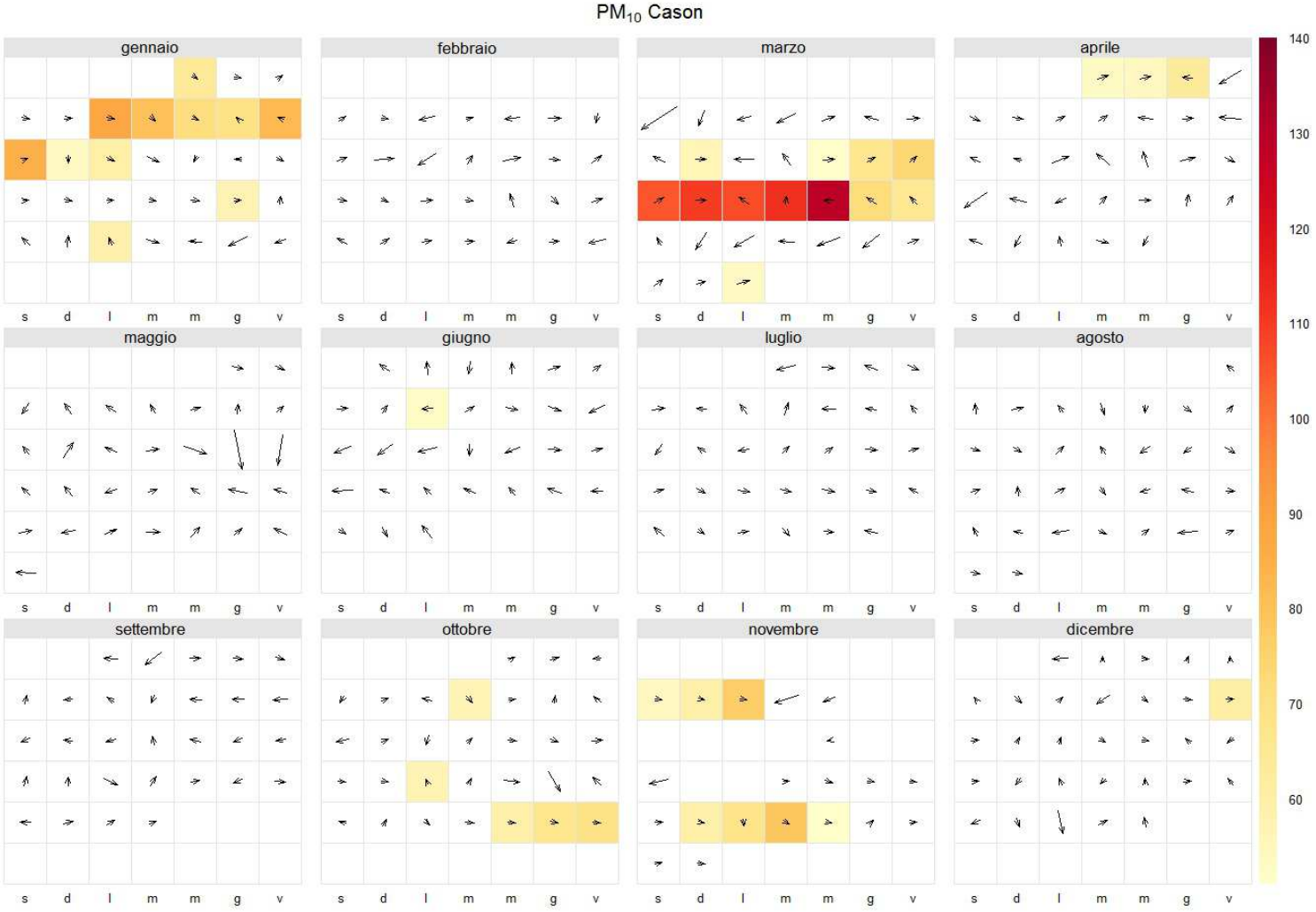


Figura 27 . Grafico-calendario, in cui sono evidenziati i giorni dell'anno in cui la concentrazione di PM10 ha superato i 50 µg/m^{3,} con un colore che tende al rosso per le concentrazioni medie giornaliere più elevate.

4.6 Analisi del materiale particolato di diametro inferiore a 2.5 μm (PM2.5)

Il PM2.5 è misurato nella stazione di Verona – Cason. Presso le stazioni di Bosco Chiesanuova e San Bonifacio, sono disponibili anche i dati orari di PM2.5 misurato con metodo ottico. Tramite questi dati è stato analizzato l'andamento delle serie temporali (Figura 29).

Il PM2.5 di Verona - Cason, nel 2014, ha rappresentato il 73% del PM10 totale nella stessa postazione. Anche in questo caso, come per il PM10, i valori massimi sono stati raggiunti a marzo, in corrispondenza dell'episodio altopressorio che ha caratterizzato la parte centrale del mese, che hanno favorito la concentrazione di inquinanti nello strato atmosferico superficiale (Figura 29 e Figura 30).

Anche per questo inquinante, come per il PM10, l'andamento delle serie temporali è molto simile nelle tre stazioni di misura (Figura 29). I valori più elevati, come anche quelli massimi, sono stati registrati a Verona - Cason.

PM2.5 (μg/m³)	Cason_ pm2.5	BoscoC cpm2.5	SBonifacio cpm2.5
n giorni campionati	365	357	334
n giorni mancanti	0	8	31
data.capture	100	98	92
media	21	11	19
sd	16	8	12
min	2	2	4
max	106	68	78
mediana	17	9	15
N superam 50	18	3	11

Tabella 11. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM2.5 (μg/m³) misurata presso le centraline di qualità dell'aria della provincia di Verona.

