Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

REGIONE DEL VENETO

Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Comune di Rivoli

Via Venerque

Periodo di attuazione:
18/04/2015 – 15/06/2015 (periodo estivo)
01/10/2015 – 03/12/2015 (periodo invernale)

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

REGIONE DEL VENETO

RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Ing. Giancarlo Cunego

Servizio Controlli Ambientali

Dottoressa Francesca Predicatori

Ufficio Informativo Ambientale

Dottoressa Simona De Zolt Sappadina

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.

Relazione tecnica n. 2/2016	**Data : 03/05/2016**
F.to Il Tecnico Unità Operativa Fisica dell'Ambiente Dr.ssa Simona De Zolt Simona De Zolt Sappadina	F.to Il Dirigente Servizio Controlli Ambientali 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. 6
4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento 11
5. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi 12
6. Efficienza di campionamento 13
7. Analisi dei dati rilevati 15
7.1. Monossido di carbonio (CO) 16
7.2. Biossido di azoto (NO_2) – Ossidi di azoto (NO_X) 17
7.3. Biossido di zolfo (SO_2) 20
7.4. Ozono (O_3) 21
7.5. Polveri atmosferiche inalabili (PM10) 23
7.6. Benzene (C_6H_6) 25
7.7. Benzo(a)pirene (B(a)p) 28
7.8. Metalli (Pb, As, Cd, Ni) 29
8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria) 31
9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse 36
10. Conclusioni 38

1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna

La campagna rientra nell'attività di monitoraggio programmata annualmente dal Dipartimento ARPAV di Verona. Il monitoraggio permette di fornire informazioni sulla qualità dell'aria nel centro del paese di Rivoli. I dati di monitoraggio integrano, inoltre, i dati forniti dalla rete di qualità dell'aria della provincia di Verona

2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione

Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile sono state svolte dal 18/04/2015 al 15/06/2015 nel semestre estivo e dal 01/10/2015 al 03/12/2015 nel semestre invernale. L'area sottoposta a monitoraggio si trova nel comune di Rivoli ed è di tipologia "fondo suburbano". Il comune di Rivoli ricade nella zona "Pianura e Capoluogo Bassa Pianura", ai sensi della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 2130/2012 e rappresentata in Figura *1*. In Figura *2* è indicata la posizione del mezzo mobile durante la campagna di monitoraggio. Il mezzo è stato posizionato in Via Venerque, vicino agli impianti sportivi, circa 400 m a est della autostrada A22 Brennero-Modena quindi pur essendo il sito di monitoraggio all'interno di una zona residenziale, risente della presenza di una importante arteria di traffico nelle vicinanze.

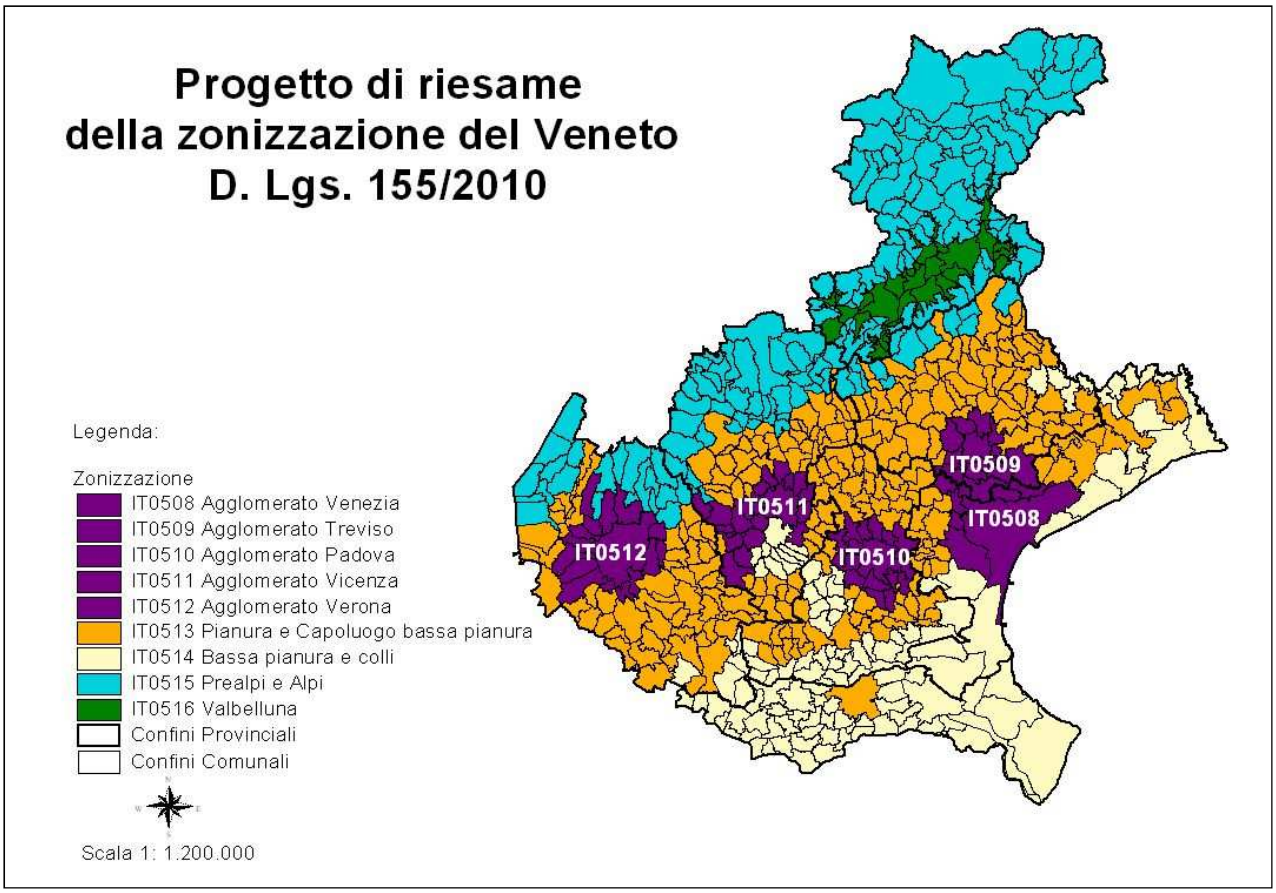


Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012.

