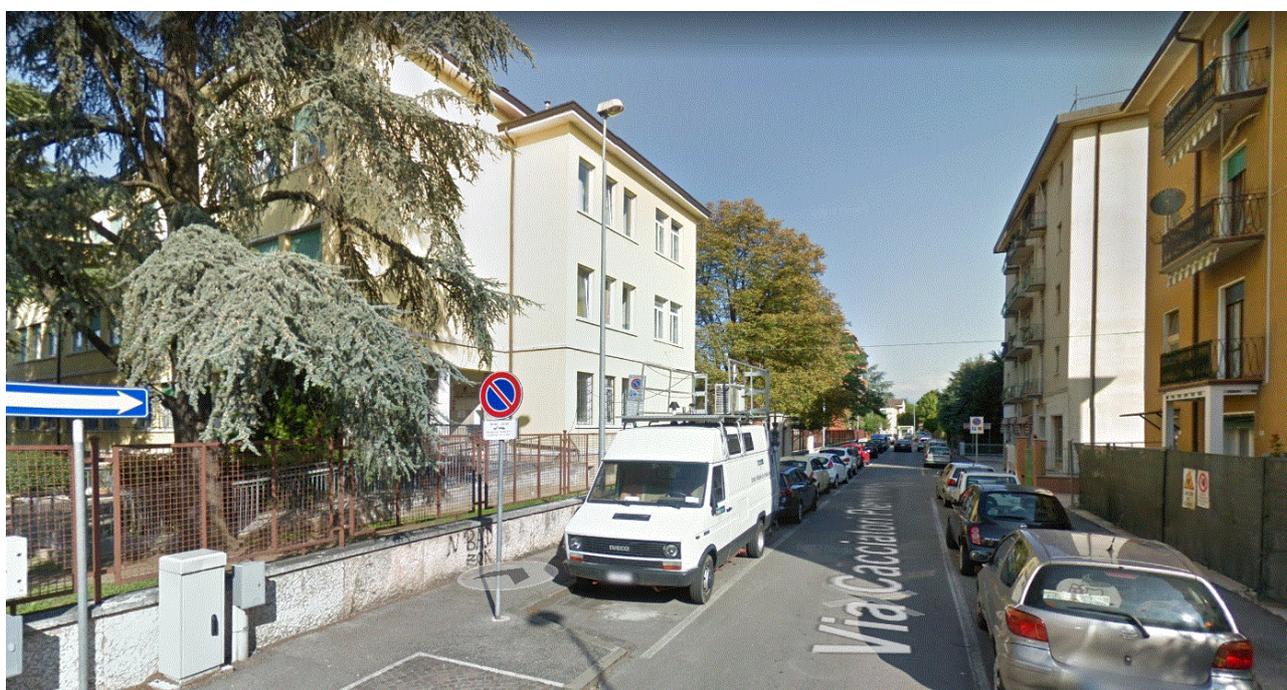


# Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

## Comune di Verona, zona Fiera, 2018



**Periodo di attuazione:**  
**19/02/2018 – 23/04/2018**

**RELAZIONE TECNICA**

**Realizzato a cura di:**

**A.R.P.A.V.**

**Dipartimento Provinciale di Verona**

Direttore: Cunego Giancarlo

**Servizio Controlli Ambientali**

Dirigente: Predicatori Francesca

De Zolt Sappadina Simona

**Servizio monitoraggio e valutazioni**

Responsabile: Salomoni Andrea

Sarego Giacomo

**Servizio Meteorologico di Teolo**

**Ufficio Agrometeorologia e Meteorologia Ambientale**

*(Contestualizzazione meteo-climatica)*

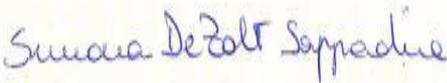
Sansone Maria

**Dipartimento Regionale Laboratori**

*(analisi dati manuali)*

Direttore: Daprà Francesca

*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.*

<b>Relazione tecnica n. 11/2018</b>		<b>Data : 22/10/2018</b>
F.to Il Tecnico Unità Operativa Fisica Dr.ssa Simona De Zolt Sappadina 	F.to Il Dirigente Unità Operativa Fisica Dr.ssa Francesca Predicatori 	

## INDICE

1.	Introduzione e obiettivi specifici della campagna.....	4
2.	Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione.....	4
3.	Contestualizzazione meteo-climatica ( <i>a cura di Maria Sansone</i> ).....	7
4.	Inquinanti monitorati e normativa di riferimento.....	9
5.	Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi.....	10
6.	Analisi dei dati rilevati.....	11
6.1	Monossido di carbonio (CO).....	11
6.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) – Ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	12
6.3	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ).....	18
6.4	Ozono (O <sub>3</sub> ).....	19
6.5	Polveri atmosferiche inalabili (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2.5</sub> ).....	21
6.6	Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) , etilbenzene, toluene, xilene(omp).....	24
6.7	Benzo(a)pirene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) e altri IPA.....	26
7	Conclusioni.....	27
8	ALLEGATO.....	29

# 1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna

La campagna è stata richiesta dal Comune di Verona e rientra nell'ambito delle Attività in convenzione per il biennio 2018 -2019 (DDG n. 82 del 28.03.2018). Il monitoraggio permette di fornire informazioni sulla qualità dell'aria nella zona Sud del comune di Verona, in vicinanza della Fiera. L'area di Verona che si trova immediatamente a sud della stazione ferroviaria, si divide in tre quartieri: il quartiere residenziale di Santa Lucia a ovest, la zona della fiera e industriale, attraversata da viale del Lavoro al centro, e il quartiere residenziale di Borgo Roma a est. Le misure sono state eseguite nelle due zone residenziali, nei seguenti punti di campionamento:

- via Udine, a ovest della zona Fiera, nel quartiere di Borgo Roma, nel parcheggio antistante l'Istituto comprensivo Verona 11;
- via Cacciatori Piemontesi, a est della zona Fiera, vicino alla scuola elementare Massimo D'Azeglio;
- via Scopoli, sul lato nord dei padiglioni della Fiera.

I punti di monitoraggio si trovano in un'area in cui la principale fonte di pressione è rappresentata dal traffico. Il principale attrattore è la Fiera di Verona. Vi sono poi l'ospedale Policlinico di Borgo Roma, 1 km a sud-est del punto di monitoraggio di Via Udine, e i centri commerciali a sud della Fiera. Inoltre, la zona della Fiera è attraversata da nord a sud da viale del Lavoro, strada di accesso alla città per i mezzi che provengono dall'autostrada A4 e dalla tangenziale Sud. 150 m a est del punto di via Udine si trova via San Giacomo, che costituisce una delle principali vie di accesso alla città dalla parte meridionale della provincia. Infine, 2.2 km a sud della fiera passa l'autostrada A4.

## 2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione

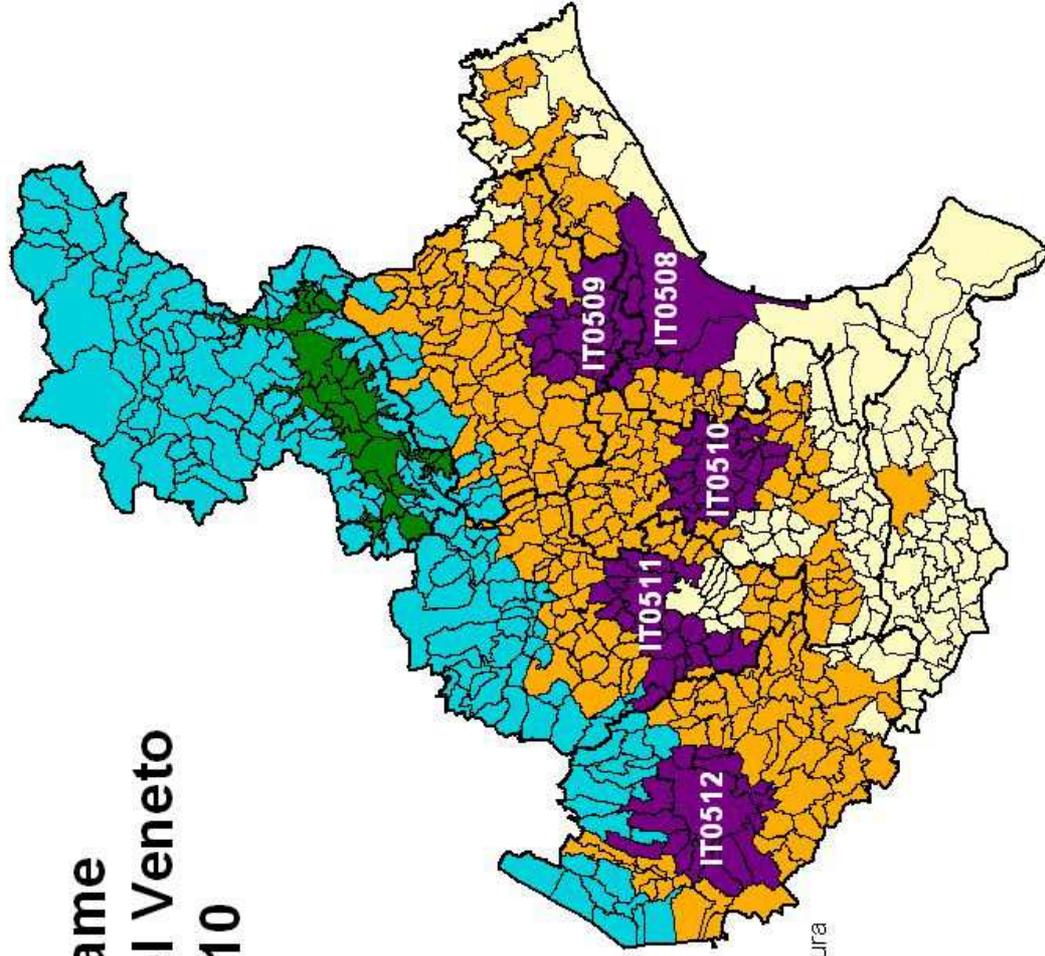
Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile sono state svolte nei periodi indicati in tabella 1, e coprono un periodo invernale, tra febbraio e aprile 2018. L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Verona, nelle vicinanze della Fiera. Le postazioni di via Udine e via Cacciatori Piemontesi si trovano all'interno di una zona residenziale: in questi due punti di monitoraggio sono state posizionate le stazioni mobili rilocabili, che hanno misurato la concentrazione di tutti i principali inquinanti. Nella postazione di Via Scopoli, che si trova immediatamente a lato della fiera, è stato misurato solamente il  $PM_{10}$ . Il comune di Verona ricade nella zona "Agglomerato Verona", ai sensi della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 2130/2012 e rappresentata in figura 1.

In figura 2 è indicata la posizione dei mezzi mobili durante le campagne di monitoraggio, e delle centraline di riferimento, i cui dati sono stati utilizzati per un confronto con quelli delle postazioni mobili.