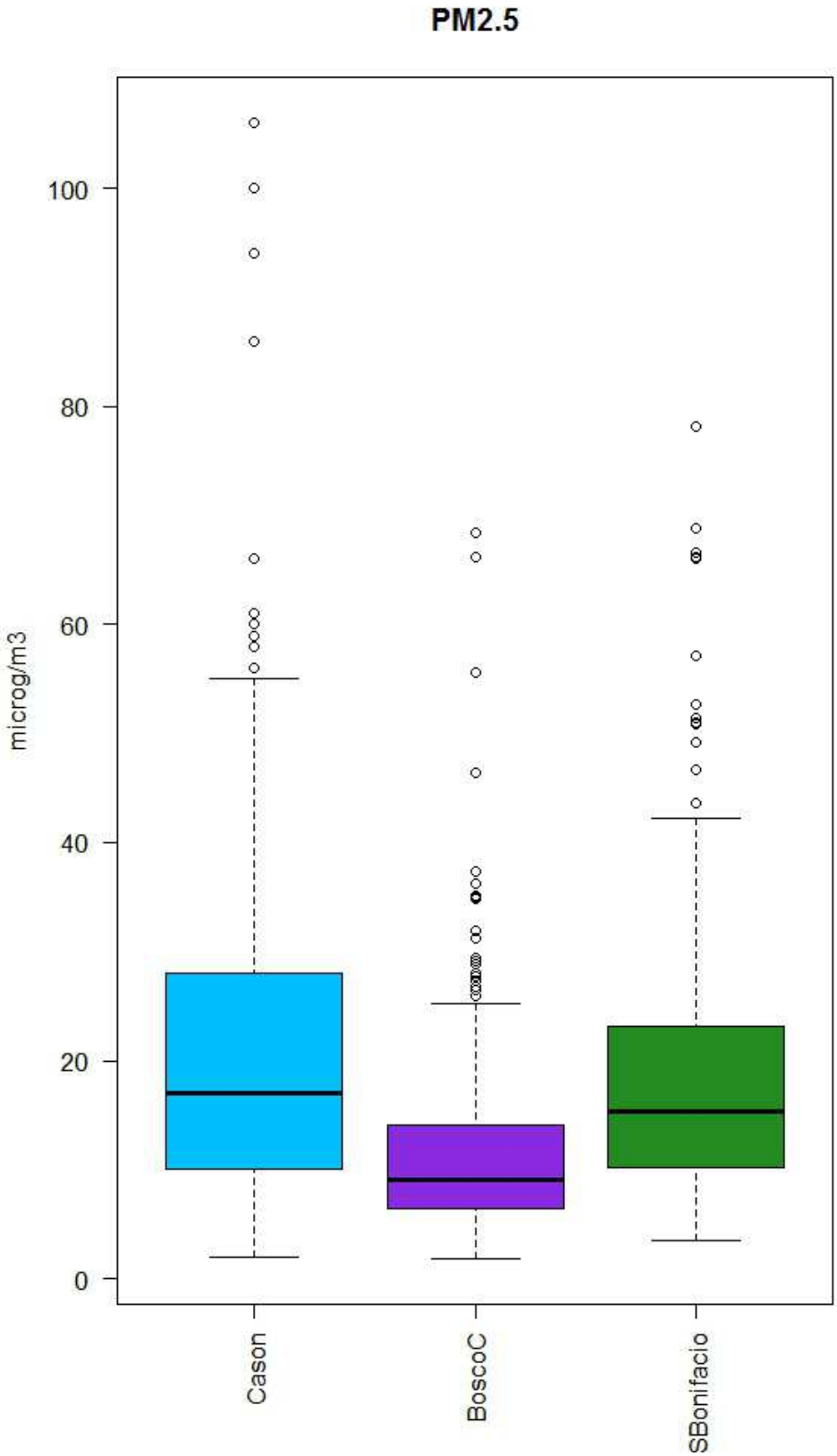


Figura 28. Box-Whiscker plot, che rappresenta diverse variabili statistiche calcolate per la concentrazione di PM2.5 (µg/m3) nel 2014, presso le diverse centraline. Vedasi Figura 2 per una spiegazione dettagliata.

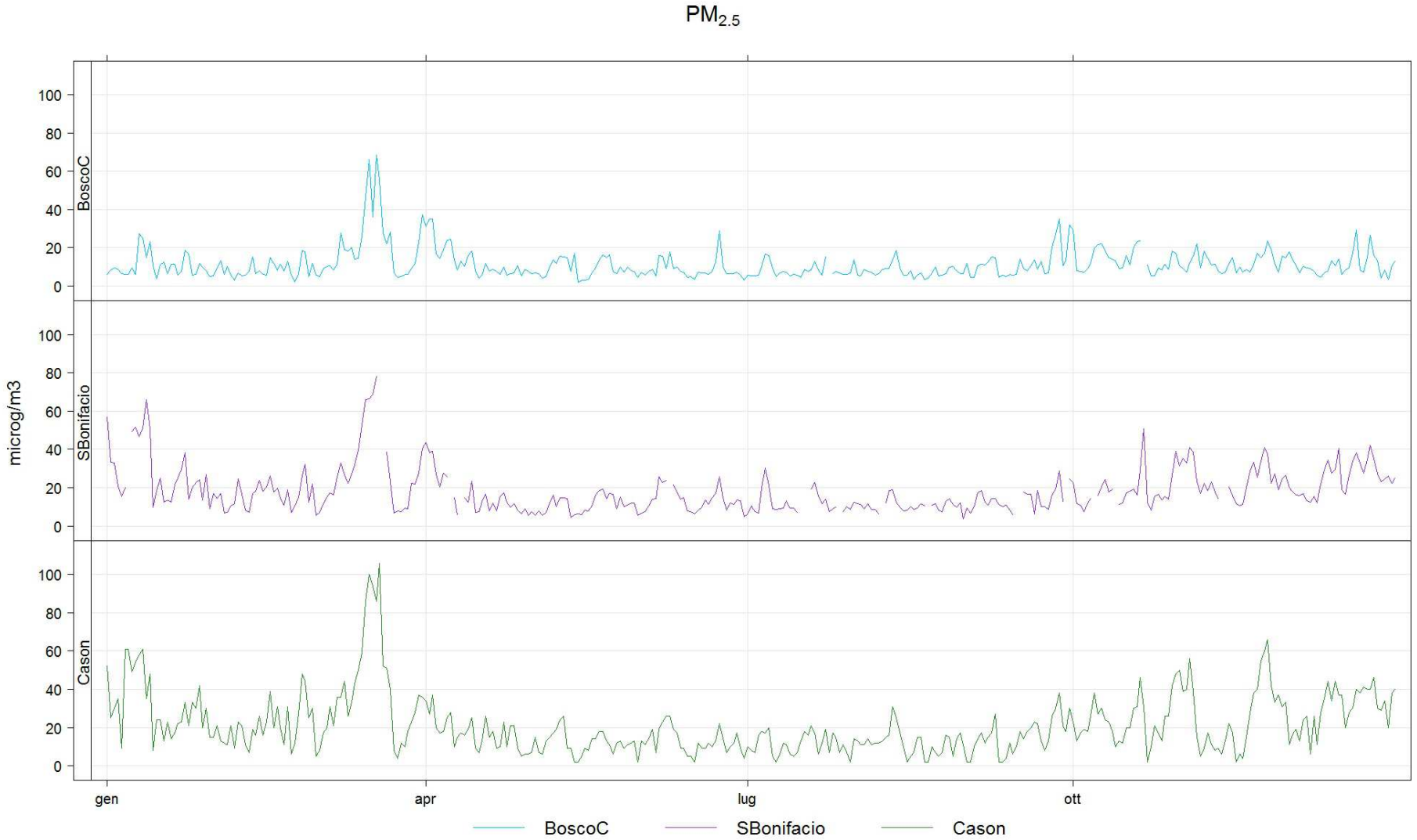


Figura 29. Serie temporale della concentrazione media giornaliera di PM2.5 (µg/m³), per l'anno 2014, per le diverse centraline di misura.

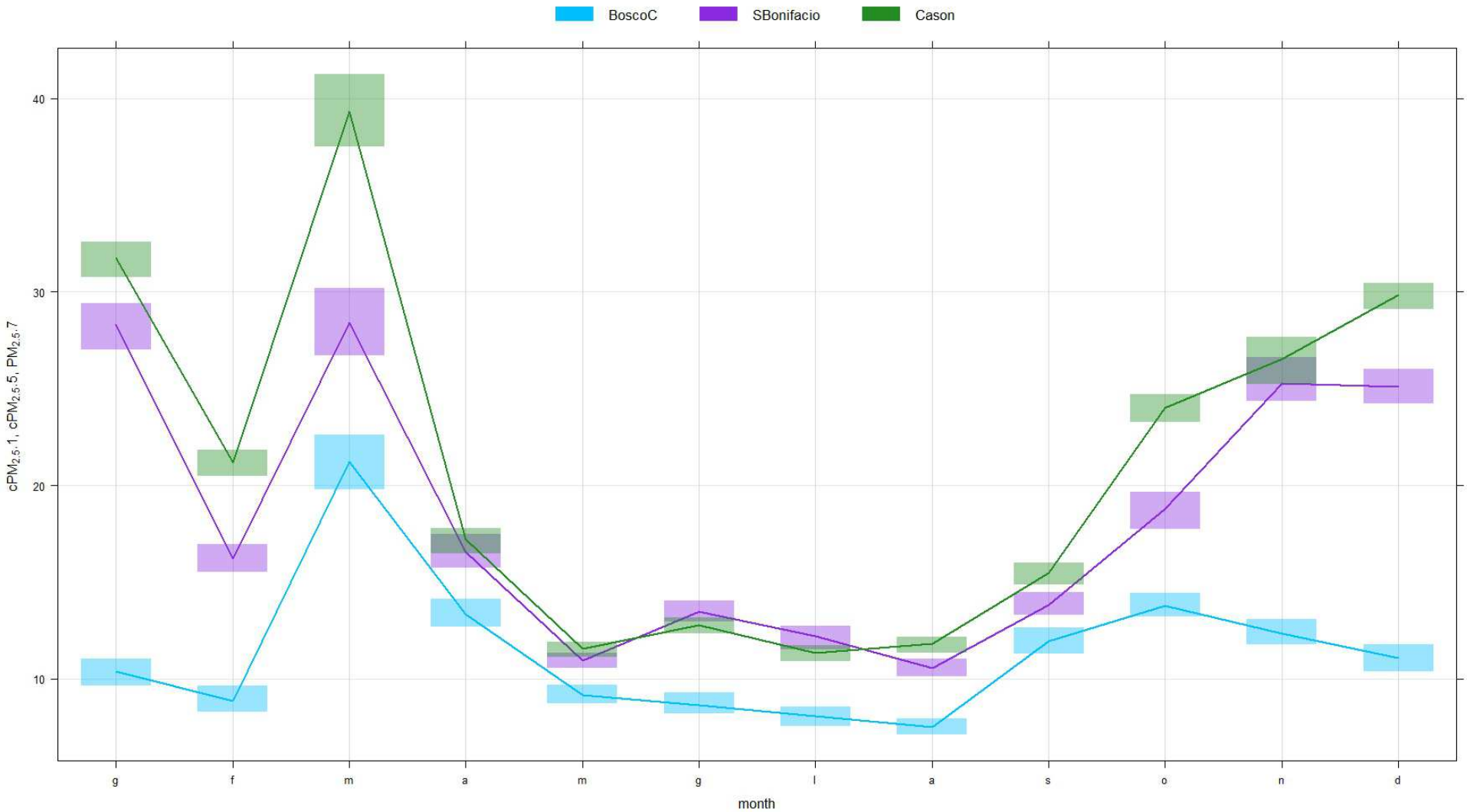


Figura 30. Medie mensili di PM2.5 (µg/m^3), presso le diverse centraline di misura. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