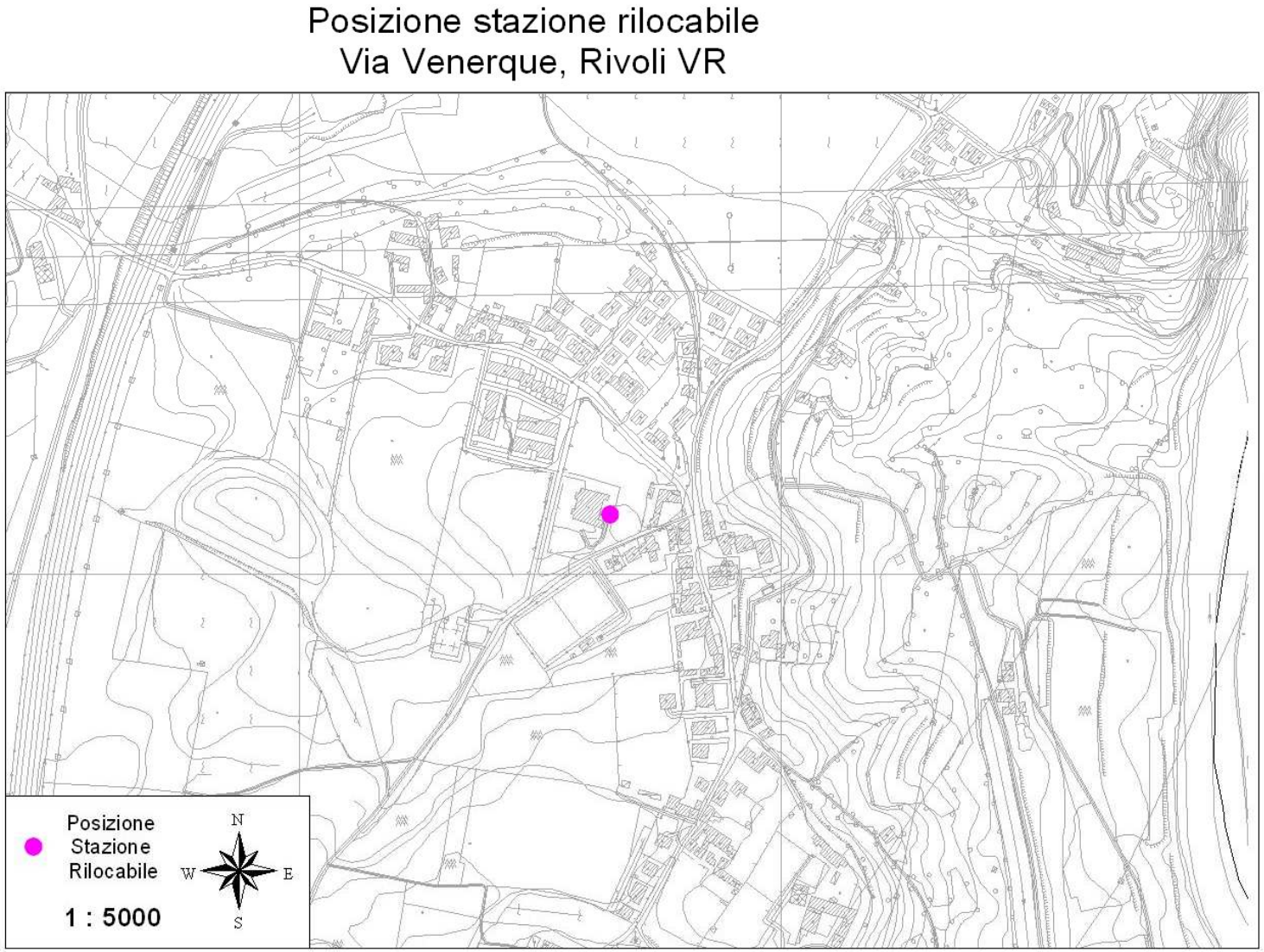


Figura 2. Estratto Carta Tecnica Regionale, scala 1:5000. Ubicazione del punto sottoposto a monitoraggio.

3. Contestualizzazione meteo climatica.

Per la descrizione della situazione meteorologica sono stati utilizzati i dati della stazione di Dolcè (VR), che dista dal sito della campagna di misura circa 5 km. La stazione di Dolcè può essere considerata rappresentativa per le precipitazioni e l'intensità del vento, mentre potrebbe essere non del tutto significativa per la direzione del vento, in quanto il sito della stazione e quello della campagna di misura si trovano in due punti della vallata caratterizzati dalla presenza di differenti rilievi orografici. Inoltre, presso la stazione di Dolcè, la quota dell'anemometro tra il 13 e il 14 novembre 2015 è stata portata da 3.5 m a 5 m; per effettuare il confronto su dati il più possibile omogenei, l'intensità del vento misurata a quota 3.5 m è stata ricalcolata alla quota di 5 m mediante la formula logaritmica di cui alla nota[1].

Per una descrizione della evoluzione della situazione meteorologica nel corso delle campagne di misura, si può fare riferimento alle figure del Grafico 11 in Allegato, nelle quali sono riportate le serie temporali delle principali variabili meteorologiche relative alla stazione di Dolcè, insieme a quelle della concentrazione di PM10 e ozono.
La campagna estiva inizia il 18 aprile, con un periodo di tempo variabile e fresco per il transito di saccature provenienti dai quadranti occidentali. Il tempo migliora dal 4 maggio, quando il clima diventa anormalmente mite. Dal 13 maggio e fino al 24, inizia una fase di spiccata variabilità, per il succedersi di saccature atlantiche che provocano episodi di tempo instabile e anche perturbato, con avvezione di aria fredda da nord. Successivamente il tempo si ristabilisce, pur rimanendo relativamente fresco per la stagione, fino a fine mese. A giugno le temperature si alzano e il tempo diventa bello, caldo e sempre più umido. Dal 9 giugno fino alla fine della campagna si assiste al passaggio di saccature che determinano instabilità e fenomeni precipitazioni.
La campagna invernale inizia il 30 settembre, con un tempo soleggiato e stabile, e temperature superiori alla media. Dal 3 ottobre si assiste a un peggioramento, e per le due settimane successive si assiste al passaggio di una serie di perturbazioni, che determinano modeste precipitazioni e, a partire dall'8 ottobre, una diminuzione delle temperature. Dal 20 al 25 ottobre, un'alta pressione dinamica di matrice atlantica garantisce tempo molto stabile e generalmente ben soleggiato, inizialmente freddo per la presenza di aria fredda in quota, ma dal 23 più mite. Questa situazione perdura fino alla fine del mese con qualche nebbia o foschia nei fondovalle, specie nelle ore più fredde; solo fra il 28 e 29 ottobre, una debole saccatura atlantica determina un modesto peggioramento e due giornate di pioggia. A novembre, il tempo rimane stabile fino al 19, e si assiste a temperature eccezionalmente alte per la media del periodo, anche se in pianura tendono a persistere le nebbie. Successivamente, una saccatura atlantica apporta piogge e dissolve le nebbie. Dopo questo passaggio, dal 23 novembre, un'alta pressione di matrice continentale porta i primi freddi con gelate a bassa quota. La fine del mese corrisponde di nuovo ad una fase di tempo stabile con molto sole in quota, ma con qualche nebbia e temperature più basse in pianura, e progressivamente si assiste alla formazione di inversioni termiche. Questa situazione perdura fino alla fine della campagna, con la temporanea interruzione di una piccola saccatura il 5 dicembre.

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 1.5 m/s): condizioni poco favorevoli alla dispersione degli inquinanti,

---

1

$$u(z_2) = u(z_1)\frac{\ln(z_2) - \ln(z_0)}{\ln(z1) - \ln(z_0)}$$ dove z_1 = 3.5 m è la quota di misura del vento, z_2 = 5 m è la quota a cui si estrapola il vento e z_0 è la roughness del sito che in questo caso vale 0.44 m.

in giallo (precipitazione giornaliera compresa tra 1 e 6 mm e intensità media del vento nell'intervallo 1.5 m/s e 3 m/s): situazioni debolmente dispersive,
in verde (precipitazione giornaliera superiore a 6 mm e intensità media del vento maggiore di 3 m/s): situazioni molto favorevoli alla dispersione degli inquinanti.
I valori delle soglie per la ripartizione nelle tre classi sono state individuate in maniera soggettiva in base ad un campione pluriennale di dati.

Nella Figura 3 sono state confrontate le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione ARPAV di Dolcè in tre periodi:
18 aprile - 15 giugno 2015, periodo di svolgimento della campagna di misura;
16 aprile - 15 giugno dall'anno 1993 all'anno 2014 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
1 gennaio - 31 dicembre 2015 (ANNO CORRENTE).
Gli stessi grafici sono stati ripetuti in figura 4 con riferimento alla campagna INVERNALE, utilizzando i seguenti tre periodi:
1 ottobre - 8 dicembre 2015, periodo di svolgimento della campagna di misura;
1 ottobre - 10 dicembre dall'anno 1993 all'anno 2014 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
1 gennaio - 31 dicembre 2015 (ANNO CORRENTE).

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

- i giorni poco piovosi sono stati più numerosi rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti, ma meno frequenti rispetto all'anno in corso;
- la distribuzione dei giorni in relazione alla ventosità è stata simile a quella dell'anno in corso, mentre rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti sono stati meno frequenti i giorni con vento molto debole.

Durante la campagna di misura INVERNALE:

- i giorni poco piovosi sono stati un po' più numerosi rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti, mentre i giorni molto piovosi sono stati di poco più frequenti rispetto all'anno in corso;
- la distribuzione dei giorni in relazione alla ventosità è stata simile a quella dello stesso periodo degli anni precedenti, mentre rispetto all'anno in corso sono stati più frequenti i giorni con vento molto debole.

In Figura 5 è riportata la rosa dei venti registrati presso la stazione di Dolcè durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento durante il periodo ESTIVO è nord-est (circa 22% dei casi) seguita da sud-ovest (circa 15%) e da nord-nordest (circa 13%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 32.5%; la velocità media è stata pari a circa 1.1 m/s. Invece, nel periodo INVERNALE, la direzione prevalente di provenienza del vento è stata nord-est (circa 33% dei casi) seguita da nord-nordest (circa 18%); la frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 29.2%; la velocità media è stata pari a circa 1.1 m/s.
Si sottolinea il fatto che la rosa dei venti evidenzia un regime fortemente influenzato dall'orografia circostante e che tale regime potrebbe risultare almeno in parte differente da quello verificatosi nel sito della campagna di misura.