Punto di misura	Data inizio	Data fine
Via Cacciatori Piemontesi	19/02/2018	23/04/2018
Via Udine	19/02/2018	23/04/2018
Via Scopoli	21/02/2018	23/04/2018

**Tabella 1: punti di misura e periodi delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria**

# Progetto di riesame della zonizzazione del Veneto D. Lgs. 155/2010



Legenda:

Zonizzazione

- IT0508 Agglomerato Venezia
- IT0509 Agglomerato Treviso
- IT0510 Agglomerato Padova
- IT0511 Agglomerato Vicenza
- IT0512 Agglomerato Verona
- IT0513 Pianura e Capoluogo bassa pianura
- IT0514 Bassa pianura e colli
- IT0515 Prealpi e Alpi
- IT0516 Valbelluna
- Confini Provinciali
- Confini Comunali



Scala 1: 1.200.000

Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012



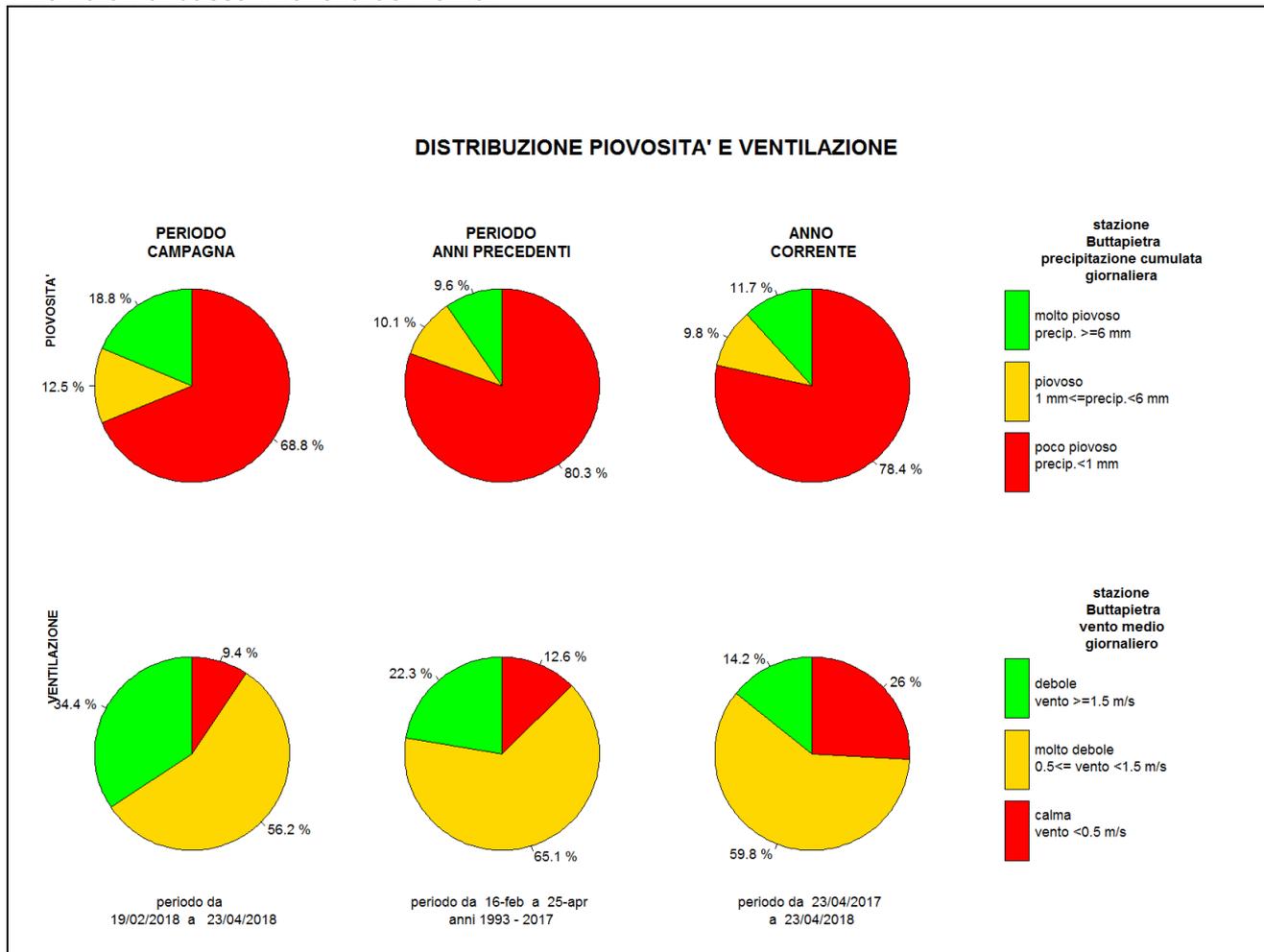
### 3. Contestualizzazione meteo-climatica *(a cura di Maria Sansone)*

La situazione meteorologica è stata analizzata mediante l'uso di diagrammi circolari nei quali si riporta la frequenza dei giorni con caratteristiche di piovosità e ventilazione definite in tre classi:

- in rosso (precipitazione giornaliera inferiore a 1 mm e intensità media del vento minore di 0.5 m/s): condizioni poco favorevoli alla dispersione degli inquinanti;
- in giallo (precipitazione giornaliera compresa tra 1 e 6 mm e intensità media del vento nell'intervallo 0.5 m/s e 1.5 m/s): situazioni debolmente dispersive;
- in verde (precipitazione giornaliera superiore a 6 mm e intensità media del vento maggiore di 1.5 m/s): situazioni molto favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

I valori delle soglie per la ripartizione nelle tre classi sono state individuate in maniera empirica in base ad un campione pluriennale di dati.

Per la descrizione della situazione meteorologica si è scelto di utilizzare i dati della stazione di Buttapietra (VR) (con anemometro a 2 m) che è la più vicina della rete ARPAV (distanza inferiore a 10 km). Si fa presente che a causa della quota di misura, l'intensità del vento è sottostimata rispetto a misure effettuate a 5 o 10 m di altezza, per questo motivo nel grafico con i diagrammi circolari si utilizza una scala di intensità del vento che permetta di apprezzare eventuali differenze fra valori di bassa intensità del vento.



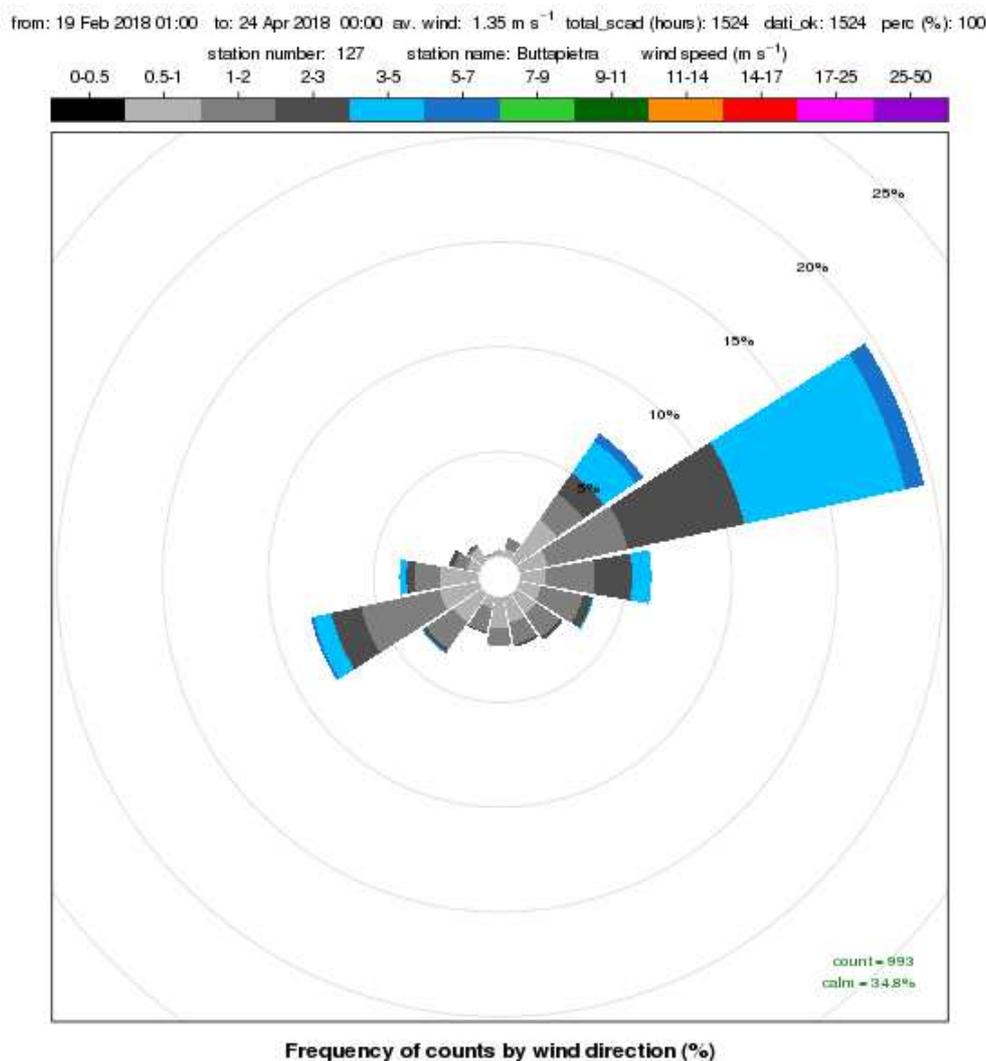
**Figura 3: diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadale corrispondente degli anni precedenti (PERIODO ANNI PRECEDENTI) e durante l'intero anno in corso (ANNO CORRENTE).**

Nella figura 3 si mettono a confronto le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione meteorologica ARPAV di Buttapietra in tre periodi:

- 19 febbraio - 23 aprile 2018, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 16 febbraio - 25 aprile dall'anno 1993 all'anno 2017 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 23 aprile 2017 - 23 aprile 2018 (ANNO CORRENTE).

Dal confronto dei diagrammi circolari risulta che durante il periodo di svolgimento della campagna di misura:

- i giorni molto piovosi sono stati più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento;
- i giorni con vento debole (che con questa scala rappresentano le condizioni più favorevoli alla dispersione) sono stati più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento, con uno scarto maggiore rispetto all'anno corrente.



**Figura 4: rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Buttapietra nel periodo 19 febbraio - 23 aprile 2018**

In figura 4 si riporta la rosa dei venti registrati presso la stazione di Buttapietra durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento è est-nordest (circa 20% dei casi), seguita da ovest-sudovest (circa 8%), nord-est (circa 7%) ed est (circa 6%). Le calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) sono state pari a circa il 35% dei casi. La velocità media è stata pari a circa 1.35 m/s.

## 4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

Le stazioni rilocabili sono dotate di analizzatori in continuo per il campionamento e la misura degli inquinanti chimici individuati dalla normativa vigente, inerente all'inquinamento atmosferico, e più precisamente monossido di carbonio (CO), anidride solforosa (SO<sub>2</sub>), biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>).

Contestualmente alle misure eseguite in continuo, sono stati effettuati anche dei campionamenti sequenziali per la determinazione gravimetrica delle polveri inalabili PM<sub>10</sub>, per l'analisi in laboratorio del benzene, degli idrocarburi policiclici aromatici IPA (con riferimento al benzo(a)pirene).

Sono stati inoltre misurati in continuo alcuni parametri meteorologici quali temperatura, umidità relativa, pressione, intensità e direzione del vento.

Per tutti gli inquinanti considerati sono in vigore i limiti individuati dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155, attuazione della Direttiva 2008/50/CE. Il D.Lgs. 155/2010 riveste particolare importanza nel quadro normativo della qualità dell'aria perché costituisce, di fatto, un vero e proprio testo unico sull'argomento. Infatti, secondo quanto riportato all'articolo 21 del decreto, sono abrogati il D.Lgs. 351/1999, il DM 60/2002, il D.Lgs. 183/2004 e il D.Lgs. 152/2007, assieme ad altre norme di settore. E' importante precisare che il valore aggiunto di questo testo è quello di unificare sotto un'unica legge la normativa previgente, mantenendo un sistema di limiti e di prescrizioni analogo a quello già in vigore.

Gli inquinanti da monitorare e i limiti stabiliti sono rimasti invariati rispetto alla disciplina precedente, fatta eccezione per il particolato PM<sub>2,5</sub>, i cui livelli nell'aria ambiente vengono per la prima volta regolamentati in Italia con detto decreto.