4.7 Analisi di benzene e idrocarburi aromatici

La concentrazione di benzene, e di altri composti aromatici quali etilbenzene, toluene e xilene, è stata misurata con due modalità: l' esposizione di fiale a carboni attivi e quella di 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 Verona - Corso Milano. La seconda tecnica si utilizza per monitoraggi di tipo indicativo, ed è stata utilizzata a Legnago, a San Bonifacio, e in varie postazioni del comune: Corso Milano, Cason, via Fincato, Barriera Borgo Roma, via Emilei e via Mameli. I risultati con essa ottenuti sono comunque utili per un confronto tra le varie postazioni.

Per quanto riguarda le misure ottenute con le fiale in Corso Milano, si osserva in Tabella 12 che il valor medio di benzene per il 2014 è stato 0,5 µg/m^3, e quindi non è stato superato il limite normativo di 5 µg/m$^{3.}$ In Figura 31, in cui 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 rilevabilità strumentale di 0.5 µg/m^3.

In Figura 32 sono riportati i valori medi annuali per le varie postazioni di misura, relativi sia al benzene sia ad altri idrocarburi. Si vede che le misure effettuate con i campionatori passivi, sono sempre superiori a quelle fatte con le fiale nella stessa postazione di Corso Milano. Inoltre, mentre benzene ed etilbenzene presentano i valori più bassi, vicini al limite di rilevabilità, Toluene e Xilene mostrano i valori più elevati. Per tutte le specie di idrocarburi aromatici, i valori più elevati si trovano presso le postazioni di Barriera Borgo Roma, Via Emilei e Via Mameli.

Figura 31 mostra che le concentrazioni più elevate di benzene, in tutti i punti di misura, si misurano nei mesi invernali. Si nota un picco a gennaio a Verona - Cason, che si può associare alla “bruciatura della vecia”, tra il 6 e il 7 gennaio.

(µg/m³)	*Borgo Milano*	*Corso Milano*	*Corso Milano Fiale*	*Cason*	*Legnago*	*San Bonifacio*	*Via Fincato*	*Borgo Roma*	*Via Emilei*	*Via Mameli*
Benzene	0.8	1.1	0.5	1.0	0.8	0.8	1.1	1.5	1.2	1.5
Etilbenzene	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4	0.5	0.8	1.8	1.6	1.5
Toluene	4.0	5.2	1.6	2.3	2.6	4.3	6.4	10.5	9.4	9.4
Xilene	3.2	3.6	1.3	1.8	1.8	1.9	3.9	8.4	7.8	6.8

Tabella 12. Valori medi annuali di concentrazione di idrocarburi aromatici (µg/m³), nelle diverse postazioni di misura della provincia di Verona.

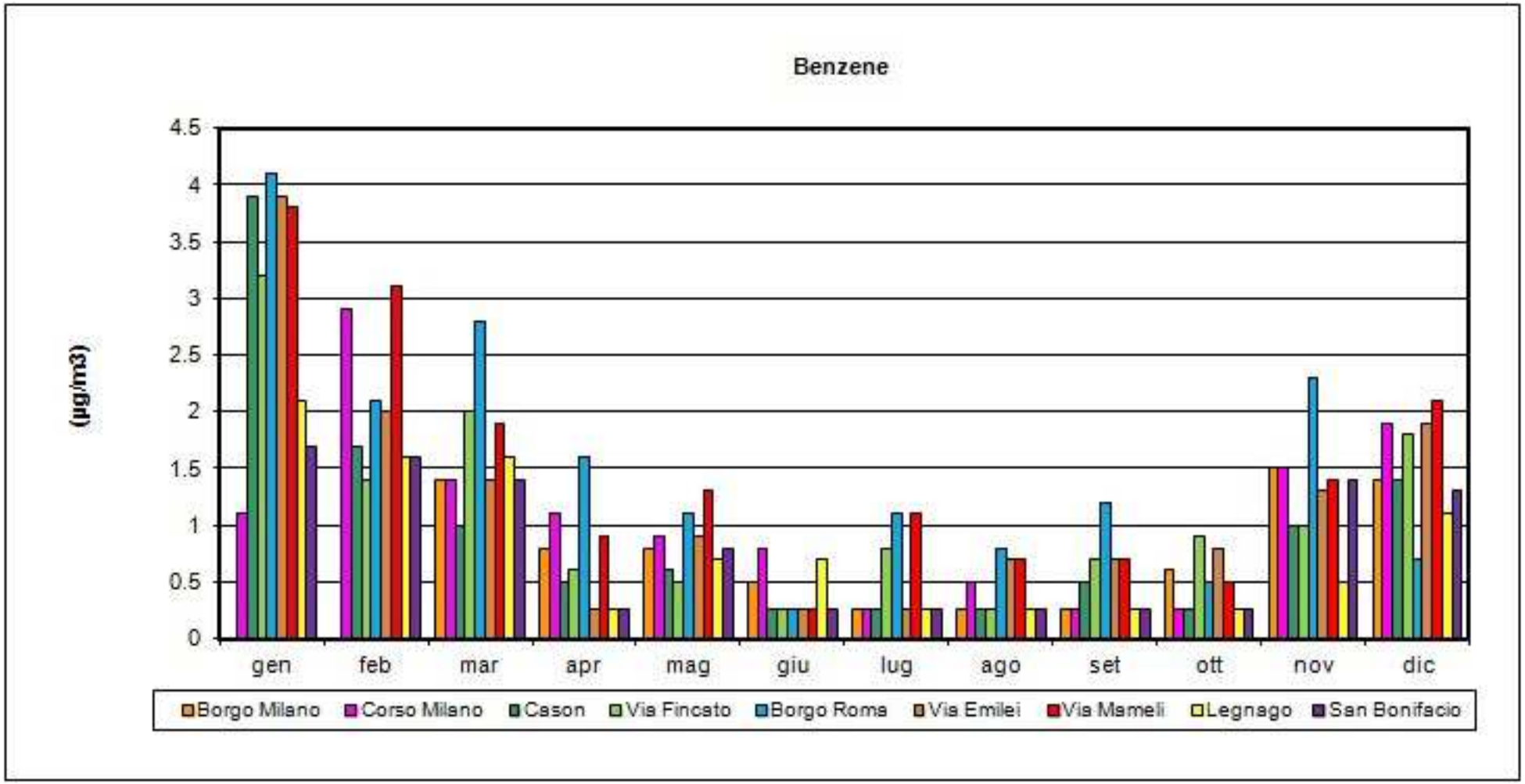


Figura 31. Concentrazione media mensile di benzene, nel 2014, in varie postazioni di misura.