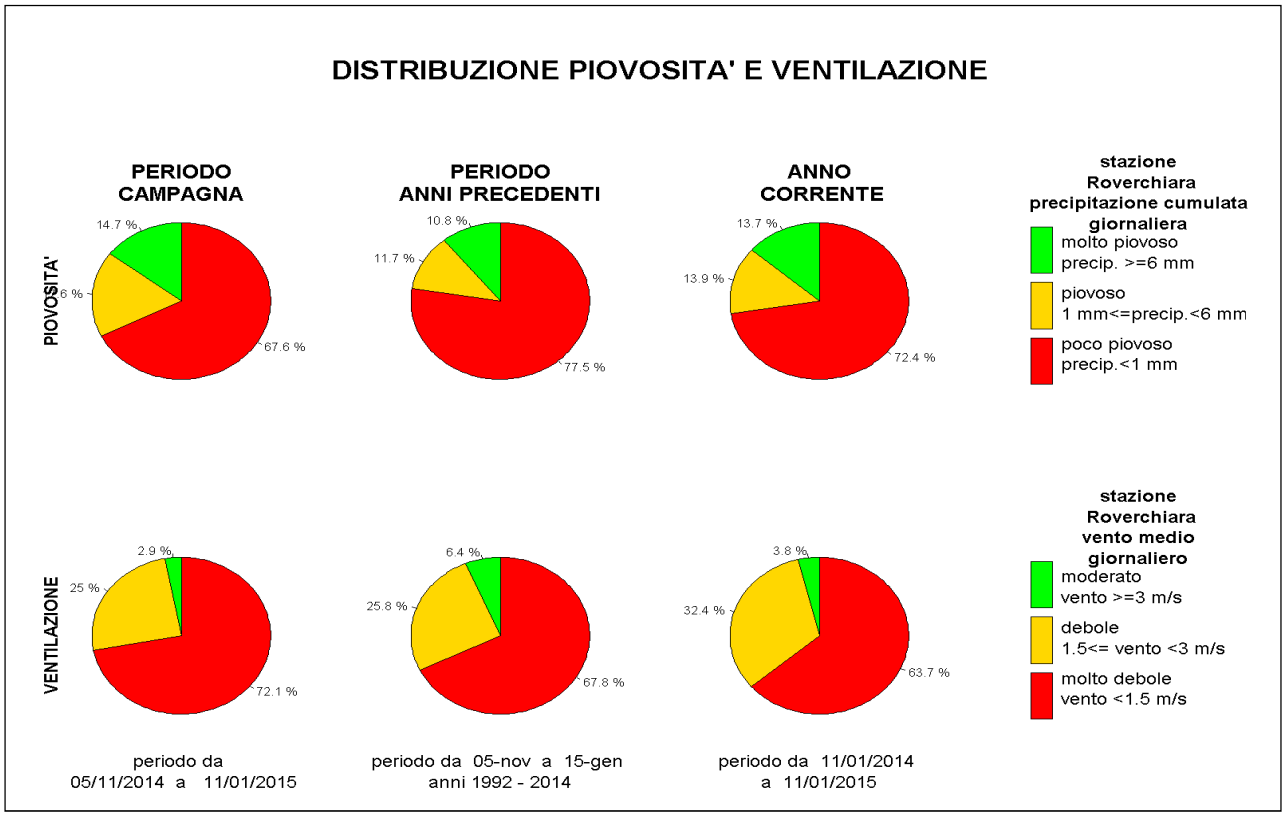


Figura 3. Campagna ESTIVA. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente a quello della campagna ma negli anni precedenti (PERIODO ANNI PRECEDENTI), e durante l'intero anno in corso (ANNO CORRENTE). Dati della stazione di Dolcè.

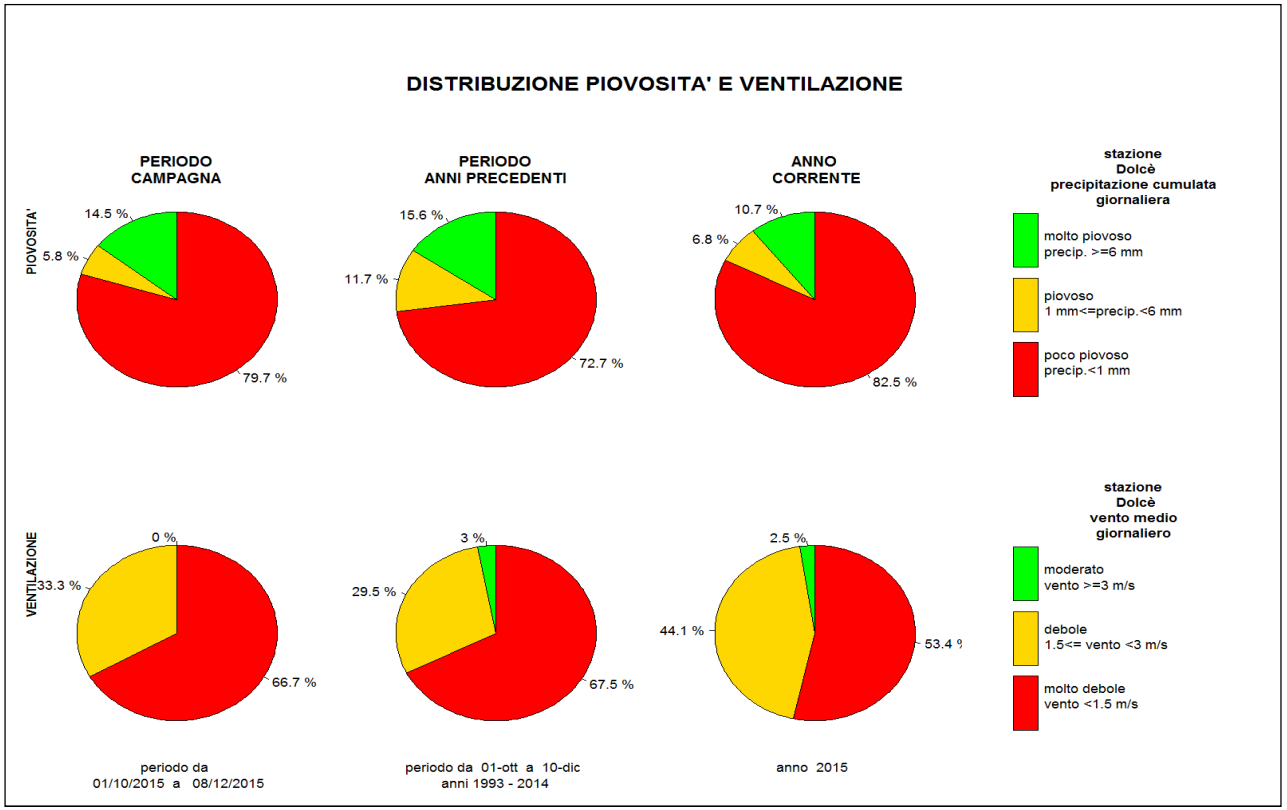
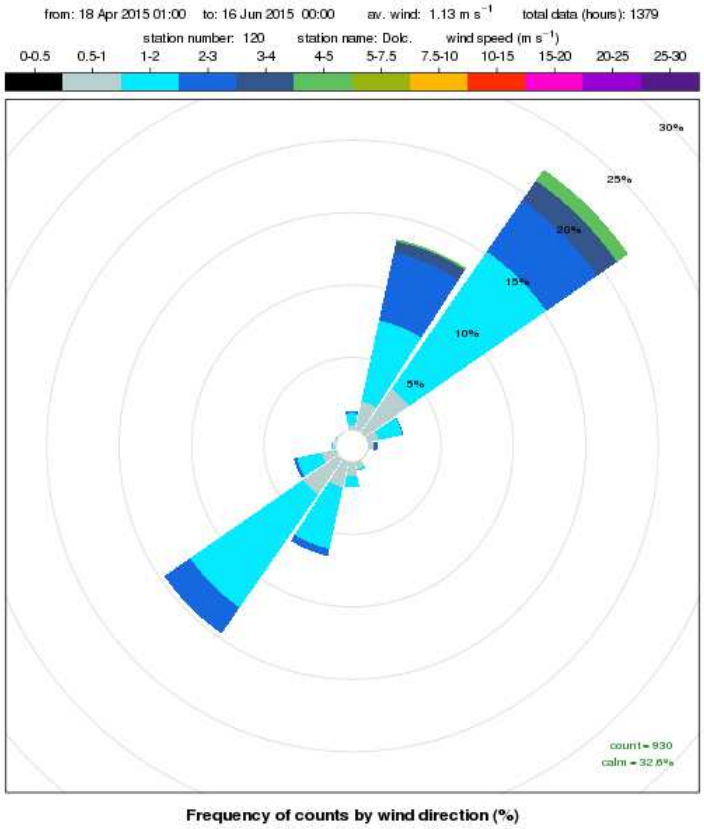


Figura 4. Campagna INVERNALE. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente a quello della campagna ma negli anni precedenti (PERIODO ANNI PRECEDENTI), e durante l'intero anno in corso (ANNO CORRENTE). Dati della stazione di Dolcè.