Nelle Tabelle 2 e 3 si riportano, per ciascun inquinante, i limiti di legge previsti dal D.Lgs. 155/2010, suddivisi in limiti di legge a mediazione di breve periodo, relativi all'esposizione acuta della popolazione, e limiti di legge a mediazione di lungo periodo, relativi all'esposizione cronica della popolazione. In Tabella 4 sono indicati i limiti di legge stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione degli ecosistemi.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO <sub>2</sub>	Soglia di allarme (*)	500 µg/m <sup>3</sup>
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	350 µg/m <sup>3</sup>
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Soglia di allarme (*)	400 µg/m <sup>3</sup>
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	200 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	50 µg/m <sup>3</sup>
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	10 mg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	Soglia di informazione (Media 1 h)	180 µg/m <sup>3</sup>
	Soglia di allarme (Media 1 h)	240 µg/m <sup>3</sup>
	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 µg/m <sup>3</sup>
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m <sup>3</sup>

**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<sup>2</sup>, oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

Inquinante	Tipologia	Valore
NO <sub>2</sub>	Valore limite annuale	40 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Valore limite annuale	40 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	Valore limite annuale	25 µg/m <sup>3</sup>
Piombo	Valore limite annuale	0.5 µg/m <sup>3</sup>
Arsenico	Valore obiettivo (media su anno civile)	6.0 ng/m <sup>3</sup>
Cadmio	Valore obiettivo (media su anno civile)	5.0 ng/m <sup>3</sup>
Nichel	Valore obiettivo (media su anno civile)	20.0 ng/m <sup>3</sup>
Benzene	Valore limite annuale	5.0 µg/m <sup>3</sup>
B(a)pirene	Valore obiettivo (media su anno civile)	1.0 ng/m <sup>3</sup>

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

Inquinante	Tipologia	Valore
SO <sub>2</sub>	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile e inverno (01/10 – 31/03)	20 µg/m <sup>3</sup>
NOX	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	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 <sup>3</sup> h
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	6000 µg/m <sup>3</sup> h

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

## 5. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi

Gli analizzatori in continuo per il monitoraggio degli inquinanti convenzionali e non, allestiti a bordo della stazione rilocabile, presentano caratteristiche conformi al D.Lgs. 155/2010 (i volumi sono stati normalizzati 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 PM<sub>10</sub> (diametro aerodinamico inferiore a 10 µm) e degli IPA (con riferimento al benzo(a)pirene) è stato realizzato con una linea di prelievo sequenziale, posta all'interno della stazione rilocabile, che utilizza filtri da 47 mm di diametro e cicli di prelievo di 24 ore. Detti campionamenti sono stati condotti con l'utilizzo di apparecchiature conformi alle specifiche tecniche dettate dal D.Lgs. 155/2010 (il volume campionato si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni). Le determinazioni analitiche sui campioni prelevati sono state effettuate al termine del ciclo di campionamento sui filtri esposti in quarzo, mediante determinazione gravimetrica per il PM<sub>10</sub> ("metodo UNI EN 12341:1999") e cromatografia liquida ad alta prestazione per gli IPA (HPLC "metodo UNI EN 15549:2008").

Il benzene è stato misurato attraverso "campionamento passivo", tecnica di monitoraggio così definita poiché 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, 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.

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).

## 6. Analisi dei dati rilevati

In questo capitolo vengono analizzati i risultati delle analisi della concentrazione dei vari inquinanti, misurata durante le campagne di monitoraggio. Ove possibile, è stato realizzato un confronto con i corrispondenti valori rilevati presso due centraline fisse di riferimento: la stazione di Verona-Giarol e quella di Verona-Borgo Milano, della provincia di Verona. La prima, essendo situata lontano da fonti emmissive dirette come strade e industrie, è un punto di campionamento rappresentativo di un’area in cui l’inquinamento è determinato prevalentemente dal trasporto delle emissioni dall’area urbana circostante, e si definisce stazione di fondo urbano. La centralina di Verona-Borgo Milano, invece, essendo situata nelle vicinanze di una strada ad alta intensità di traffico, è rappresentativa di situazioni urbane caratterizzate per lo più da emissioni legate al traffico veicolare e si definisce stazione di traffico urbano.

Nelle tabelle riportate, sono stati calcolati vari parametri statistici, che consentono una descrizione sintetica ed esaustiva della concentrazione di inquinanti misurata a Verona. I parametri sono descritti in modo esteso in tabella 5.

Per rappresentare graficamente i risultati delle analisi sono stati utilizzati anche dei grafici tipo box-whisker, che sono spiegati in dettaglio nella figura 21 in Allegato.

Grandezza statistica	Significato
N	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 giornaliero	Massimo calcolato sulle medie giornaliere
N superamenti limite	Numero di superamenti di un certo limite

**Tabella 5, esplicitiva del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.**

### 6.1 Monossido di carbonio (CO)

La tabella 6 e il grafico 1 in Allegato riportano i principali dati statistici riferiti alla misura delle concentrazioni di CO in via Udine e via Cacciatori Piemontesi: durante la campagna di monitoraggio la concentrazione è sempre stata ampiamente inferiore al valore limite di 10 mg/m<sup>3</sup> (applicato alla media mobile di 8 ore), in linea con quanto si rileva presso tutte le stazioni di

monitoraggio della Provincia di Verona. I valori medi sono stati vicini al limite di rivelabilità dello strumento, pari a 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

CO (mg/m <sup>3</sup> )	Via Udine	Via Cacciatori Piemontesi	VR-BgoMilano
media	0.3	0.4	0.3
sd	0.2	0.3	0.2
min	<0.1	<0.1	<0.1
max	1.2	1.5	0.9
mediana	0.3	0.3	0.2
N	1507	1507	1507
dati mancanti	17	105	11
data.capture (%)	99	93	99
max giornaliero	0.8	1.1	0.6
max.rolling.8	1.0	1.3	0.8
95°percentile	0.7	0.9	0.6
99°percentile	0.9	1.2	0.7
N superamenti 10 mg/m <sup>3</sup>	0	0	0

**Tabella 6. Concentrazione di CO: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura in via Udine e via Cacciatori Piemontesi. Confronto con i dati della stazione fissa di Borgo Milano. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m<sup>3</sup>.**

## 6.2 Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) – Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)

In tabella 7 e in figura 5, sono riassunti i principali dati statistici relativi alla concentrazione di biossido di azoto nel periodo di monitoraggio: non è avvenuto alcun superamento del valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 µg/m<sup>3</sup> né nei due punti di monitoraggio in zona Fiera né presso le centraline fisse di VR-Borgo Milano e VR-Giarol.

I valori medi e massimi più elevati sono stati registrati in via Udine. A seguire, via Cacciatori Piemontesi mostra il valore medio più elevato, benché il valore massimo relativo a questa postazione sia inferiore a quello di VR-Giarol. Le due centraline fisse, invece, presentano valori medi confrontabili e più bassi di quelli delle postazioni in zona Fiera. Un test statistico (Kruskal) evidenzia che il valore medio della concentrazione di NO<sub>x</sub> e di NO<sub>2</sub> di via Udine è significativamente diverso da quello degli altri punti di misura, come anche il valor medio di via Cacciatori Piemontesi, a un livello di significatività del 99%. Invece la differenza tra le due centraline fisse non è significativa.

Osservando il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> nelle varie postazioni, riportato in figura 6, si notano due picchi, al mattino e alla sera, comuni a tutti i punti di monitoraggio: essi corrispondono alle ore di traffico più intenso, in cui l'emissione di ossidi di azoto da parte dei veicoli circolanti è più consistente. Da questo grafico si vede che la concentrazione di NO<sub>2</sub> nei punti di monitoraggio in zona Fiera è superiore a quella delle centraline di riferimento durante tutto l'arco della giornata. Il grafico della settimana tipo, riportato in figura 7, mostra anche come nel fine settimana le concentrazioni di ossidi di azoto diminuiscano, in conseguenza di una diminuzione del traffico.

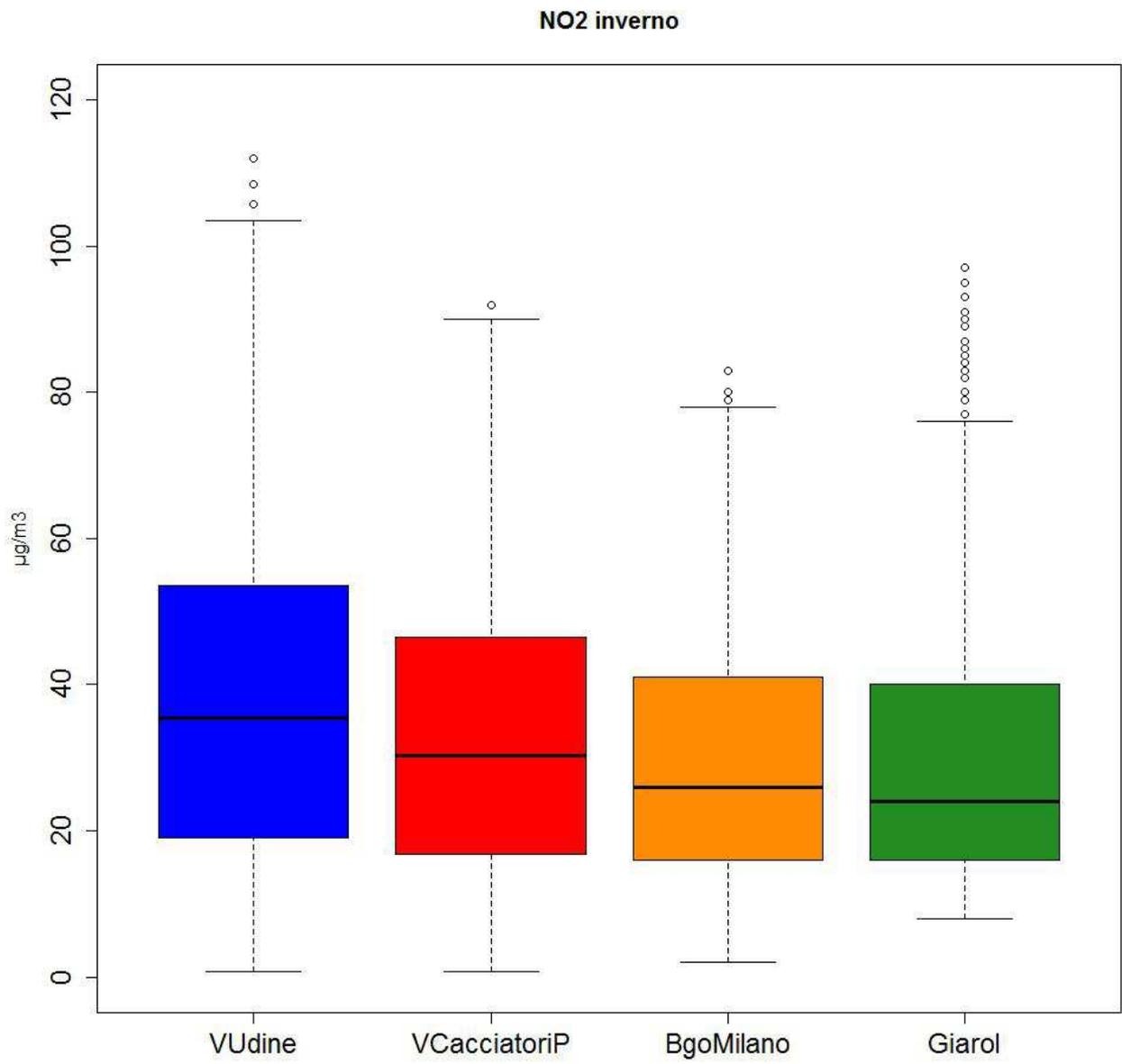
Se si analizza il rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, che rappresenta la frazione di NO<sub>x</sub> che si trasforma in NO<sub>2</sub> attraverso una reazione secondaria, si osserva che i valori più bassi si trovano in via Udine e, a seguire, in via Cacciatori Piemontesi (figura 8). Generalmente, questo rapporto è basso in prossimità delle sorgenti emissive, dove il contributo degli inquinanti primari (direttamente emessi dalle sorgenti) è preponderante; al contrario, lontano dalle sorgenti emissive si misura una maggior quantità di inquinanti secondari, cioè originati da una reazione chimica a partire da inquinanti

primari, e il rapporto considerato si avvicina a 1. Infatti, si verifica che a VR-Giarol, postazione di fondo sub-urbano, il rapporto si avvicina a 1, mentre a VR-Borgo Milano, stazione di traffico, esso è più basso. Nel caso dei due punti di misura in zona Fiera, si presentano valori ancor più bassi del rapporto considerato, indice di un ancor più importante contributo della componente primaria degli NO<sub>x</sub>, e quindi del ruolo diretto delle sorgenti emissive.