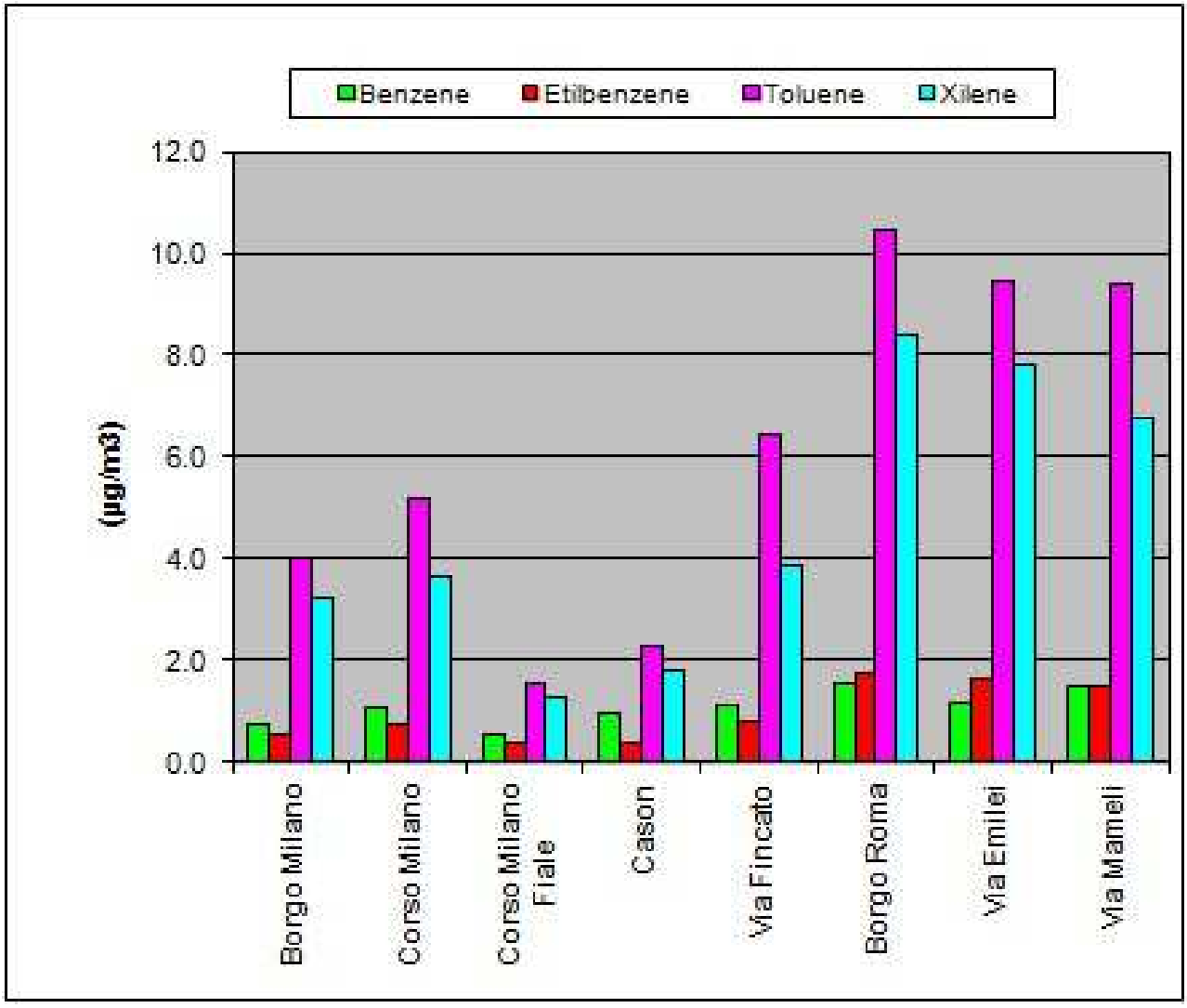


Figura 32. Concentrazione media annua di alcuni idrocarburi policiclici, in varie postazioni della provincia di Verona.

4.8 Analisi di benzo(a)pirene e idrocarburi policiclici aromatici

In Tabella 13 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione degli idrocarburi policiclici aromatici misurati a Cason e a Bosco Chiesanuova. La concentrazione media di benzo(a)pirene è inferiore al valore obiettivo di 1 ng/m^3 in entrambe le località. I valori di Cason sono significativamente superiori rispetto a quelli di Bosco Chiesanuova. La variabilità di questo inquinante durante l'anno è rappresentata in Figura 33: i valori più elevati sono misurati in inverno, mentre in estate i valori medi sono vicini al limite di rilevabilità strumentale (0.01 ng/m^3), in entrambe le stazioni. In particolare, a gennaio, a Cason, si trovano i massimi nei giorni che che corrispondono alla “bruciatura della vecia”.

	Cason					Bosco Chiesanuova				
	n	Media ng/m^3	sd ng/m^3	min ng/m^3	max ng/m^3	n	media ng/m^3	sd ng/m^3	min ng/m^3	max ng/m^3
Benzo(a)antracene	128	0.7	0.9	0.0	4.8	120	0.2	0.3	0.0	1.4
Benzo(a)pirene	128	0.8	1.1	0.0	6.6	120	0.2	0.3	0.0	1.1
Benzo(b)fluorantene	128	0.8	1.0	0.0	5.9	120	0.3	0.3	0.0	1.0
Benzo(ghi)perilene	128	0.7	0.8	0.0	4.0	120	0.2	0.2	0.0	0.8
Benzo(k)fluorantene	128	0.4	0.6	0.0	2.5	120	0.1	0.2	0.0	0.6
Crisene	128	0.8	1.1	0.0	7.3	120	0.3	0.3	0.0	1.0
Dibenzo(ah)antracene	128	0.0	0.1	0.0	0.3	120	0.0	0.0	0.0	0.1
Indeno(123-cd)pirene	128	0.6	0.8	0.0	4.0	120	0.2	0.2	0.0	0.8

Tabella 13. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione (ng/m^3) di vari idrocarburi policiclici aromatici a Cason e a Bosco Chiesanuova.

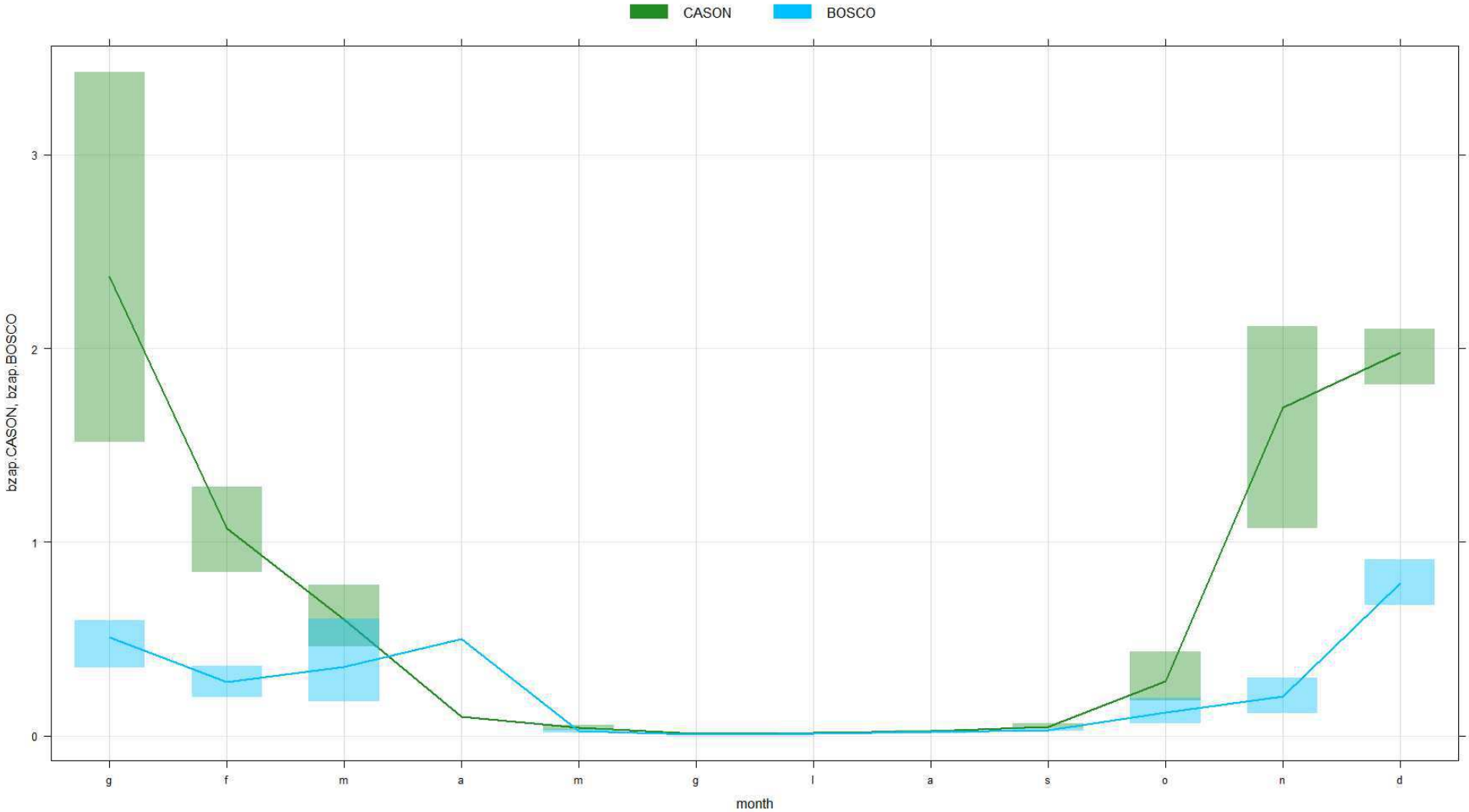


Figura 33. Medie mensili della concentrazione di benzoapirene misurata a Cason e a Boscochiesanuova. In ascisse sono riportati i mesi, in ordinate la concentrazione in ng/m3. La parte ombreggiata rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% della media.