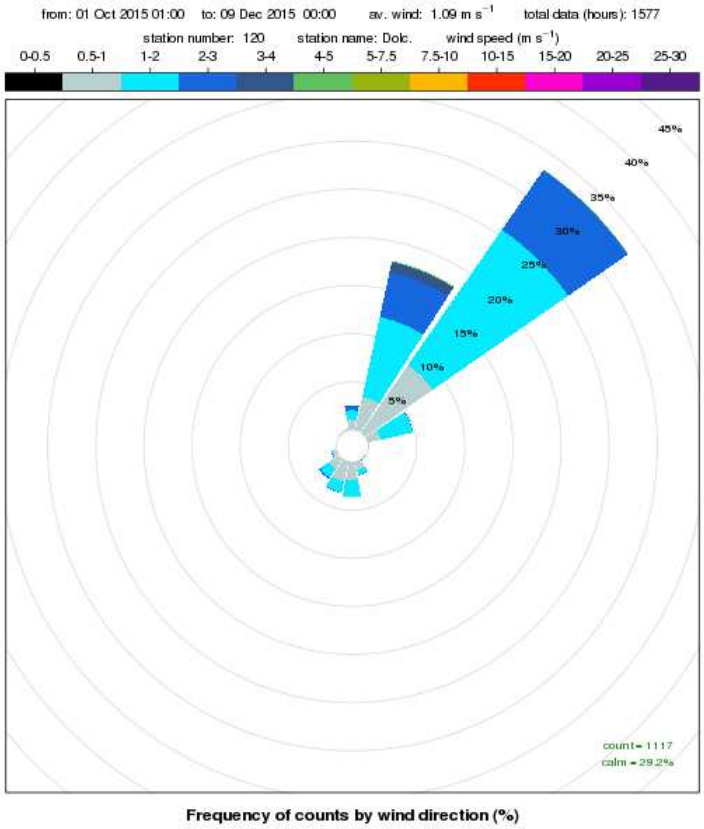


Figura 5. Rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Dolcè nel periodo ESTIVO nel pannello a sinistra ed INVERNALE nel pannello a destra.

4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

La stazione rilocabile è dotata 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_2), biossido di azoto (NO_2), ossidi di azoto (NO_X), ozono (O_3).
Contestualmente alle misure eseguite in continuo, sono stati effettuati anche dei campionamenti sequenziali per la determinazione gravimetrica delle polveri inalabili PM10, per l'analisi in laboratorio del benzene, degli idrocarburi policiclici aromatici IPA (con riferimento al benzo(a)pirene) e dei metalli presenti nella frazione PM10 (arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni) e piombo (Pb)).
Sono stati inoltre misurati in continuo alcuni parametri meteorologici quali temperatura, umidità relativa, pressione, intensità e direzione del vento.

Per tutti gli inquinanti considerati risultano 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 $PM_{2,5}$, i cui livelli nell'aria ambiente vengono per la prima volta regolamentati in Italia con detto decreto.
Nelle Tabelle 1 e 2 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, correlati all'esposizione acuta della popolazione, e limiti di legge a mediazione di lungo periodo, correlati all'esposizione cronica della popolazione. In tabella 3 sono indicati i limiti di legge stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione degli ecosistemi, in Tabella 4. Linee guida di qualità dell'aria per i metalli da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

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** $\mu g/m^3$
PM10	Valore limite annuale	**40** $\mu g/m^3$
$PM_{2,5}$	Valore limite annuale	**25** $\mu g/m^3$
Piombo	Valore limite annuale	**0.5** $\mu g/m^3$
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** $\mu g/m^3$
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** $\mu g/m^3$
NOX	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile	**30** $\mu g/m^3$
O_3	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio Da calcolare come media su 5 anni (altrimenti su 3 anni)	**18000** $\mu g/m^3h$
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	**6000** $\mu g/m^3h$

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

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

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

5. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi

Gli analizzatori in continuo per l'analisi 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 PM10 (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 ("metodo UNI EN 12341:1999") e cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC "metodo UNI EN 15549:2008"), rispettivamente.
Per quanto riguarda i metalli, le determinazioni analitiche sono state effettuate sui filtri esposti in nitrato di cellulosa mediante 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 "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. Efficienza di campionamento

Al fine di assicurare il rispetto degli obiettivi di qualità di cui all'Allegato I del D.Lgs. 155/2010 e l'accuratezza delle misurazioni, la normativa stabilisce dei criteri in materia di incertezza dei metodi di valutazione, di periodo minimo di copertura e di raccolta minima dei dati.
I requisiti relativi alla raccolta minima dei dati e al periodo minimo di copertura non comprendono le perdite di dati dovute alla taratura periodica o alla manutenzione ordinaria della strumentazione.

Per le misurazioni in continuo di biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto e monossido di carbonio, la raccolta minima di dati deve essere del 90% nell'arco dell'intero anno civile. Altresì, per le misurazioni indicative il periodo minimo di copertura deve essere del 14% nell'arco dell'intero anno civile (pari a 52 giorni/anno); in particolare le misurazioni possono essere uniformemente distribuite nell'arco dell'anno civile o, in alternativa, effettuate per otto settimane equamente distribuite nell'arco dell'anno. Nella pratica, le otto settimane di misura nell'arco dell'anno possono essere organizzate con rilievi svolti in due periodi di quattro settimane consecutive ciascuno, tipicamente nel semestre invernale (1ottobre-31marzo) e in quello estivo (1aprile-30 settembre), caratterizzati da una diversa prevalenza delle condizioni di rimescolamento dell'atmosfera.
Per l'ozono, nelle misurazioni indicative, il periodo minimo di copertura necessario per raggiungere gli obiettivi per la qualità dei dati deve essere maggiore del 10% durante l'estate (pari a 36 giorni/anno) con una resa minima del 90%.
Anche per il PM10 misurato con metodo gravimetrico, gli IPA, il benzene e per gli altri metalli la percentuale per le misurazioni indicative è pari al 14% (51 giorni), con una resa minima del 90%; è comunque possibile applicare un periodo di copertura più basso, ma non inferiore al 6% (22 giorni), purché si dimostri che l'incertezza estesa nel calcolo della media annuale sia rispettata.

La percentuale dell'anno coperta da campionamento e l'efficienza di campionamento per i vari inquinanti sono riportati in Tabella *5* e Tabella *6*, mentre in Tabella *7* i due valori sono stati moltiplicati per ottenere la percentuale di dati validi rispetto all'anno di cui sono rappresentativi. Si vede che il periodo di campionamento con dati validi è stato superiore al minimo richiesto.

	CO	NO_2	NOx	O_3 estate	SO_2	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
N giorni di campionamento	94	89	89	88	92	92	22	101	69
Periodo di copertura (%)	26	24	24	24	25	25	6	28	19
Periodo minimo di copertura (%)	94	89	89	88	92	92	da 6 a 14	14	da 6 a 14

Tabella 5. Numero di giorni in cui è stata eseguita la misurazione dei vari inquinanti e percentuale dell'anno cui corrisponde.

	CO	NO_2	NOx	O_3 estate	SO_2	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
Resa di campionamento (%)	94	90	90	88	92	100	100	100	100
Resa minima necessaria (%)	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Tabella 6. Efficienza di campionamento per i dati orari.