Nei giorni compresi tra il 21 e il 25 febbraio 2018 si è tenuto in Fiera l'evento "Progetto Fuoco", durante il quale sono state in funzione molte caldaie a biomassa, a scopo dimostrativo, nel padiglione dedicato della Fiera. Questo evento ha comportato un aumento delle emissioni di ossidi di azoto, legato sia al funzionamento delle caldaie sia al traffico indotto. Tuttavia, a questo incremento di emissioni corrisponde un aumento delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera, a causa della sovrapposizione dell'effetto della meteorologia: proprio negli stessi giorni, il Nord Italia è stato interessato dal passaggio di una depressione, che ha determinato una fase di tempo perturbato, e condizioni molto favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Per questo motivo, le concentrazioni degli inquinanti sono sensibilmente diminuite in tutta la regione, e anche nei punti di monitoraggio in Fiera.

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Via Udine	VR-VCacciatoriP	VR-BgoMilano	VR-Giarol
media	38	33	29	30
sd	22	19	16	18
min	1	1	2	8
max	112	92	83	97
mediana	35	30	26	24
N	1507	1507	1507	1507
dati mancanti	23	103	12	11
data.capture	98	93	99	99
max giornaliero	74	62	64	75
95°percentile	76	66	59	65
99°percentile	92	78	73	80
N superamenti 200 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0
N superamenti 400 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0

**Tabella 7. Concentrazione di NO<sub>2</sub>: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura in via Udine e in via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m<sup>3</sup>.**



**Figura 5. Box-plot della concentrazione di NO<sub>2</sub>. Dati relativi a via Udine, via Cacciatori Piemontesi, e alle due centraline di riferimento di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol.**

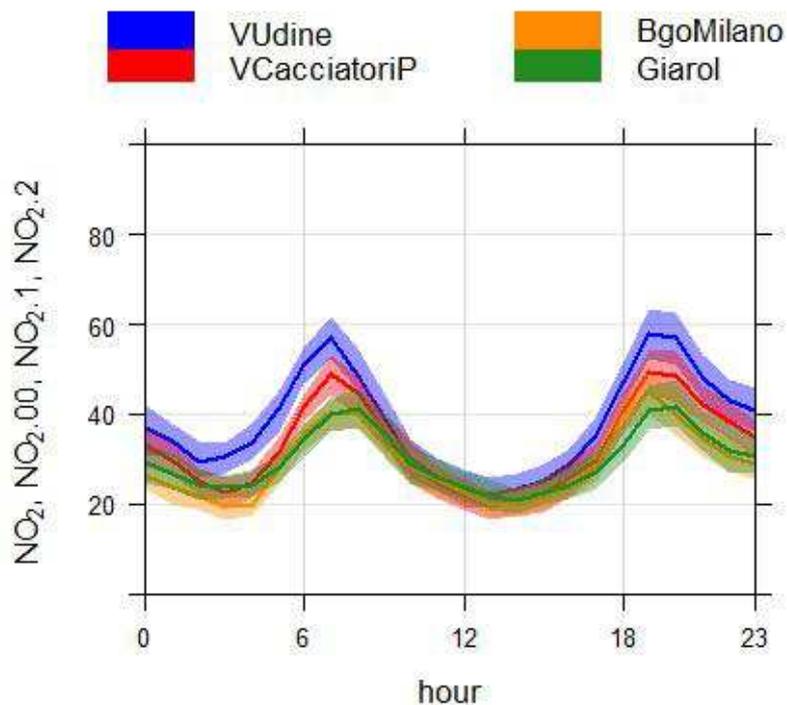


Figura 6. Giorno-tipo di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna di misura di via Udine, via Cacciatori Piemontesi e dati delle stazioni fisse di Borgo Milano e Giarol.

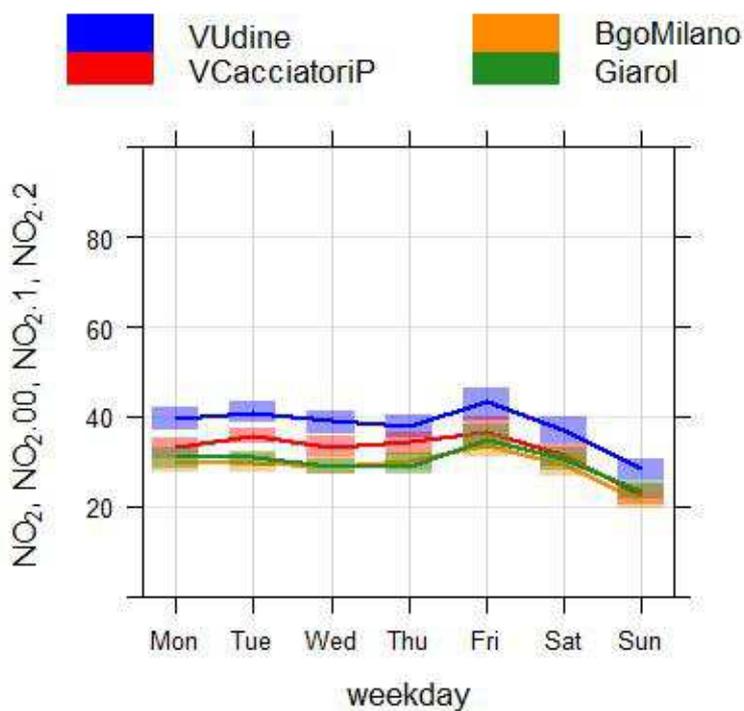
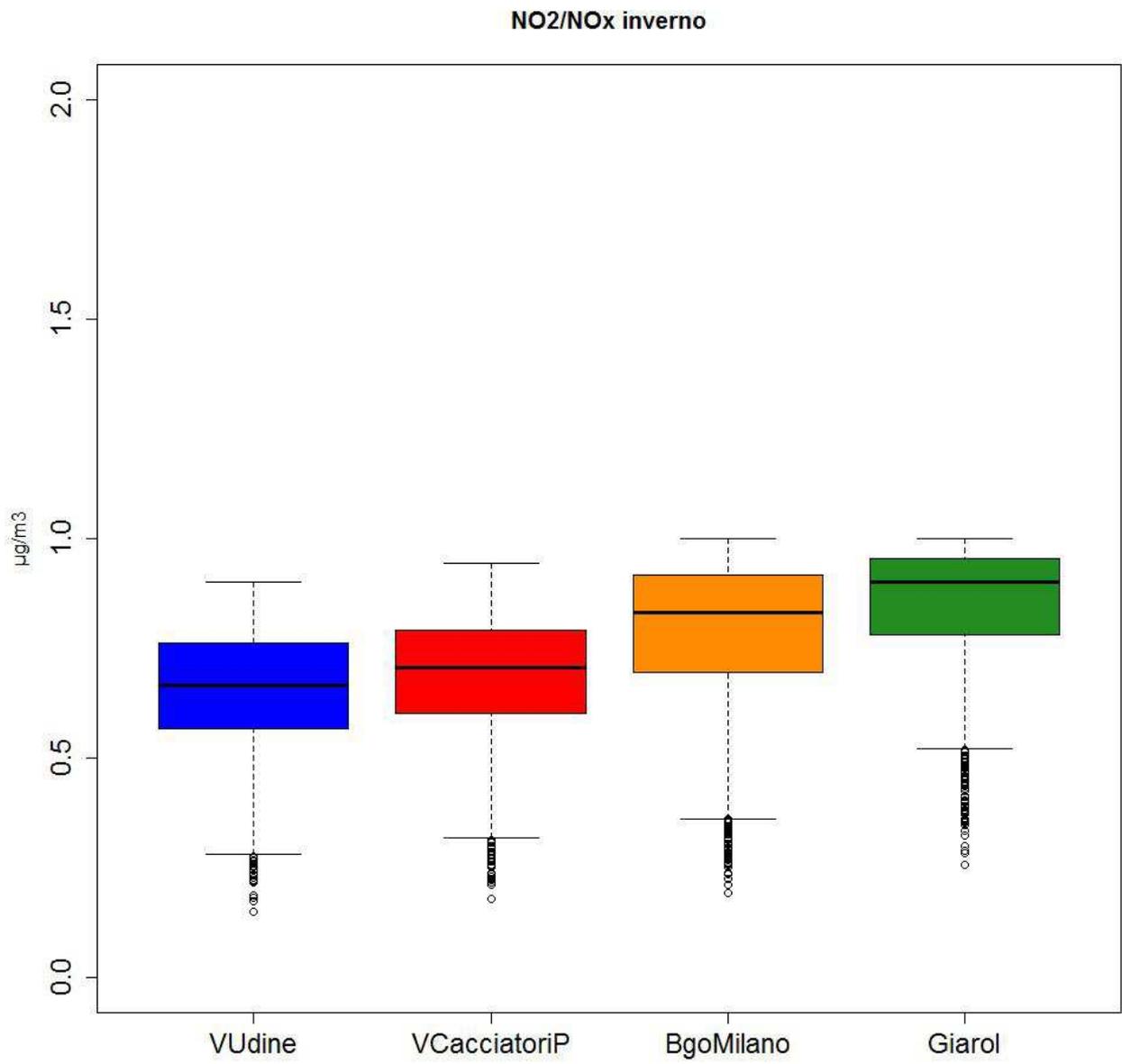


Figura 7. settimana-tipo di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna di misura di via Udine, via Cacciatori Piemontesi e dati delle stazioni fisse di Borgo Milano e Giarol.

<b>NOx (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Via Udine</b>	<b>VR-VCacciatoriP</b>	<b>VR-BgoMila-no</b>	<b>VR-Giarol</b>
media	64	54	44	39
sd	52	44	39	34
min	5	4	2	8
max	367	287	284	273
mediana	48	40	30	27
N	1507	1507	1507	1507
dati mancanti	23	103	13	11
data.capture	98	93	99	99
max giornaliero	182	158	155	158
95°percentile	168	139	118	105
99°percentile	269	226	199	183

**Tabella 8. Concentrazione di NOx: principali parametri statistici. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .**



**Figura 8. Box-plot del rapporto tra concentrazione di NO<sub>2</sub>e concentrazione di NO<sub>x</sub>. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol.**

## 6.3 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

Durante la campagna di monitoraggio, la concentrazione di biossido di zolfo è stata ampiamente inferiore ai valori limite di 350 µg/m<sup>3</sup> e 500 µg/m<sup>3</sup> (Tabella 9 e Allegato – Grafico 3), in tutti i punti di misura, come tipicamente accade presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona.

I valori medi misurati nei due periodi di campagna sono inferiori al limite di rivelabilità strumentale analitica (3 µg/m<sup>3</sup>), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 µg/m<sup>3</sup>), presso tutti i siti di monitoraggio. Anche i valori massimi rimangono molto bassi e lontani dal limite normativo.