1.1 Analisi dei metalli

In Tabella 14 sono riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di metalli misurata a Cason e a Bosco Chiesanuova. In Figura 34 è rappresentato l'andamento della concentrazione media mensile durante l'anno 2014. I valori di concentrazione più elevati, anche per questi inquinanti, si trovano nei mesi invernali. Per nessuno dei metalli considerati sono stati superati i limiti di legge.

Metallo (ng/m^3)		Bosco Chiesanuova	Cason
	n° dati	183	190
Arsenico	**media**	**0.5**	**0.6**
	sd	0.1	0.3
	min	0.5	0.5
	max	1.1	1.8
Cadmio	**media**	**0.1**	**0.2**
	sd	0.1	0.2
	min	0.1	0.1
	max	0.4	0.6
Nichel	**media**	**1.2**	**2.7**
	sd	0.6	1.4
	min	1	1
	max	3.9	6.6
Piombo	**media**	**3.3**	**7.2**
	sd	2.7	4.6
	min	0.5	1.4
	max	18.7	24.2

Tabella 14. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione media annuale (ng/m^3) dei metalli misurata a Cason.

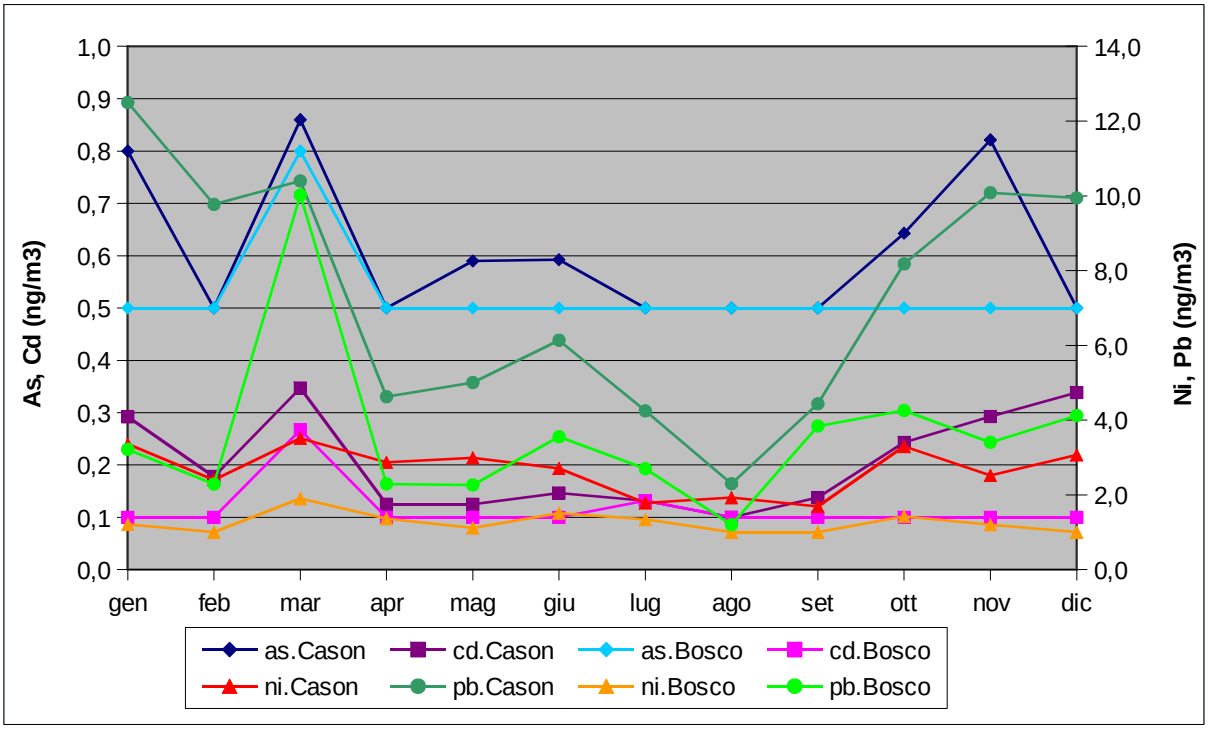


Figura 34. Valori medi mensili di concentrazione dei metalli misurati a Cason e Boscochiesanuova.

5 Analisi dell'andamento interannuale dei principali inquinanti e influenza della meteorologia

Le concentrazioni dei tre inquinanti più critici (PM10, ozono e ossidi di azoto), registrate nell'anno 2014 nel comune di Verona, sono state confrontate con quelle relative al decennio precedente. I dati relativi agli inquinanti, inoltre, sono stati confrontati con alcune variabili meteorologiche, precipitazione e temperatura, che influenzano la concentrazioni in atmosfera degli inquinanti. I dati meteorologici utilizzati sono quelli della stazione di Roverchiara, sita 25 km a sud-est rispetto alle centraline del comune, stazione a norma e rappresentativa anche del territorio del comune di Verona, dal punto di vista della meteorologia

La precipitazione attiva il processo di deposizione umida degli inquinanti ed è associata ad eventi meteorologici che tendono a disperdere gli inquinanti stessi diminuendone la concentrazione; la temperatura a 2 metri è una variabile importante nel processo fotochimico di formazione dell'ozono..

Nelle figure da 35 a 38 sono riportate le serie temporali dei dati annuali relativi agli inquinanti e alle variabili meteorologiche. Si nota una tendenza alla diminuzione della concentrazione media e del numero di superamenti per tutti gli inquinanti, nel corso degli undici anni considerati. I valori relativi al 2014 sono i più bassi del periodo considerato. Osservando anche l'andamento delle variabili meteorologiche, si nota che a valori elevati di piovosità corrispondono minimi locali nella concentrazione di inquinanti: è quanto è accaduto sia nel 2010 sia nel 2014. Negli stessi anni, si osserva che valori medi più bassi della temperatura a 2 m media del periodo estivo corrispondono a minimi nella concentrazione di ozono.

In Figura 35 sono riportate il numero di superamenti del limite normativo per il PM10, presso le due centraline del comune, e la precipitazione a Roverchiara. Si osserva in particolare che il 2014 è stato il primo anno in cui la concentrazione media a Cason è stata superiore a quella di Borgo Milano. Per questa postazione si può ipotizzare un aumento delle fonti di pressione locale, per l'incrementata attività dell'azienda agricola vicino alla quale si trova la stazione di misura e l'incremento in generale dell'uso di biomasse solide per riscaldamento in particolare nelle zone rurali e periurbane. Non si riscontra lo stesso andamento nel caso degli ossidi di azoto (Figura 38).