	CO	NO_2	NOx	O_3 estate	SO_2	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
Periodo valido campionato (%)	24	22	22	21	23	25	6	28	19
Periodo valido minimo richiesto dalla normativa(%)	13	13	13	9	13	13	5	5	5

Tabella 7. Percentuale dell'anno con dati validi, ottenuta dal prodotto tra il periodo di copertura e la resa di campionamento e confronto con il periodo minimo richiesto dalla normativa.

7. Analisi dei dati rilevati

In questo capitolo vengono analizzati i risultati delle analisi della concentrazione dei vari inquinanti, misurata durante le campagne di misura. Ove possibile, è stato realizzato un confronto con i corrispondenti valori rilevati presso due centraline fisse di riferimento: la stazione di VR-Cason e quella di VR-Borgo Milano, del comune di Verona. La prima, essendo situata lontano da fonti emissive 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 al di fuori di essa, e si definisce stazione di fondo urbano. La centralina di VR-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 Rivoli. I parametri sono descritti in modo esteso in Tabella 8.
Per rappresentare graficamente i risultati delle analisi sono stati utilizzati anche dei grafici tipo box-whisker, che sono spiegati in dettaglio nella Figura 22 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 8, esplicativa del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

7.1. Monossido di carbonio (CO)

La Tabella 9 e il Grafico 11 in Allegato mostrano che durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di monossido di carbonio è sempre stata ampiamente inferiore al valore limite di 10 mg/m^3 (applicato alla media mobile di 8 ore), in linea con quanto si rileva presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona. In entrambe le stagioni, sia a Rivoli sia a VR-Borgo Milano, i valori medi sono stati molto vicini al limite di rivelabilità dello strumento, pari a 0,1 µg/m^3. A Rivoli la concentrazione media è più bassa rispetto a VR-Borgo Milano. I valori medi, in entrambe le posizioni, sono più elevati in inverno rispetto all'estate, fatto imputabile alle condizioni meteorologiche, che nella stagione invernale sono più favorevoli al ristagno di inquinanti.

	ESTATE		INVERNO		ESTATE+INVERNO	
CO (mg/m^3)	Rivoli	Bgo Milano	Rivoli	Bgo Milano	Rivoli	Bgo Milano
media	≤0.1	0.3	0.2	0.5	0.1	0.4
sd	≤0.1	≤0.1	0.1	0.3		
min	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
max	0.7	0.6	1.2	2.0	1.2	2.0
mediana	≤0.1	0.3	0.1	0.5		
N	1416	1416	1536	1536	2952	2952
dati mancanti	149	62	31	73	180	135
data.capture	89	96	98	95	94	96
max giornaliero	0.2	0.4	0.5	1.2	0.5	1.2
max.rolling.8	0.4	0.4	0.8	1.6	0.8	1.6
95°percentile	0.2	0.4	0.5	1.2		
99°percentile	0.3	0.5	0.7	1.5		
N superamenti 10 mg/m^3	0	0	0	0	0	0

Tabella 9. Concentrazione di CO: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura a Rivoli e confronto con la centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano nello stesso periodo. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m^3.

7.2. Biossido di azoto (NO_2) – Ossidi di azoto (NO_X)

Come si può vedere in Tabella 10, durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di biossido di azoto non ha superato il valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 µg/m^3. Nello stesso periodo, anche nelle stazioni di riferimento di VR-Cason e VR-Borgo Milano non sono stati rilevati dei superamenti. Relativamente all'esposizione cronica (Tabella 10 e Figura 6), la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 32 µg/m^3, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m^3. Invece, il valore medio di NOx, pari a 51 µg/m^3 (Tabella 1), supera il limite annuale per la protezione della vegetazione di 30 µg/m^3 (si ricorda tuttavia che il confronto con il valore limite di protezione degli ecosistemi rappresenta un riferimento puramente indicativo, in quanto il sito indagato non risponde esattamente alle caratteristiche previste dal D.Lgs. 155/10 [2]). Il valore medio riferito alla postazione di Rivoli è leggermente superiore a quello relativo a VR- Borgo Milano e ancor più rispetto a VR-Cason. Il valore massimo, in estate è superiore a quello di VR-Borgo Milano e di VR-Cason, in inverno è invece inferiore a quello delle due stazioni di riferimento, ma i valori sono comunque molto vicini.
Come già osservato per il CO, la media relativa al periodo invernale è superiore a quella del periodo estivo, e questo è associabile alle condizioni meteorologiche, che in inverno sono più favorevoli al ristagno degli inquinanti.

	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
NO_2 (µg/m^3)	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason
media	23	22	18	40	38	30	32	30	24
sd	15	12	10	17	17	15			
min	≤4	≤4	≤4	≤4	5	≤4	≤4	≤4	≤4
max	102	93	85	96	106	105	102	106	105
mediana	19	19	15	39	35	28			
N	1416	1416	1416	1536	1536	1536	2952	2952	2952
dati mancanti	223	65	63	107	69	65	330	134	128
data.capture	84	95	96	93	96	96	90	96	96
max giornaliero	36	36	28	62	67	56	62	67	56
95°percentile	54	45	38	71	71	56			
99°percentile	72	60	53	85	85	68			
N superamenti 200 µg/m^3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N superamenti 400 µg/m^3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 10. Concentrazione di NO_2: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Cason. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m^3.

2

L'Allegato III, punto 3.2, del citato decreto stabilisce che i siti di campionamento in cui si valuta la qualità del'aria ambiente ai fini della protezione della vegetazione e degli ecosistemi naturali debbano essere ubicati ad oltre 20 Km dalle aree urbane ed oltre 5 Km da zone edificate, impianti industriali, autostrade o strade principali con conteggi di traffico superiori a 50000 veicoli al giorno.

Nel Grafico 8 in Allegato, è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO_2, calcolato per i due periodi di campagna. Si nota in particolare la differenza tra l'andamento giornaliero della concentrazione di NO_2 nel periodo estivo rispetto a quello invernale. In estate sono evidenti due picchi, al mattino e alla sera, in corrispondenza delle ore di maggiore traffico, in tutte le tre postazioni di misura. Durante le ore diurne la concentrazione media di NO_2 a Rivoli è molto simile a quella delle centraline; di notte invece, i valori medi sono più elevati a Rivoli. In inverno, è evidente un picco principale più elevato tra le ore 18 e le 19 a Rivoli e VR-Borgo Milano, mentre a VR-Cason rimangono due picchi più modesti al mattino e alla sera; anche in questo periodo, di notte i valori medi di concentrazione di NO_2 sono più elevati a Rivoli rispetto alle centraline del Comune di Verona, mentre di giorno a Rivoli si trovano valori anche inferiori a quelli delle stazioni fisse.
Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportate in Grafico 9 in Allegato e mostrano che le giornate in cui la concentrazione di NO_2 è maggiore sono martedì e venerdì, in estate, il mercoledì in inverno; invece la domenica, quando il traffico stradale è meno intenso, si trovano i valori più bassi. Lo stesso andamento si trova anche nelle stazioni di riferimento.