	VUdine	Via Cacciatori P.	VR-BgoMilano
media	<3	<3	<3
sd	1	1	0
min	<3	<3	<3
max	6	14	5
mediana	2	1	2
N	1507	1507	1507
dati mancanti	25	116	40
data.capture	98	92	97
95°percentile	4	3	4
99°percentile	4	3	3
N superamenti 350 µg/m <sup>3</sup>	4	4	4
N superamenti 125 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0

**Tabella 9. Concentrazione di SO<sub>2</sub>: principali parametri statistici. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 3 µg/m<sup>3</sup>.**

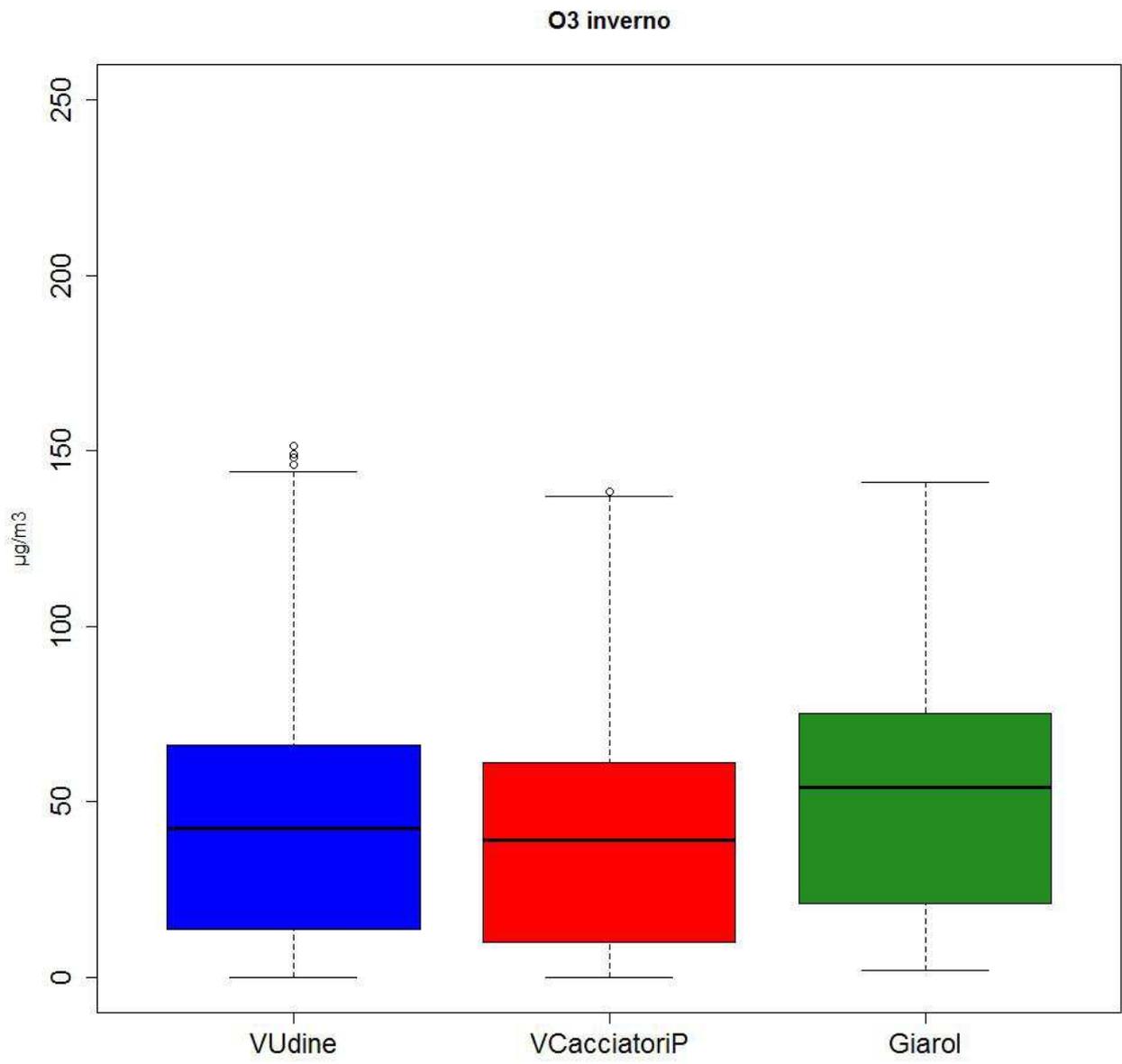
## 6.4 Ozono (O<sub>3</sub>)

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 e nelle ore centrali della giornata, quando la radiazione solare è più intensa.

Durante la campagna di misura in zona fiera, sono stati registrati 3 superamenti del limite di 120 µg/m<sup>3</sup> sulla media mobile di 8 ore (tabella 10 e grafico 5 in Allegato) in via Udine, 2 in via Cacciatori Piemontesi e 4 presso la centralina fissa di Giarol. Essi si sono verificati a fine aprile, in corrispondenza di giornate soleggiate con elevate temperature. Non ci sono stati superamenti della soglia di informazione di 180 µg/m<sup>3</sup> sul dato orario (grafico 4 in Allegato). I valori rilevati presso le tre postazioni sono comparabili. Tuttavia questa analisi non fornisce indicazioni complete relative alla situazione dell'ozono in zona Fiera, in quanto questo inquinante presenta le maggiori criticità in periodo estivo, mentre i dati di questa campagna di misura si riferiscono prevalentemente a un periodo invernale.

	Via Udine	Via Cacciatori P.	Giarol
media	44	40	51
sd	32	31	32
min	<4	<4	<4
max	152	138	141
mediana	42	39	54
N	1507	1507	1507
dati mancanti	37	159	54
data.capture	98	89	96
max giornaliero	95	84	89
max.rolling.8	137	130	130
95°percentile	103	96	100
99°percentile	130	123	128
N superamenti 120 µg/m <sup>3</sup> sulla media mobile di 8h	3	2	4
N superamenti 180 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0
N superamenti 240 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0

**Tabella 10. Concentrazione di O<sub>3</sub>: principali parametri statistici. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. Il limite di rivelabilità dello strumento è 4 µg/m<sup>3</sup>.**



**Figura 9. Box-plot della concentrazione di O<sub>3</sub>. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol.**

## 6.5 Polveri atmosferiche inalabili (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Le polveri sottili (PM<sub>10</sub>) sono state misurate in tre punti della zona Fiera di Verona: via Udine, via Cacciatori Piemontesi e via Scopoli. Nelle tabelle e nei grafici che seguono vengono riportati anche i dati delle centraline fisse di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol, per un confronto. Si consideri che mentre le misure della campagna di Verona sono di tipo gravimetrico, quelle presso le centraline sono state realizzate con una linea di prelievo sequenziale e misura di assorbimento beta.

In figura 11 sono riportate le serie temporali della concentrazione di PM<sub>10</sub> misurata presso i cinque punti di monitoraggio. Si nota che l'andamento e anche i valori sono molto simili nelle diverse postazioni: questo è normale per un inquinante come il PM<sub>10</sub>, che è prevalentemente di natura secondaria, e risulta distribuito in modo piuttosto uniforme in tutto il territorio provinciale.

In tabella 11, sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM<sub>10</sub>, nei cinque punti di monitoraggio: per queste elaborazioni, per ogni postazione di misura, sono stati considerati tutti i dati disponibili. Invece, in tabella 12 gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando solo le giornate in cui il dato è presente in tutte le postazioni: questo consente un confronto tra di esse. Si può vedere che i valori medi nelle cinque postazioni sono molto vicini, e non differiscono significativamente. Anche il numero di superamenti è molto simile nelle varie postazioni.

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	VCacciatoriP	VScopoli	VUdine	BgoMilano	Giarol
media	35	35	34	30	31
N giorni	43	43	52	64	64
sd	18	18	18	15	18
max	91	92	87	79	97
min	4	4	5	2	2
N superamenti 50 µg/m <sup>3</sup>	8	8	7	7	8

**Tabella 11. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol.**

PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	VCacciatoriP	VScopoli	VUdine	BgoMilano	Giarol
media	35	36	33	32	33
N giorni	32	32	32	32	32
sd	20	20	19	17	22
max	91	92	87	79	97
min	4	4	5	2	2
N superamenti 50 µg/m <sup>3</sup>	7	7	5	6	6

**Tabella 12. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM<sub>10</sub>. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. Per il calcolo, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato era disponibile per tutte e tre le postazioni. Il limite di rivelabilità dello strumento è 4 µg/m<sup>3</sup>.**

### PM10 inverno

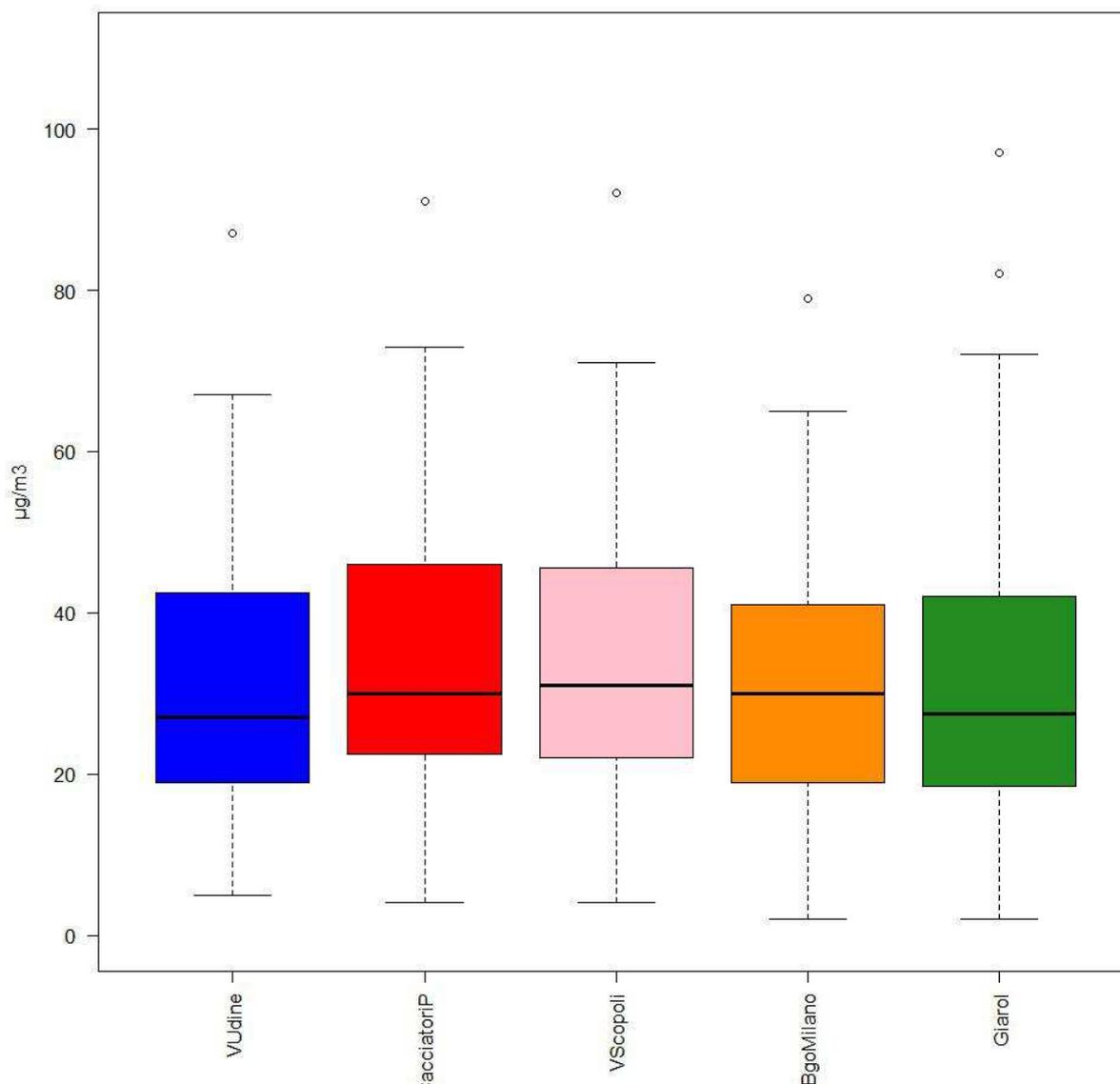
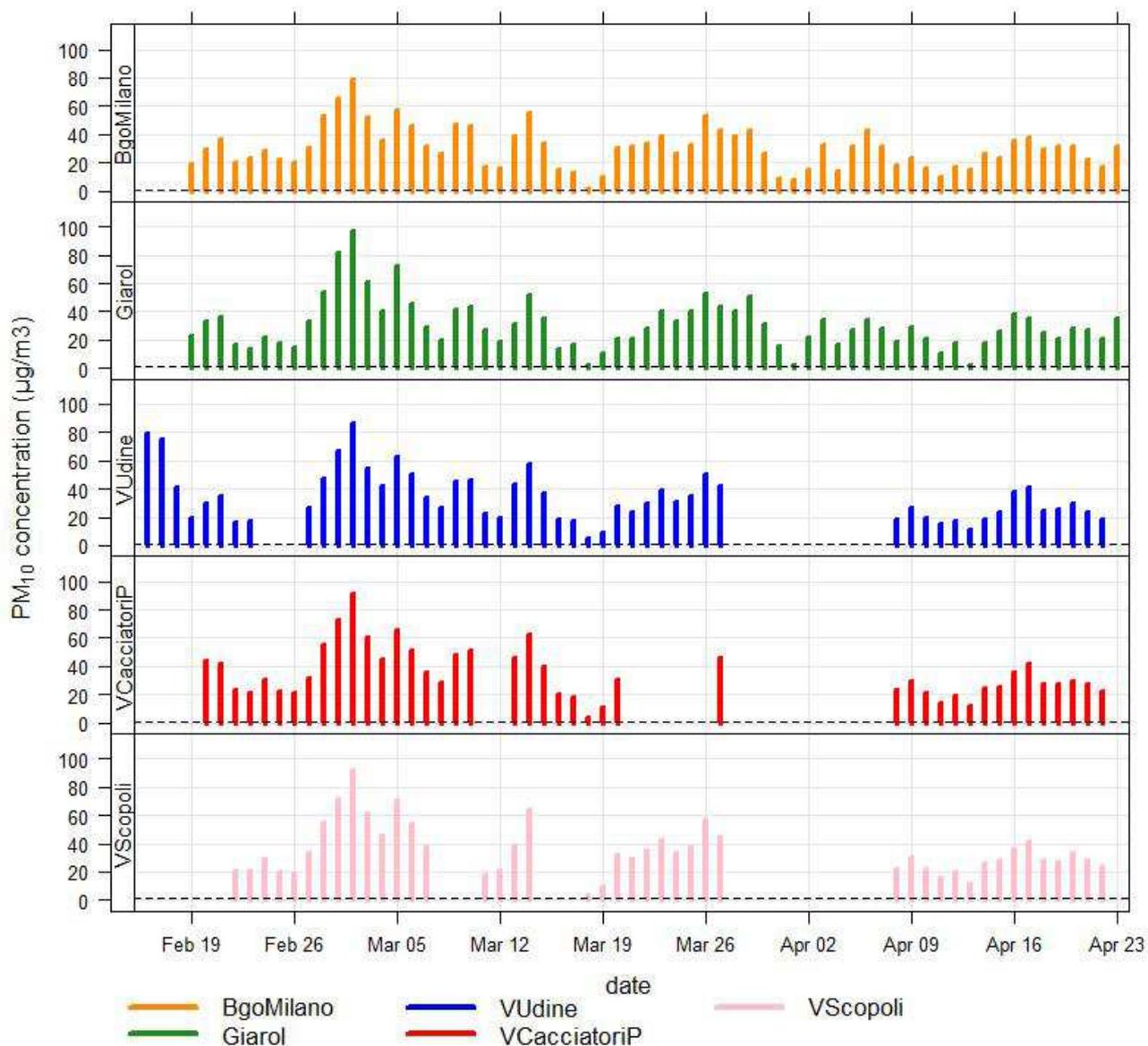