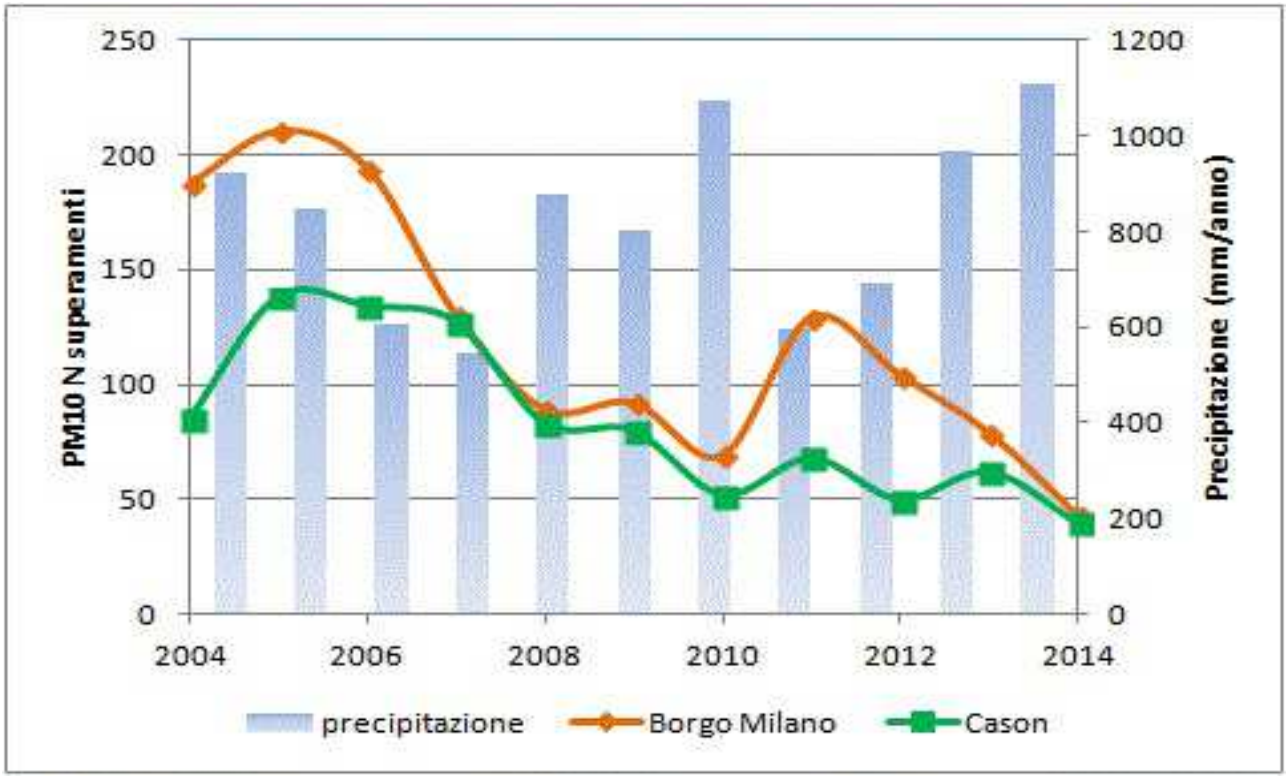


Figura 35. Numero di superamenti del limite di 50 µg/m³ per la concentrazione di PM10 a Cason e Borgo Milano, e precipitazione totale annua misurata presso la stazione meteorologica di Roverchiara. Evoluzione temporale nel periodo dal 2004 al 2014.

Figura 36. Numero di superamenti del valore obiettivo di 120 µg/m^3 per la concentrazione di ozono a Verona - Cason e precipitazione dei mesi estivi (da maggio a settembre). Evoluzione temporale nel periodo dal 2004 al 2014

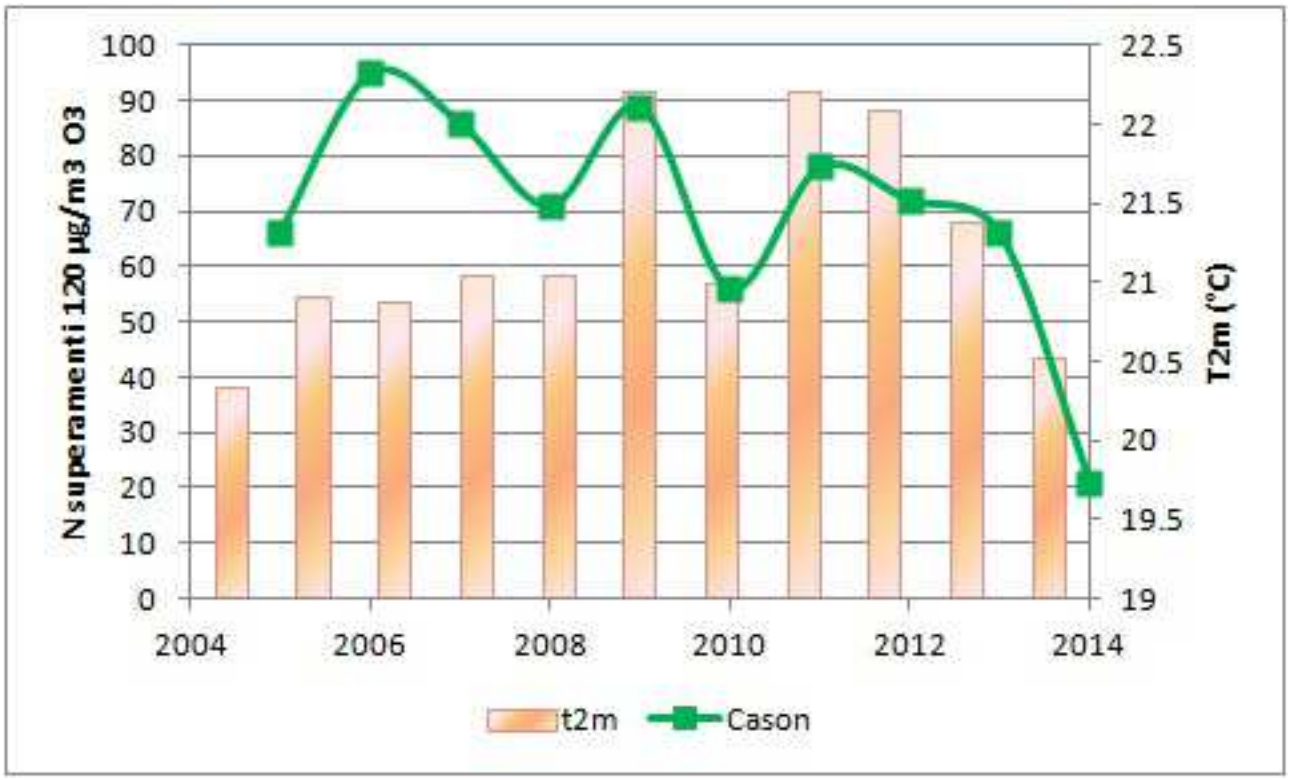


Figura 37. Numero di superamenti del valore obiettivo di 120 µg/m^3 per la concentrazione di ozono a Verona – Cason e temperatura media a 2m (calcolata sul periodo da maggio a settembre). Evoluzione temporale nel periodo dal 2004 al 2014.