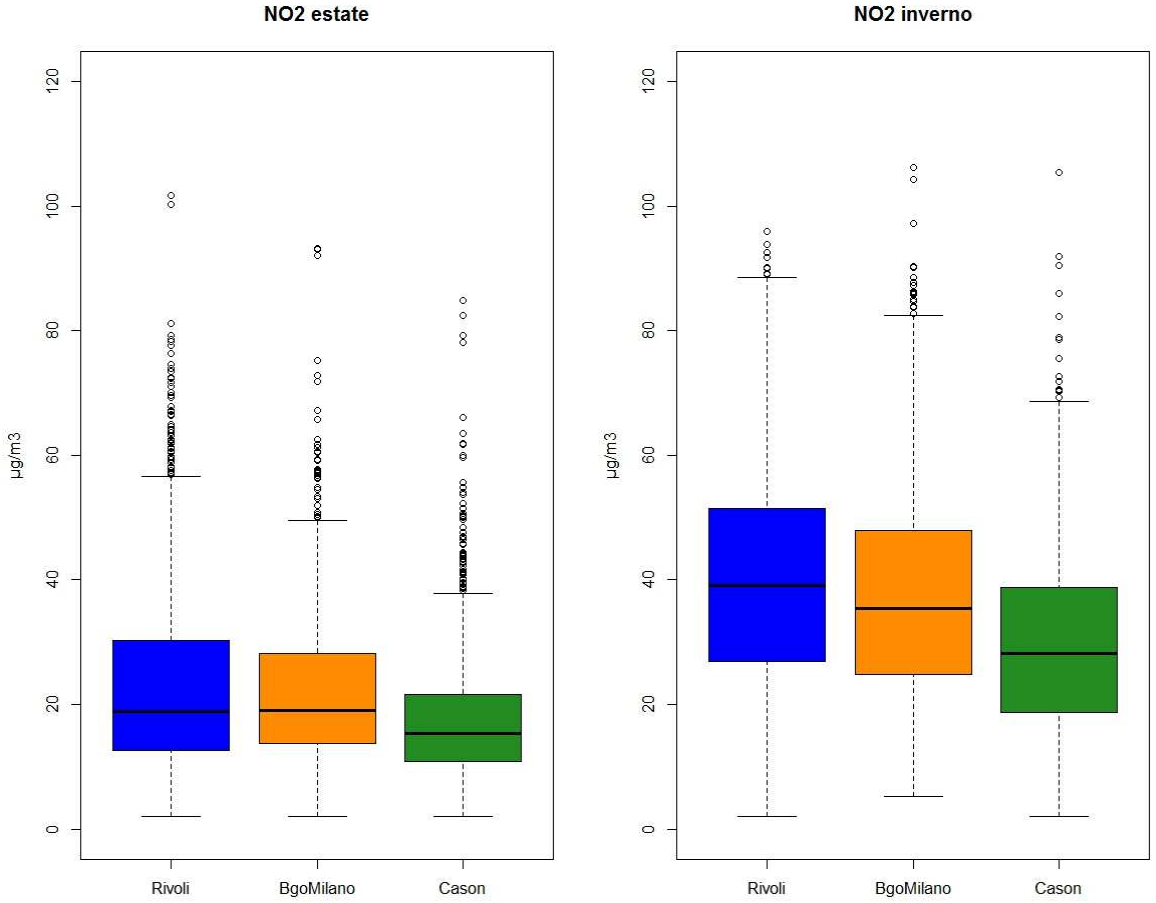


Figura 6. Box-plot della concentrazione di NO_2. Dati relativi a Rivoli e alle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason.

	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
NOx (µg/m^3)	Rivoli	Bgo Milano	Cason	Rivoli	Bgo Milano	Cason	Rivoli	Bgo Milano	Cason
media	28	29	24	72	96	71	51	64	49
sd	21	17	20	55	87	73			
min	≤4	5	5	≤4	9	≤4	≤4	5	≤4
max	267	195	343	401	702	597	401	702	597
mediana	22	24	19	54	69	50			
N	1416	1416	1416	1536	1536	1536	2952	2952	2952
dati mancanti	223	65	63	107	69	65	330	134	128
data.capture	84	95	96	93	96	96	90	96	96
max giornaliero	54	46	46	171	367	316	171	367	316
95°percentile	69	63	52	188	270	205			
99°percentile	108	91	90	277	426	399			

Tabella 11. Concentrazione di NOx: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Cason. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m^3.

7.3. Biossido di zolfo (SO_2)

Le principali emissioni di SO_2 derivano dalle centrali termoelettriche, dagli impianti di riscaldamento domestico e da alcune produzioni industriali (raffinerie, fonderie, cementifici). In misura minore, contribuisce anche il traffico veicolare, in particolare i veicoli con motore diesel.

Durante le due campagne di monitoraggio, la concentrazione di biossido di zolfo è stata ampiamente inferiore ai valori limite di 350 e 500 µg/m^3 (Tabella 12, Figura 8 e Allegato – Grafico 3) 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^3), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 µg/m^3). Il confronto con le concentrazioni misurate presso la centralina fissa di traffico urbano di VR-Borgo Milano mostra che i valori medi registrati a Rivoli sono molto simili in entrambi i periodi, mentre i valori massimi sono più elevati. Questo potrebbe essere legato alle emissioni di veicoli pesanti in transito sulla vicina A22; a Borgo Milano il traffico è invece prevalentemente leggero.

SO_2 (µg/m^3)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Rivoli	Bgo Milano	Rivoli	Bgo Milano	Rivoli	Bgo Milano
media	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
sd	1	0	1	1		
min	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
max	12	4	14	8	14	8
mediana	2	2	2	2		
N	1416	1416	1536	1536	2952	2952
dati mancanti	178	63	71	75	249	138
data.capture	87	96	95	95	92	96
max giornaliero	3	2	3	5	3	5
95°percentile	3	2	3	4		
99°percentile	5	2	5	7		
N superamenti 350 µg/m^3	0	0	0	0	0	0
N superamenti 125 µg/m^3	0	0	0	0	0	0

Tabella 12. Concentrazione di SO_2: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 3 µg/m^3.

7.4. Ozono (O_3)

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 (Grafico 10 in Allegato).

Durante la campagna estiva di Rivoli sono stati registrati 13 superamenti del limite di 120 µg/m^3 sulla media mobile di 8 ore e nessun superamento del limite di 180 µg/m^3 sulla media oraria. Essi sono avvenuti prevalentemente tra l'8 e il 15 maggio e tra il 29 maggio e l'8 giugno, in corrispondenza di due periodi di tempo stabile e soleggiato (vedasi Grafico 11° in Allegato). Non vi è stato alcun superamento della soglia di informazione di 180 µg/m^3 sul dato orario. Il numero di superamenti è inferiore rispetto al corrispondente, relativo alla stazione di riferimento di VR-Cason. I valori medi e massimi sono inferiori a quelli di VR-Cason, anche se comunque molto vicini.

O_3 (µg/m^3)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Campagna	Cason	Campagna	Cason	Campagna	Cason
media	72	73	17	20	43	46
sd	34	40	18	21		
min	≤4	6	≤4	5	≤4	5
max	176	189	85	92	176	189
mediana	68	67	11	9		
N	1416	1416	1536	1536		
dati mancanti	166	66	56	71		
data.capture	88	95	96	95		
max giornaliero	119	113	49	55		
max.rolling.8	165	176	73	73		
95°percentile	135	145	56	69		
99°percentile	165	170	74	80		
N superamenti 120 µg/m^3 sulla media mobile di 8h	13	26	0	0	13	26
N superamenti 180 µg/m^3	0	3	0	0	0	3
N superamenti 240 µg/m^3	0	0	0	0	0	0

Tabella 13. Concentrazione di O_3: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina di fondo urbano di Cason. Il limite di rivelabilità dello strumento è 4 µg/m^3.