Figura 10. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM2.5: Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. Per il calcolo, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato era disponibile per tutte le postazioni. Il limite di rivelabilità dello strumento è  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## PM<sub>10</sub>



**Figura 11. Serie temporale della concentrazione di PM<sub>10</sub>. Dati delle campagne di misura di via Udine, via Cacciatori Piemontesi e via Scopoli, della centralina fissa di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol.**

## 6.6 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

La concentrazione di benzene è stata misurata utilizzando campionatori a diffusione in via Udine e via Cacciatori Piemontesi. Questo composto chimico è presente nelle benzine e la sua principale fonte emissiva è il traffico. Infatti, le concentrazioni di benzene sono molto simili nei siti di traffico (punti di campionamento in Fiera e Borgo Milano), è più elevate rispetto alla stazione di fondo di Giarol. Esse rimangono sempre inferiori al valore limite di 5 µg/m<sup>3</sup>, che si applica tuttavia alla media annuale.

site	data inizio campionamento	data fine campionamento	Benzene
Via CacciatoriP	19/02/2018	05/03/2018	2
Via Udine	15/02/2018	02/03/2018	1.7
BgoMilano	08/02/2018	23/02/2018	1.8
Giarol	08/02/2018	23/02/2018	1.1

**Tabella 13. Concentrazione di benzene e altri composti organici volatili (µg/m<sup>3</sup>) in Via Cacciatori Piemontesi e Via Udine. Per un confronto, sono stati riportati i valori misurati presso le stazioni fisse di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol, in un periodo che in parte si sovrappone a quello della campagna di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura per tutti gli inquinanti è 0.5 µg/m<sup>3</sup>.**

inverno

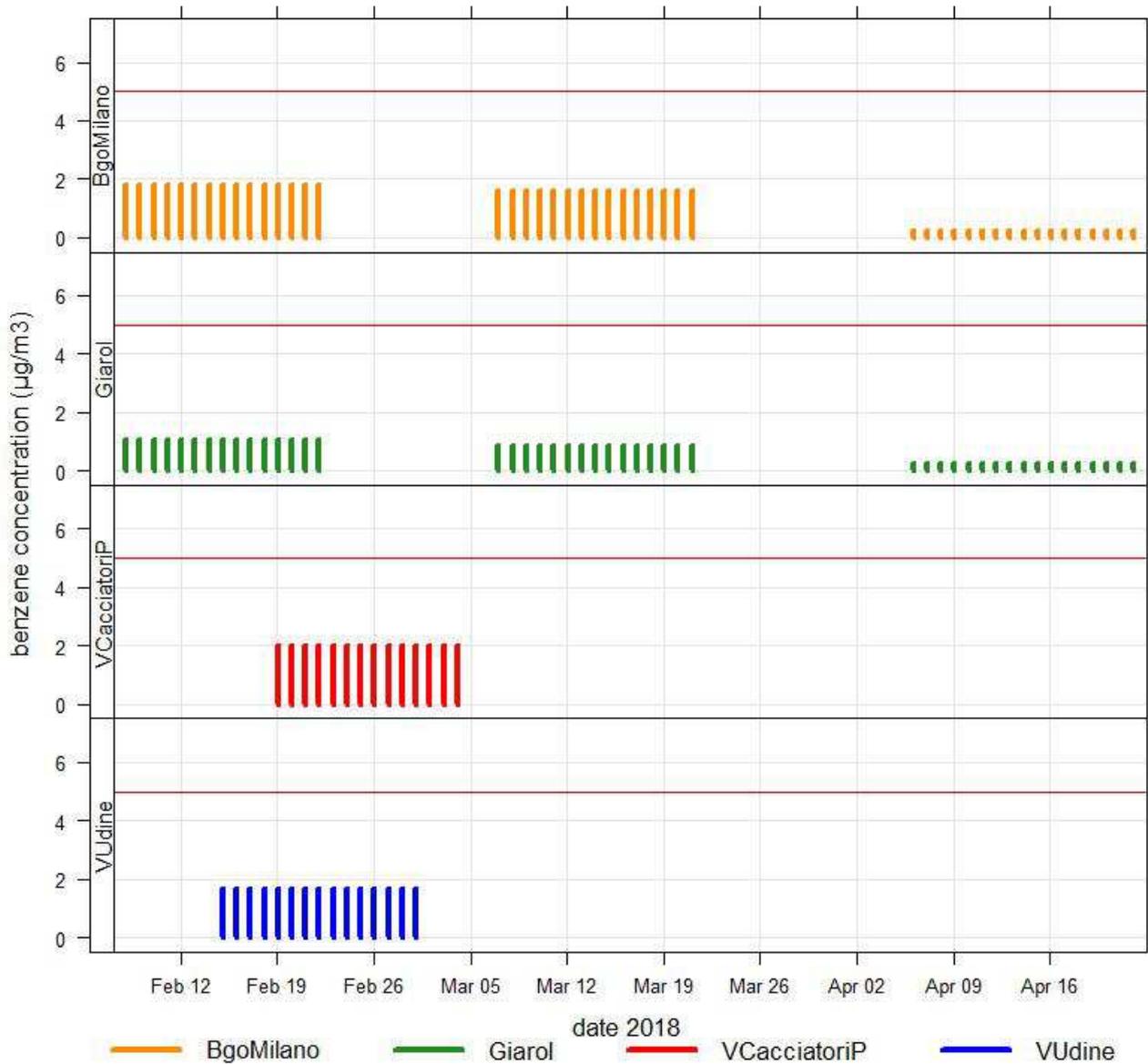


Figura 12. Serie temporale della concentrazione di benzene. Dati delle campagne di misura di via Udine e via Cacciatori Piemontesi, della centralina di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Verona-Giarol. La linea rossa indica il valore del limite di 5 µg/m<sup>3</sup>, che si applica alla media annuale della concentrazione di benzene in un sito.

## 6.7 Benzo(a)pirene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) e altri IPA

Il benzo(a)pirene e le altre specie di Idrocarburi Policiclici aromatici sono stati misurati solo in via Scopoli, nel periodo compreso tra il 22 e il 26 febbraio, cioè in corrispondenza dell'evento fieristico "Progetto Fuoco". I valori medi sono riportati in tabella 16 e sono bassi, se confrontati con quelli tipici del periodo invernale nelle stazioni fisse di Verona. Infatti, in questo periodo, le concentrazioni di tutti gli inquinanti misurate in provincia di Verona hanno mostrato valori molto bassi, associabili alle condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla loro dispersione. I valori sono molto vicini a quelli misurati presso la centralina di Verona-Giarol (non mostrato).

Specie chimica	Via Scopoli
Benzoantracene	0.49
Benzoapirene	0.64
Benzobfluorantene	0.63
Benzoghiperilene	0.73
Benzokfluorantene	0.36
Crisene	0.51
Dibenzoantracene	0.03
Indeno123cdpirene	0.4

**Tabella 14. Concentrazione media (giornaliera) di varie specie di IPA (ng/m<sup>3</sup>): dati della campagna di misura a Verona Sud, via Scopoli, relativi al periodo compreso tra il 22 e il 26 febbraio 2018. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.02 ng/m<sup>3</sup>.**

## 7 Conclusioni

Nel periodo compreso tra il 19 febbraio e il 23 aprile 2018, sono stati eseguiti monitoraggi della qualità dell'aria in tre punti della zona Sud di Verona. Due laboratori mobili sono stati posizionati in via Udine, a ovest della zona Fiera, nel parcheggio antistante l'Istituto comprensivo Verona 11, e in via Cacciatori Piemontesi, a est della zona Fiera, vicino alla scuola elementare Massimo D'Azeglio. In via Scopoli, adiacente al lato nord della Fiera, è stato posizionato un campionatore di polveri sottili (PM<sub>10</sub>).

La campagna di misura ha permesso di valutare la qualità dell'aria in una zona fortemente influenzata dal traffico veicolare, a causa della presenza di numerosi attrattori e del flusso in uscita e in entrata alla città. In particolare, la zona della Fiera è attraversata da nord a sud da viale del Lavoro, strada di accesso alla città per i mezzi che provengono dall'autostrada A4 e dalla tangenziale Sud; 150 m a est del punto di monitoraggio di via Udine si trova via San Giacomo, che costituisce una delle principali vie di accesso alla città dalla parte meridionale della provincia; circa 2 km a sud della Fiera, passa l'autostrada A4. Il principale attrattore di traffico è rappresentato dalla Fiera di Verona, insieme all'ospedale Policlinico di Borgo Roma, 1 km a sud-est del punto di monitoraggio di Via Udine, al centro commerciale Adigeo e al supermercato Esselunga, a sud della Fiera.

In Via Udine e Via Cacciatori Piemontesi sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, le medie giornaliere di PM<sub>10</sub> e benzo(a)pirene, e la media su un periodo di più giorni del benzene. In via Scopoli è stato misurato solo il PM<sub>10</sub>.

E' stata realizzata un'analisi dei dati, sono stati calcolati vari parametri statistici ed è stato effettuato un confronto con le due stazioni fisse di riferimento: quella di traffico urbano di Verona-Borgo Milano e quella di fondo urbano di Verona-Giarol.

Gli ossidi di azoto si sono rivelati un inquinante critico per la zona della Fiera: i valori medi di NO<sub>x</sub> e NO<sub>2</sub>, misurati in Via Udine e Via Cacciatori Piemontesi, sono significativamente più elevati di quelli delle centraline fisse di Borgo Milano e Giarol. Le concentrazioni più elevate sono state misurate in via Udine, a seguire in via Cacciatori Piemontesi. Non è stato misurato alcun superamento dei limiti normativi relativi all'esposizione acuta, né nei punti di monitoraggio in Fiera né nelle stazioni di riferimento della provincia di Verona.