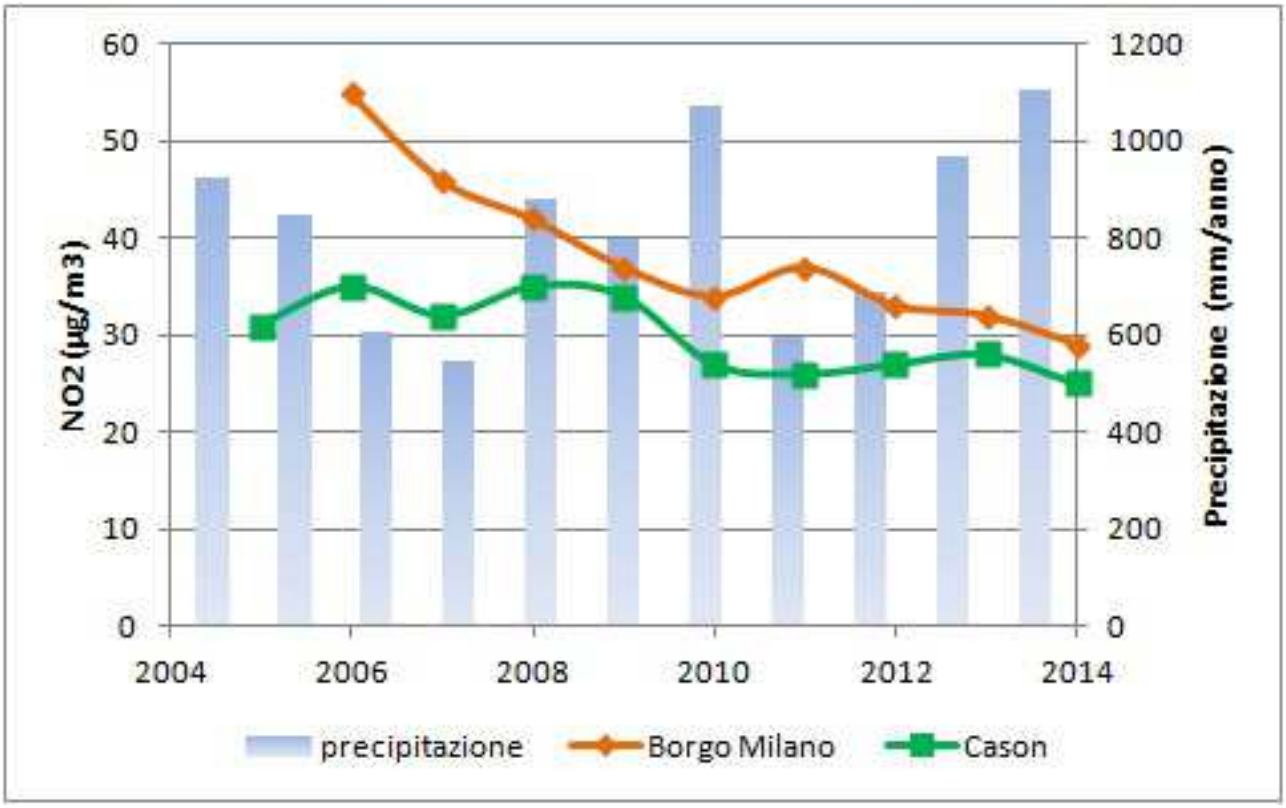


Figura 38. Concentrazione media di NO_2 a Cason e Borgo Milano e precipitazione annua. Evoluzione temporale nel periodo dal 2004 al 2014.

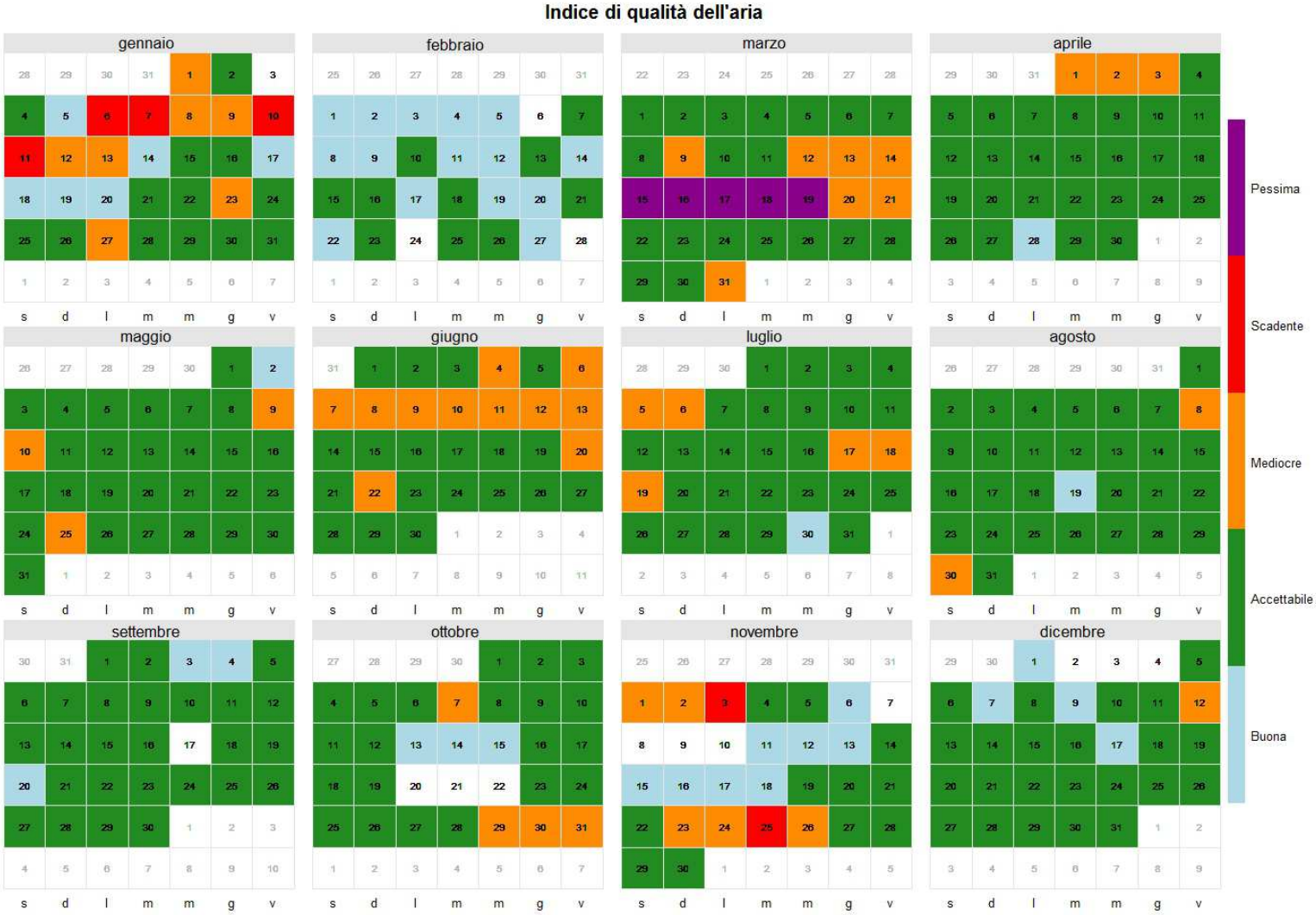
6 Indice di qualità dell'aria

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 molteplici inquinanti atmosferici. L'indice utilizzato è associato una scala di 5 giudizi sulla qualità dell'aria come riportato nella tabella seguente.

Cromatismi	Qualità dell'aria
	Buona
	Accettabile
	Mediocre
	Scadente
	Pessima

Il calcolo dell'indice, che può essere effettuato per ogni giorno di campagna, è basato sull'andamento delle concentrazioni di 3 inquinanti: PM10, 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 39 si riporta un grafico–calendario relativo a questo indice, calcolato per la stazione di misura della qualità dell'aria di Cason. Da esso si può notare che nei mesi estivi, compresi tra maggio e settembre, ma anche in febbraio, la qualità dell'aria è stata da buona a accettabile. Infatti, in estate, le condizioni meteorologiche sono più favorevoli al rimescolamento e alla dispersione degli inquinanti. L'eccezione di febbraio si giustifica con fatto che questo mese è stato caratterizzato da una serie di perturbazioni che si sono avvicendate portando quantitativi elevati, talvolta eccezionali, di pioggia, condizioni che favoriscono la dispersione degli inquinanti e determinano basse concentrazioni degli stessi. Il mese in cui la qualità dell'aria è stata peggiore è marzo, a causa della presenza di un anticiclone che ha interessato la nostra regione tra il 13 e il 22 di questo mese, che ha favorito il ristagno degli inquinanti.
Nel corso di tutto l'anno 2014, le giornate con qualità dell'aria accettabile sono state il 54% e quelle con qualità buona sono state il 35% (Figura 40). Viceversa, le giornate con qualità dell'aria da mediocre a scadente hanno rappresentato l'11% dell'intero anno, e sono concentrate nei mesi più critici di gennaio, marzo, ottobre e novembre.



- ***Figura 39. Grafico-calendario, relativo all'indice della qualità dell'aria calcolato in base ai dati registrati presso la stazione di Verona-Cason.***