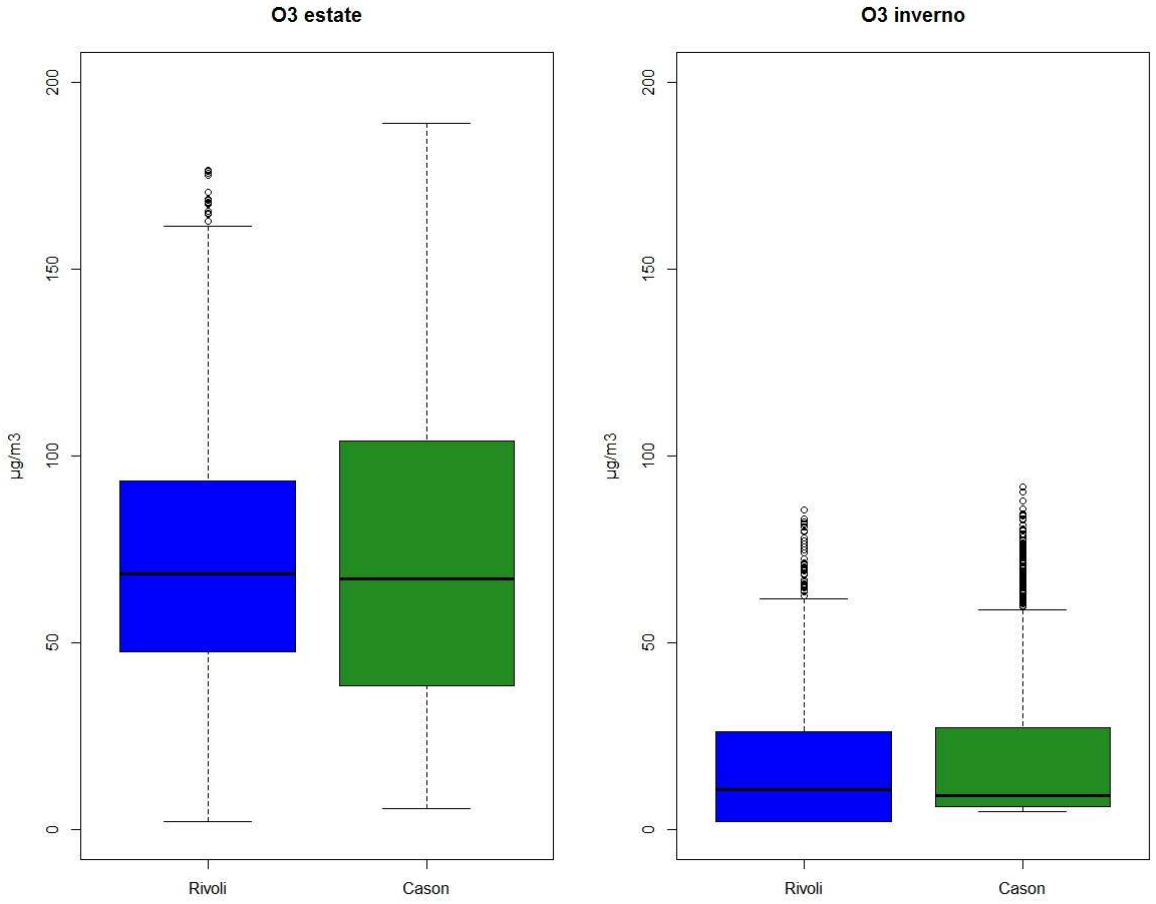


Figura 7. Box-plot della concentrazione di O_3. Dati relativi a Rivoli e alla centralina di riferimento di Cason.

7.5. Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

In Tabella 14, sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM10, misurate con metodo gravimetrico a Rivoli durante le campagne di misura. Nei 92 giorni di misurazione, è stato registrato 1 solo superamento del limite giornaliero di 50 µg/m^3 (che non deve essere superato più di 35 volte all'anno), corrispondenti all'1% del periodo monitorato. Tale superamento è avvenuto il 17 novembre 2015, in corrispondenza di un periodo di alta pressione che ha determinato tempo stabile e inversioni termiche in superficie (Grafico 11 in Allegato).

In Tabella 15, i dati relativi a Rivoli sono stati confrontati con quelli delle due centraline di riferimento di VR-Borgo Milano e VR-Cason. Si consideri che mentre le misure della campagna di Rivoli sono di tipo gravimetrico, quelle presso le centraline sono state realizzate con una linea di prelievo sequenziale e misura di assorbimento beta. Per il calcolo dei parametri riportati in Tabella 15, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato era disponibile per tutte e tre le postazioni. I dati sono rappresentati graficamente in Figura 8. Si può vedere che nel periodo di campagna estiva, i valori medi e massimi di PM10 sono inferiori rispetto a quelli relativi al periodo invernale, presso tutte le postazioni di misura: questo è determinato dalle condizioni meteorologiche che in estate sono più favorevoli alla dispersione degli inquinanti. I valori medi di concentrazione di PM10 sono molto vicini a quelli delle centraline di riferimento in estate, più bassi in inverno. Il massimo estivo è uguale a quello di VR-Borgo Milano e inferiore a quello di VR-Cason, mentre in inverno il massimo di Rivoli è inferiore a quello delle due centraline di riferimento. C'è stato un solo superamento del limite normativo di 50 µg/m^3, e il numero è ampiamente inferiore a Rivoli rispetto alle centraline di riferimento.

Allo scopo di valutare il rispetto dei valori limite di legge previsti dal D.Lgs. 155/10 per il parametro PM10 (ovvero il rispetto del Valore Limite sulle 24 ore di 50 µg/m^3 e del Valore Limite annuale di 40 µg/m^3) nei siti presso i quali si realizza una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria di lunghezza limitata (misurazioni indicative), è stata utilizzata una metodologia di calcolo elaborata dall'Osservatorio Regionale Aria di ARPAV.
Tale metodologia prevede di confrontare il "sito sporadico" (campagna di monitoraggio) con una stazione fissa, considerata rappresentativa per vicinanza o per stessa tipologia di emissioni e di condizioni meteorologiche. Sulla base di considerazioni statistiche è possibile così stimare, per il sito sporadico, il valore medio annuale e il 90° percentile delle concentrazioni di PM10; quest'ultimo parametro statistico è rilevante in quanto corrisponde, in una distribuzione di 365 valori, al 36° valore massimo. Poiché per il PM10 sono consentiti 35 superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m^3, in una serie annuale di 365 valori giornalieri, il rispetto del valore limite è garantito se il 36° valore in ordine di grandezza è minore di 50 µg/m^3.
Per quanto detto, il sito di Rivoli è stato confrontato con la stazione fissa di riferimento di fondo urbano di VR-Cason. La metodologia di calcolo stima per il sito sporadico di Rivoli il valore medio annuale di 21 µg/m^3 (inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m^3) e il 90° percentile di 34 µg/m^3 (inferiore al valore limite giornaliero di 50 µg/m^3).

PM10 (µg/m^3)	ESTATE	INVERNO	ESTATE + INVERNO
media	21	21	21
N	40	52	92
sd	8	12	
max	40	53	53
min	10	4	4
N superamenti 50 µg/m^3	0	1	1

Tabella 14. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10 (µg/m^3), misurata con metodo gravimetrico a Rivoli. Sono stati utilizzati tutti i dati raccolti nei due periodi di campagna di misura.

	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
PM10 (µg/m^3)	Campagna	Borgo Milano	Cason	Campagna	Borgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason
media	21	21	28	21	36	47	21	29	38
N	40	40	40	51	51	51	91	91	91
sd	8	8	12	12	20	24			
max	40	40	53	53	86	105	53	86	105
min	10	9	7	4	9	7	4	9	7
N superamenti 50 µg/m3	0	0	1	1	13	20	1	13	21

Tabella 15. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10: dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina fissa di fondo urbano di Cason. Per il calcolo, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato era disponibile per tutte e tre le postazioni.