La concentrazione di PM<sub>10</sub> è stata misurata in tre postazioni di Verona Sud: via Cacciatori Piemontesi, via Udine e via Scopoli. I dati sono stati confrontati con quelli delle centraline di fisse di Verona-Borgo Milano e Verona-Cason. L'analisi dei dati conferma che la concentrazione del particolato sottile è piuttosto omogenea in tutta la zona del comune di Verona. Anche il numero di superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup> è molto simile nei vari siti: 7 in via Cacciatori Piemontesi e via Scopoli, 5 in via Udine e 6 nelle centraline fisse di Borgo Milano e Giarol.

Il benzo(a)pirene, è stato misurato in via Scopoli tra il 21 al 25 febbraio 2018: infatti, in questo periodo, si è svolto l'evento fieristico "progetto fuoco", durante il quale sono state accese molte caldaie a biomassa nel padiglione della Fiera, a scopo dimostrativo, determinando un incremento delle emissioni. Tuttavia, i valori misurati di concentrazione di benzo(a)pirene, composto chimico associato alla combustione di biomassa, sono stati molto bassi. In questo periodo, infatti, una perturbazione che ha interessato il Nord-Italia ha determinato condizioni meteorologiche favorevoli alla dispersione, e le concentrazioni di tutti gli inquinanti monitorati in provincia sono state molto basse.

I valori medi di concentrazione di monossido di carbonio e biossido di zolfo sono stati molto bassi rispetto ai limiti indicati dalla normativa, e vicini al limite di rilevabilità strumentale.

Il benzene, misurato con campionatori passivi, presenta valori più elevati nelle stazioni di traffico rispetto a quella di fondo di Giarol, e comunque più bassi del limite annuale di 5 µg/m<sup>3</sup>.

L'ozono è stato misurato in un periodo non critico per questo inquinante, che viene generato attraverso reazione fotochimica, a partire principalmente da ossidi di azoto e composti organici

volatili, in presenza di elevate temperature e radiazione solare. Il limite di  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media mobile di 8 ore è stato superato a fine aprile, con l'aumento delle temperature, 3 volte in Via Udine, e 2 in Via Cacciatori Piemontesi.

In conclusione, i risultati della campagna di misura condotta in via Udine, via Cacciatori Piemontesi e via Scopoli confermano quanto già evidenziato dalle misure effettuate in zona Fiera negli anni 2016 e 2017: gli inquinanti più critici sono gli ossidi di azoto e il  $\text{PM}_{10}$ .

Le polveri sottili mostrano valori confrontabili con quelli delle centraline di riferimento del comune di Verona, e sono un inquinante critico per tutta la regione. Esse hanno prevalentemente un'origine secondaria, cioè non sono emesse direttamente da una fonte emissiva, ma si formano per reazione chimica di altri composti organici, come, ad esempio, gli ossidi di azoto e i composti organici volatili. Il loro tempo di permanenza in atmosfera è di diversi giorni, per cui possono essere trasportate anche lontano dal punto di formazione. Per questo motivo, la concentrazione di polveri sottili mostra variazioni spaziali limitate, se confrontate con quelle di altri inquinanti di origine prevalentemente primaria, emessi cioè direttamente da una fonte.

Gli ossidi di azoto, invece, nella zona della Fiera mostrano valori superiori a quelli rilevati presso la centralina di traffico di Verona-Borgo Milano, anche in assenza di manifestazioni fieristiche. Nonostante le concentrazioni di ossidi di azoto non mostrino superamenti dei limiti normativi ad esse relativi, rappresentano una criticità della zona, in quanto precursori di altri inquinanti di origine secondaria, per i quali, invece, i superamenti dei limiti normativi sono numerosi.

## 8 ALLEGATO

In questa relazione sono stati riportati anche alcuni grafici di tipo “box-whisker”, il cui significato è illustrato in figura 21.

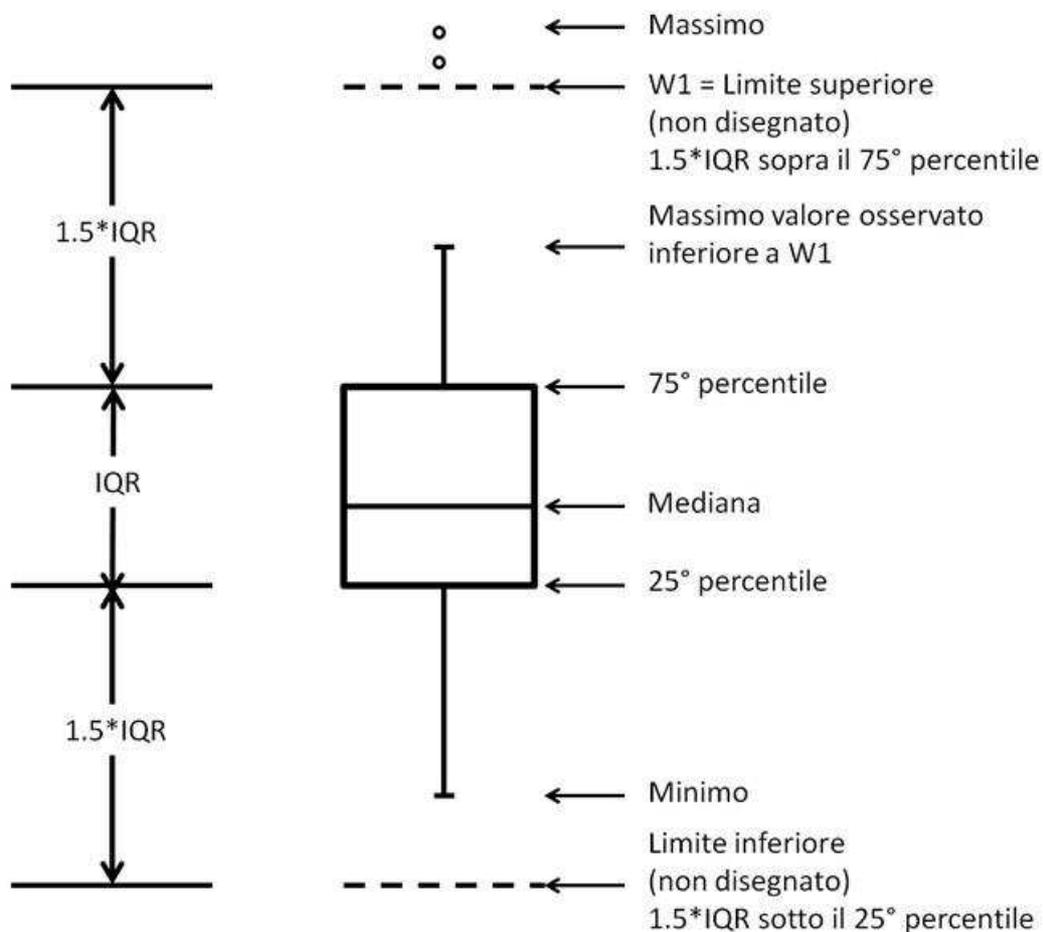


Figura 15. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata 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.

**Grafico 1 – Concentrazione di CO (mg/m<sup>3</sup>), media mobile di 8 ore, box-wisker plot. Campagna di misura in via Udine (pannello sopra) e in via Cacciatori Piemontesi (pannello sotto).**

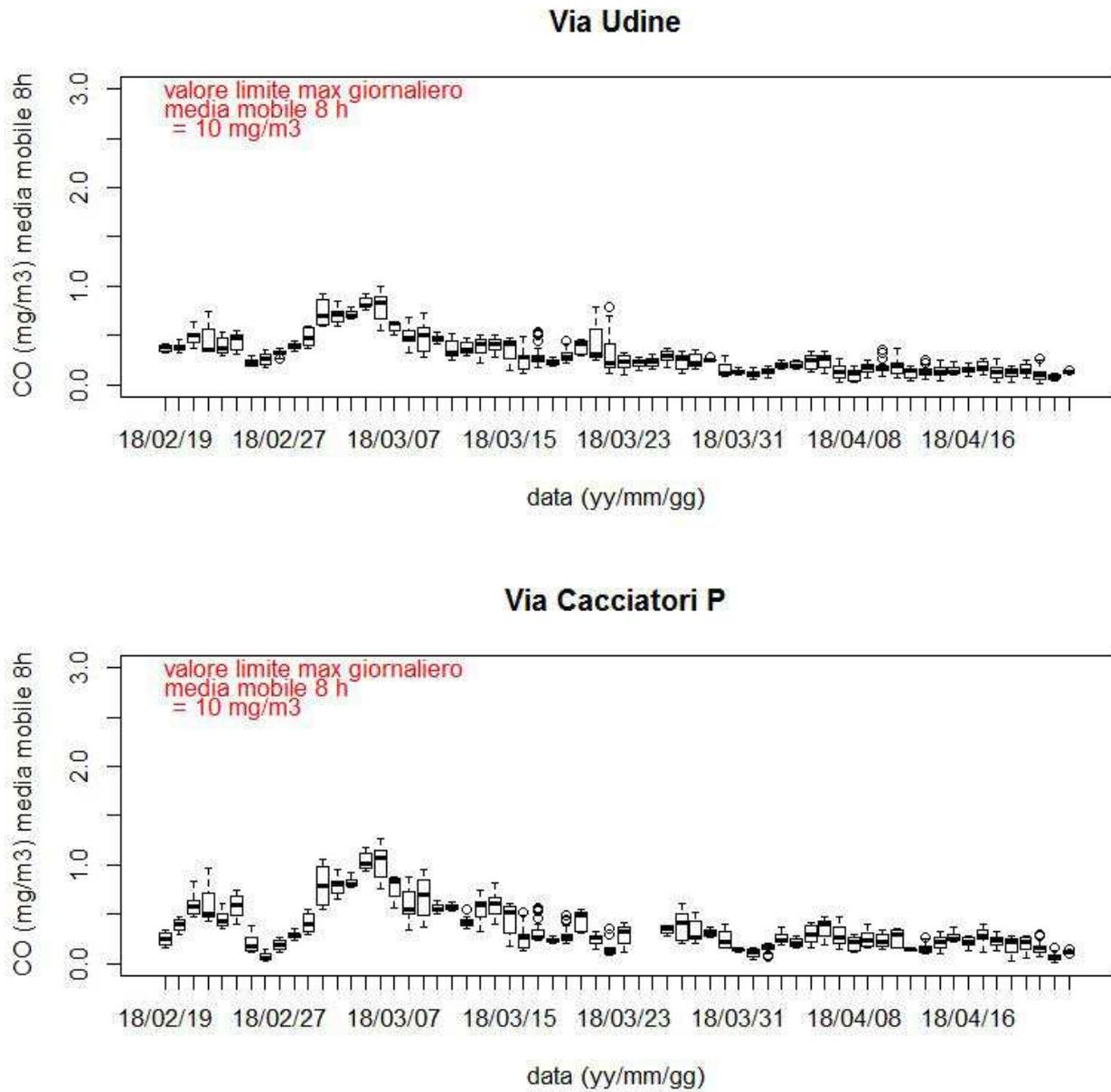


Grafico 2 – Concentrazione di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), box-wisker plot. Campagna di misura in via Udine (pannello sopra) e in via Cacciatori Piemontesi (pannello sotto).