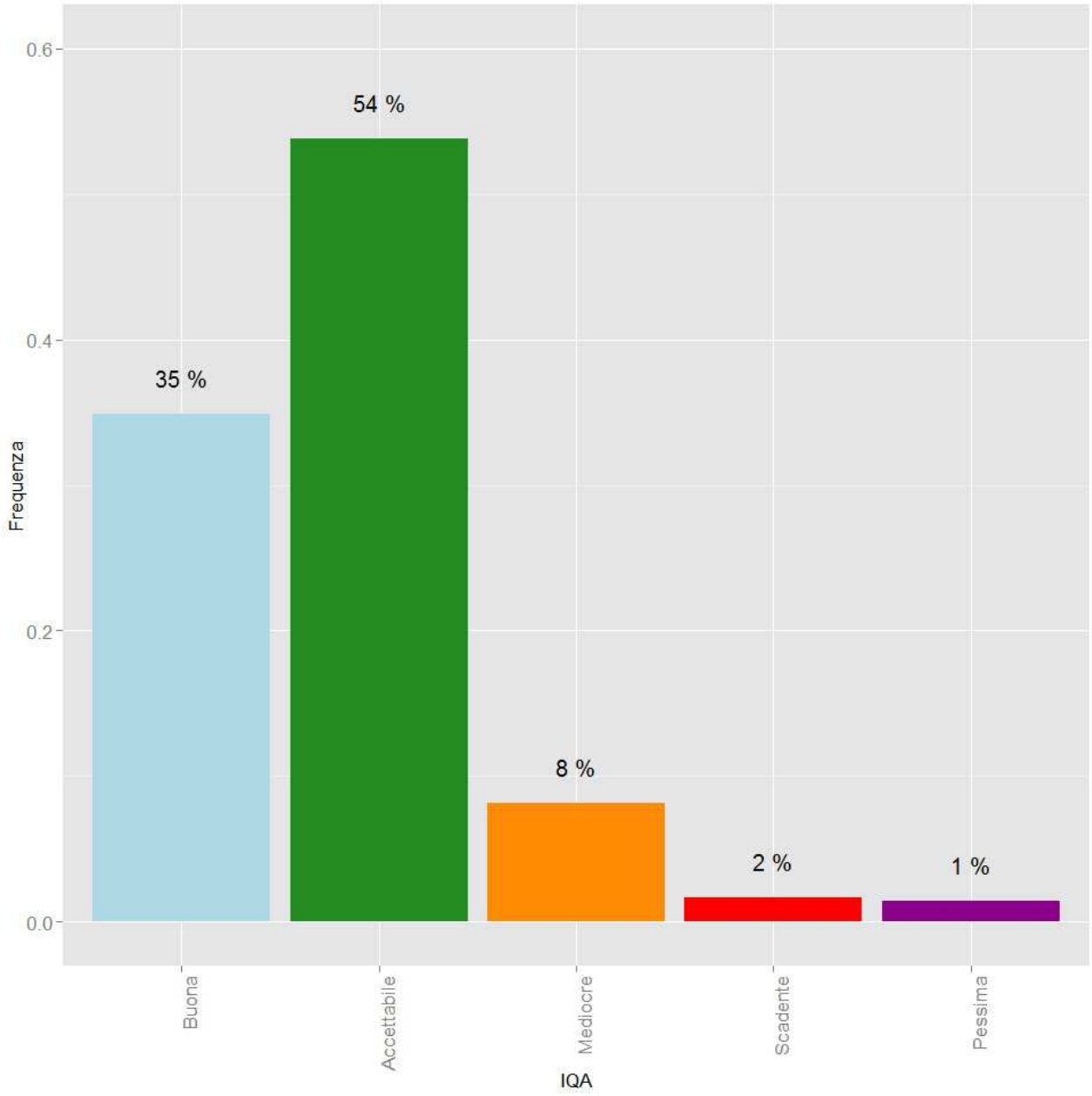


Figura 40. Frequenza delle giornate caratterizzate da diverso indice della qualità dell'aria. Il valore percentuale con cui una determinata classe si è presentata è riportato sopra la corrispondente barra. Dati relativi alla stazione di Verona-Cason.

7 Conclusioni

Nella presente relazione sono stati analizzati i dati di qualità dell'aria misurati nelle 8 stazioni ubicate in provincia di Verona. Le stazioni della rete regionale di controllo della qualità dell'aria sono 5: due sono localizzate a Verona, una a Borgo Milano, ed è una stazione di traffico urbano, ed una al Cason del Chievo ed è una stazione di fondo sub-urbano. Le altre stazioni di fondo sono Legnago, San Bonifacio e Bosco Chiesanuova. Quest'ultima si trova a 900 m si altitudine slm, ed è rappresentativa di una situazione di fondo rurale remoto, essendo lontana da fonti di pressione. Le altre stazioni prese in considerazioni sono Fumane, che si trova allo sbocco della vallata in cui, fino a maggio 2014, è stato in funzione un cementificio, ed è una stazione di tipo industriale. Le altre sono le due stazioni della rete di monitoraggio dell'impianto aGSM di Ca' del Bue, che attualemente effettuta la raccolta e selezione di rifiuti urbani.

L'analisi dei dati si è sviluppata attraverso la produzione di tabelle che riportano i principali parametri statistici, che permettono di definire le caratteristiche delle serie temporali di ogni inquinante, relativamente a ogni stazione di misura. I dati sono stati confrontati attraverso opportuni grafici. Inoltre, sono stati prodotti grafici rappresentativi del giorno tipo e dell'andamento del valore medio mensile nel corso dell'anno. Infine, sono stati prodotti anche dei grafici-calendario, che permettono di visualizzare per ogni giorno dell'anno 2014 qual è stata la concentrazione media degli inquinanti più critici.

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, non vi è stato alcun superamento dei limiti di legge. I valori medi e massimi più elevati di questo inquinante sono stati misurati nelle stazioni di pianura, per le quali gli andamenti temporali sono molto simili. Sono evidenti i picchi di concentrazione al mattino e alla sera, in corrispondenza dei picchi di traffico e della presenza di inversioni termiche, e anche durante i giorni della settimana in cui il traffico è più intenso (giovedì e venerdì). I valori più elevati si trovano nel periodo invernale, in corrispondenza di situazioni alto-pressorie che interessano la nostra regione per più giorni, favorendo le inversioni e termiche e il ristagno di inquinanti nello strato atmosferico più vicino alla superficie. Nella stazione di fondo di Bosco Chiesanuova, invece, i valori medi e massimi di concentrazione di questo inquinante sono molto più bassi rispetto alle stazioni di pianura; inoltre, l'andamento del giorno tipo non mostra i due massimi in corrispondenza dei picchi di traffico. La situazione della stazione di Fumane è ancora diversa. I valori medi e massimi sono stati più elevati nella prima parte dell'anno, e sono diventati più bassi dopo lo spegnimento del cementificio.

La situazione del particolato atmosferico (PM10) mostra delle analogie con quella 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 le stazioni di fondo di Bosco Chiesanuova e Fumane, con valori medi e massimi inferiori e un andamento che si discosta dalle altre. Il limite normativo di 35 superamenti del valore medio giornaliero di 50 $\mu g/m^3$ è stato superato in tutte le stazioni di pianura, mentre è stato rispettato a Bosco Chiesanuova e Fumane. Il mese in cui i valori medi giornalieri sono stati più elevati è marzo. Una cosa singolare è il valor medio di PM10 leggermente più elevato a Verona-Cason rispetto a Verona-Borgo Milano: negli anni precedenti è sempre accaduto il contrario, come appare ragionevole attendersi, essendo la stazione di Verona-Cason di fondo urbano e quella di Borgo Milano di traffico.

Per quanto riguarda le polveri di diametro inferiore a 2.5 µm (PM2.5), esse hanno rappresentato una frazione pari a 73% del PM10 totale.

Il terzo 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, ma subisce anche fenomeni di trasporto. 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, si trova che mediamente, durante il fine settimana, 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 e anche a Fumane. 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 $\mu g/m^3$, 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, mentre 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.

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

Il benzene e il benzoapirene hanno avuto valori medi inferiori ai limiti normativi. L'andamento delle concentrazioni durante l'anno, per entrambi gli inquinanti, mostra valori più elevati nel periodo invernale. In particolare, a Cason sono stati registrati i valori massimi in corrispondenza dei fuochi accesi per la tradizionale “bruciatura della vecia” il 6 e il 7 gennaio. Anche le concentrazioni di metalli misurate per arsenico, piombo, cadmio e nichel non superano i 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, PM10 e O_3. Questo indice è stato calcolato per la stazione di Verona-Cason. In base ad esso, nel 2014, la qualità dell’aria di Cason è stata per il 35% dell’anno buona e per il 54% accettabile. Solo nell’1% del periodo è stata pessima. L'analisi dell'andamento delle concentrazioni medie annue dei principali inquinanti, registrate dalle stazioni di Borgo Milano e Cason negli ultimi undici anni, evidenzia una leggera tendenza al miglioramento della qualità dell'aria. Appare chiara anche la relazione con la meteorologia, per cui negli anni più piovosi si registrano generalmente concentrazioni degli inquinanti meno elevate e inferiore numero di superamenti dei limiti. Infatti, il 2014 è stato un anno caratterizzato da una piovosità più elevata della norma e da un'estate particolarmente fresca, con pochi e brevi periodi di caldo intenso, che risultano critici per l'ozono.