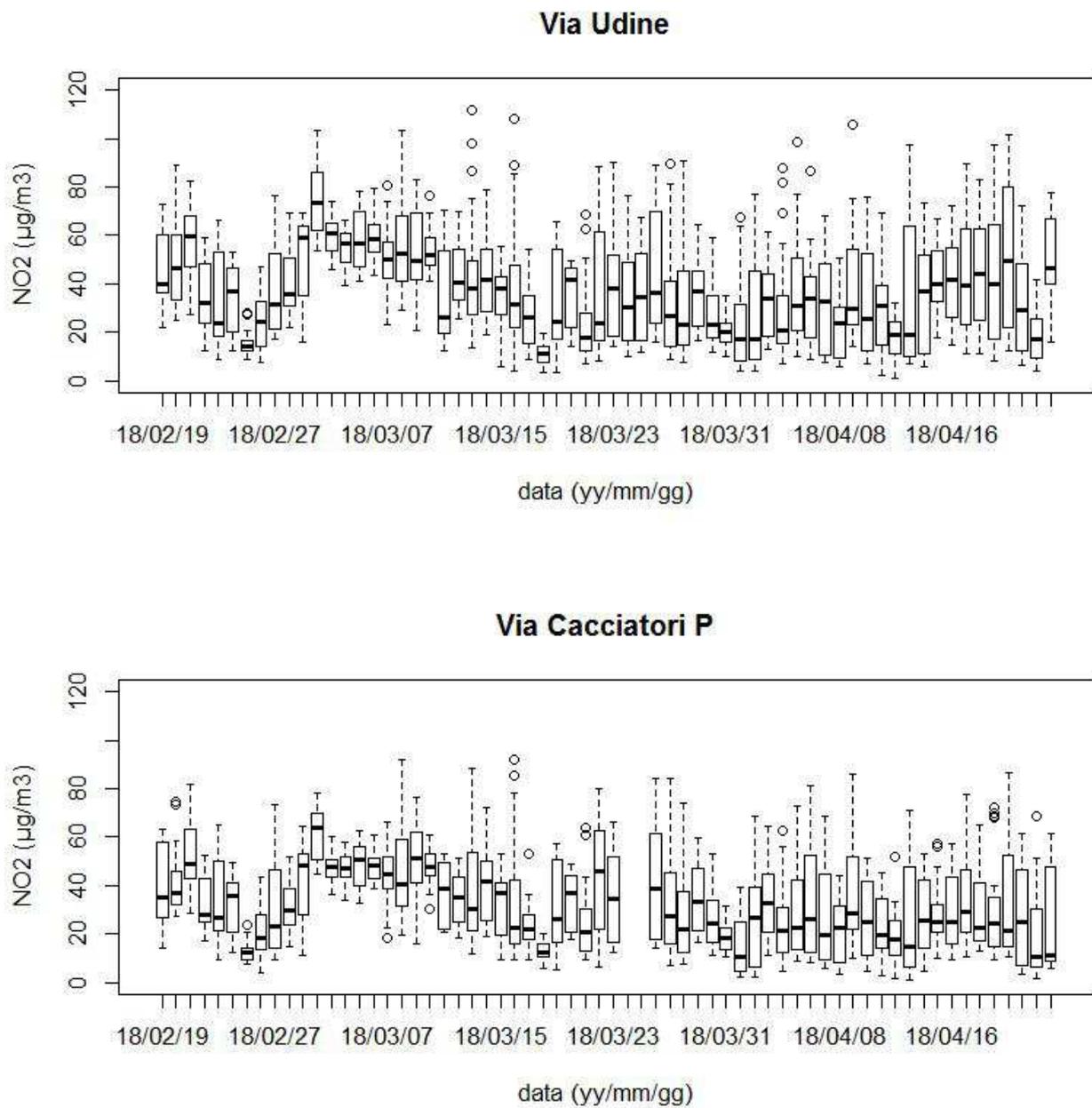


Grafico 3 – Concentrazione di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), box-wisker plot. Campagna di misura in via Udine (pannello sopra) e in via Cacciatori Piemontesi (pannello sotto).

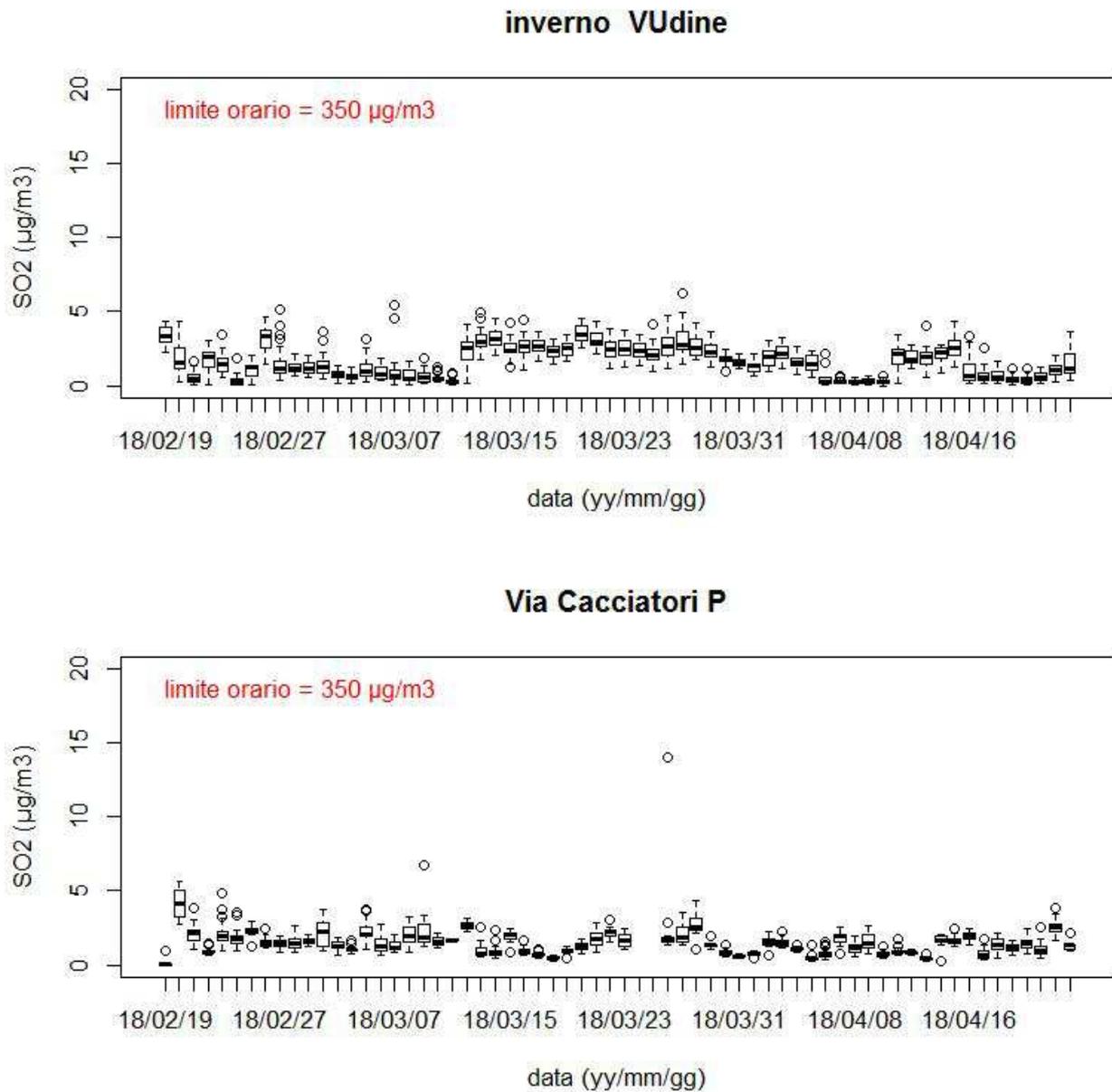


Grafico 4 – Concentrazione di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>), box-wisker plot. Campagna di misura in via Udine (pannello sopra) e in via Cacciatori Piemontesi (pannello sotto).

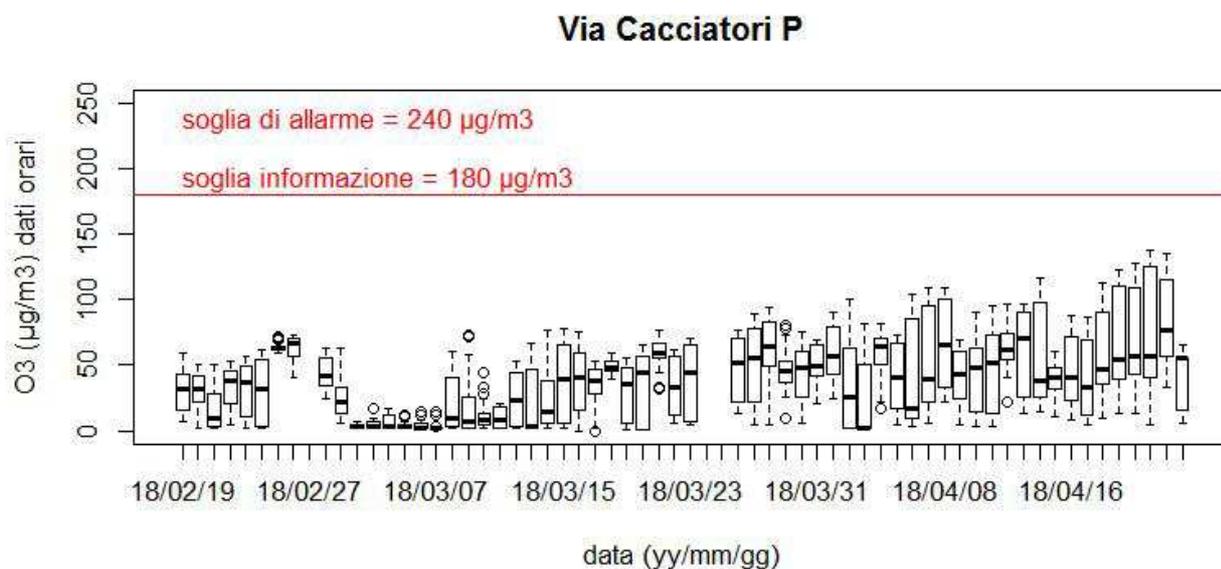
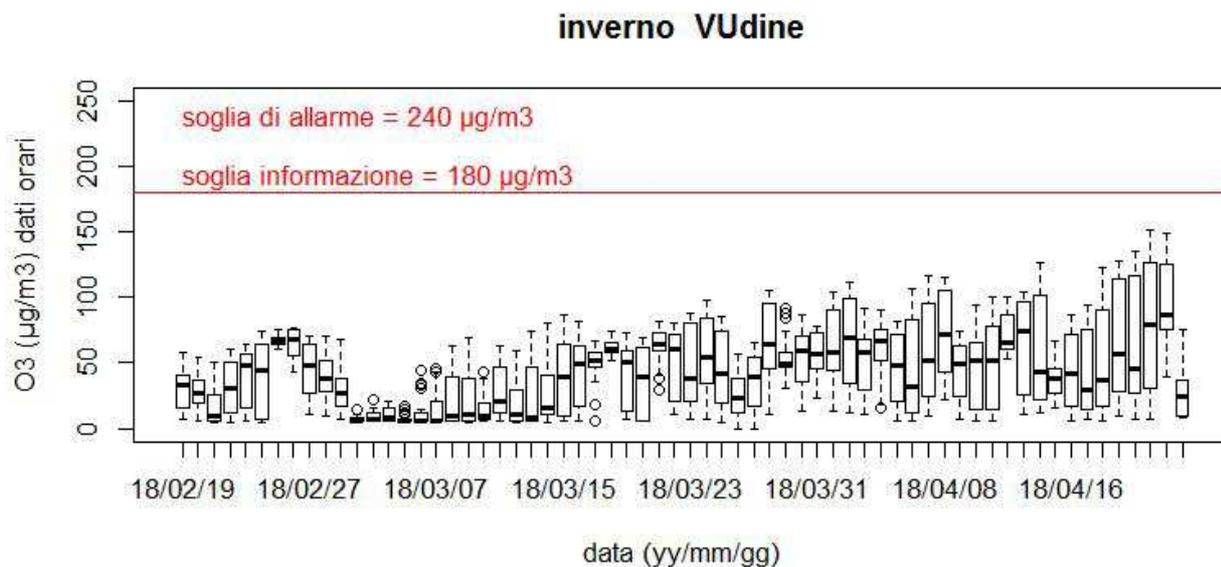


Grafico 5 – Concentrazione di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>), media mobile di 8 ore, box-wisker plot. Campagna di misura in via Udine (pannello sopra) e in via Cacciatori Piemontesi (pannello sotto).