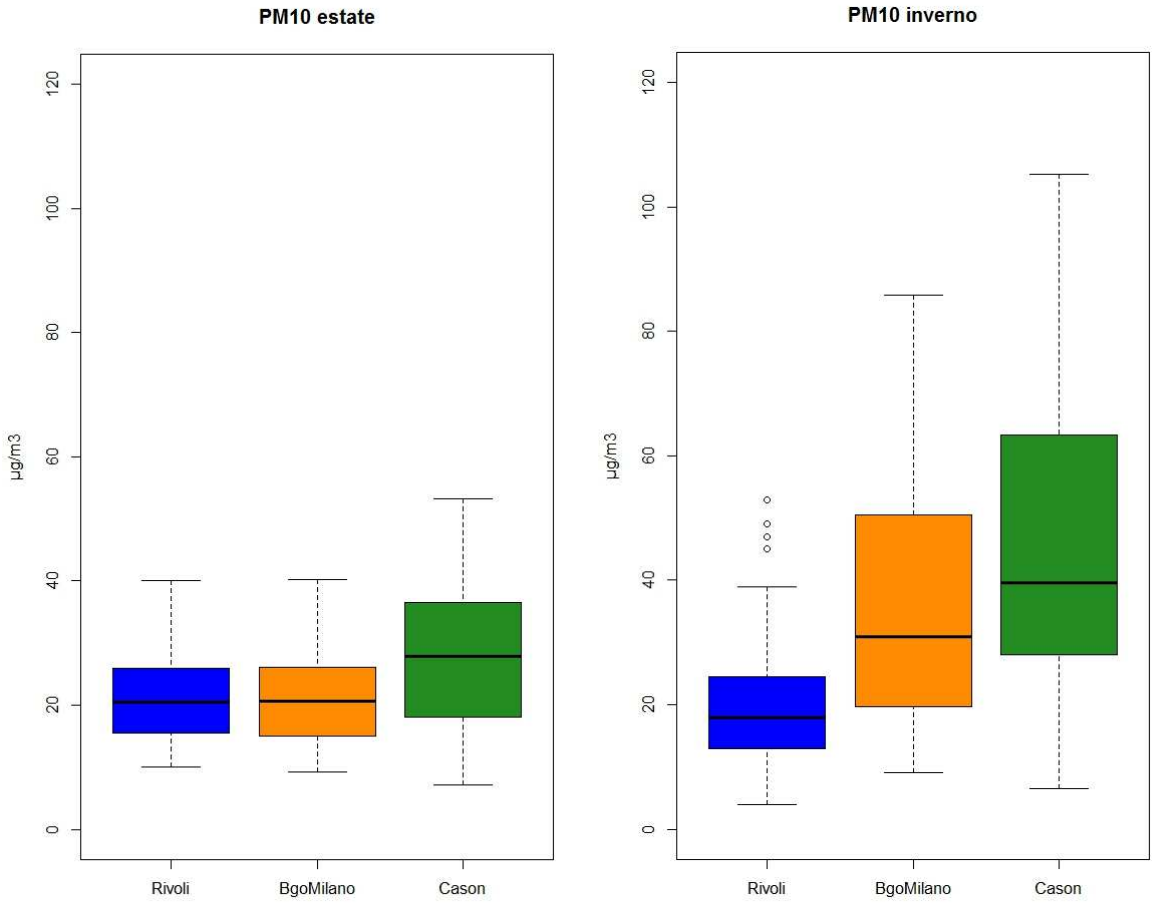


Figura 8. Box-plot della concentrazione di PM_{10}. Dati relativi a Rivoli e alle centraline di riferimento di VR-Borgo Milano e VR-Cason.

7.6. Benzene (C_6H_6)

In Tabella 16 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene misurata con campionatori passivi nei due periodi di campagna a Rivoli e nelle stazioni fisse di riferimento di VR-Borgo Milano e VR-Cason. Il confronto è indicativo, in quanto questo tipo di misura comporta l'esposizione di un radiello per circa 15-20 giorni, e i periodi di esposizione dei radielli delle tre postazioni non coincidono esattamente. I dati della tabella sono rappresentati graficamente in Figura 9 e Figura 10. Si può vedere che i valori medi delle concentrazioni di benzene misurate in estate sono inferiori alla soglia di rivelabilità strumentale in tutte le postazioni; in inverno, il valore medio relativo a Rivoli è ancora inferiore al limite di rivelabilità, mentre presso le centraline di riferimento è più elevato. Pertanto, si può inferire che il limite annuale di 5 µg/m^3 è sicuramente rispettato.

In Tabella 17 sono riportati i valori medi di tutti gli idrocarburi aromatici misurati (benzene, etilbenzene, xilene e toluene) nelle diverse postazioni di misura e nei due periodi di campagna: si vede che per tutte le specie la concentrazione media misurata a Rivoli è inferiore a quella misurata presso le centraline di riferimento.

	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
benzene (µg/m^3)	Rivoli	BgoMilano	Cason	Bgo Milano	Cason	Rivoli	Bgo. Milano	Cason	Rivoli
Media	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	0.8	0.5	≤0.5	0.6	≤0.5
N giorni	40	34	34	61	33	31	101	67	65
sd	NA	0.2	0.0	0.2	0.2	0.4			
max	≤0.5	0.5	≤0.5	0.6	0.9	0.8	0.6	0.9	0.8
min	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	0.6	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5

Tabella 16. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene: dati della campagna di misura di Rivoli, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano, della postazione fissa di Corso Milano e della centralina fissa di fondo urbano di Cason. I dati delle quattro postazioni non si riferiscono esattamente agli stessi giorni di campionamento, pertanto il confronto è solamente indicativo. Il limite di rivelabilità dello strumento è 0.5 µg/m^3.

	ESTATE				INVERNO			
(µg/m^3)	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)
Rivoli	≤0.5	≤0.5	0.7	0.7	≤0.5	≤0.5	1.3	0.8
BgoMilano	≤0.5	0.5	2.5	2.0	0.8	0.9	5.0	3.5
Cason	≤0.5	≤0.5	1.6	1.1	≤0.5	≤0.5	2.8	1.9

Tabella 17. Concentrazione media delle varie specie di idrocarburi aromatici nelle diverse postazioni di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura per tutti gli inquinanti è 0.5 µg/m^3.

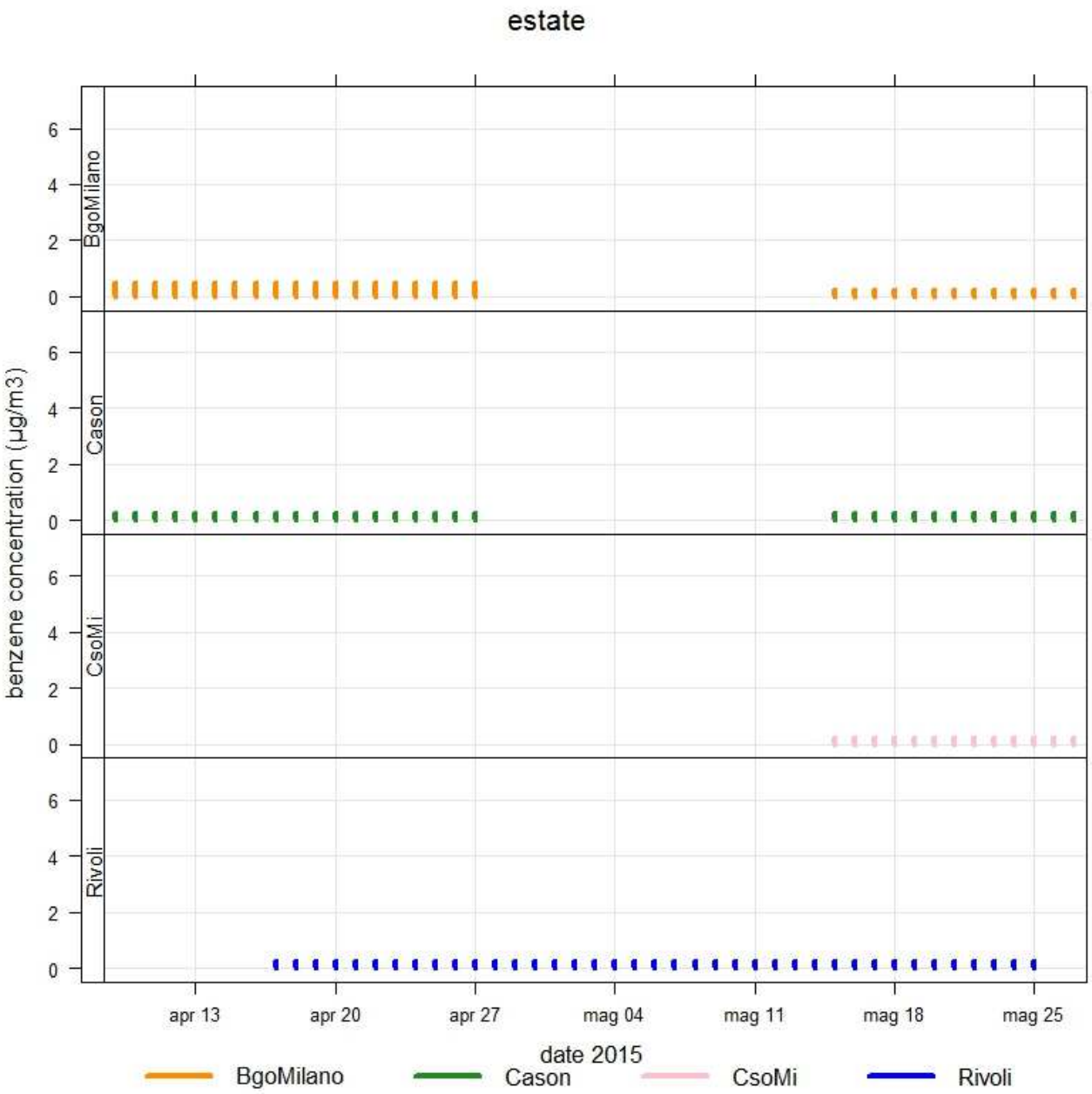


Figura 9. Concentrazione di benzene misurata durante la campagna ESTIVA in diverse postazioni (Rivoli, Borgo Milano, Corso Milano e Legnago). Il valor medio misurato tramite campionatore passivo esposto per un certo numero di giorni viene attribuito a ogni giorno di esposizione.

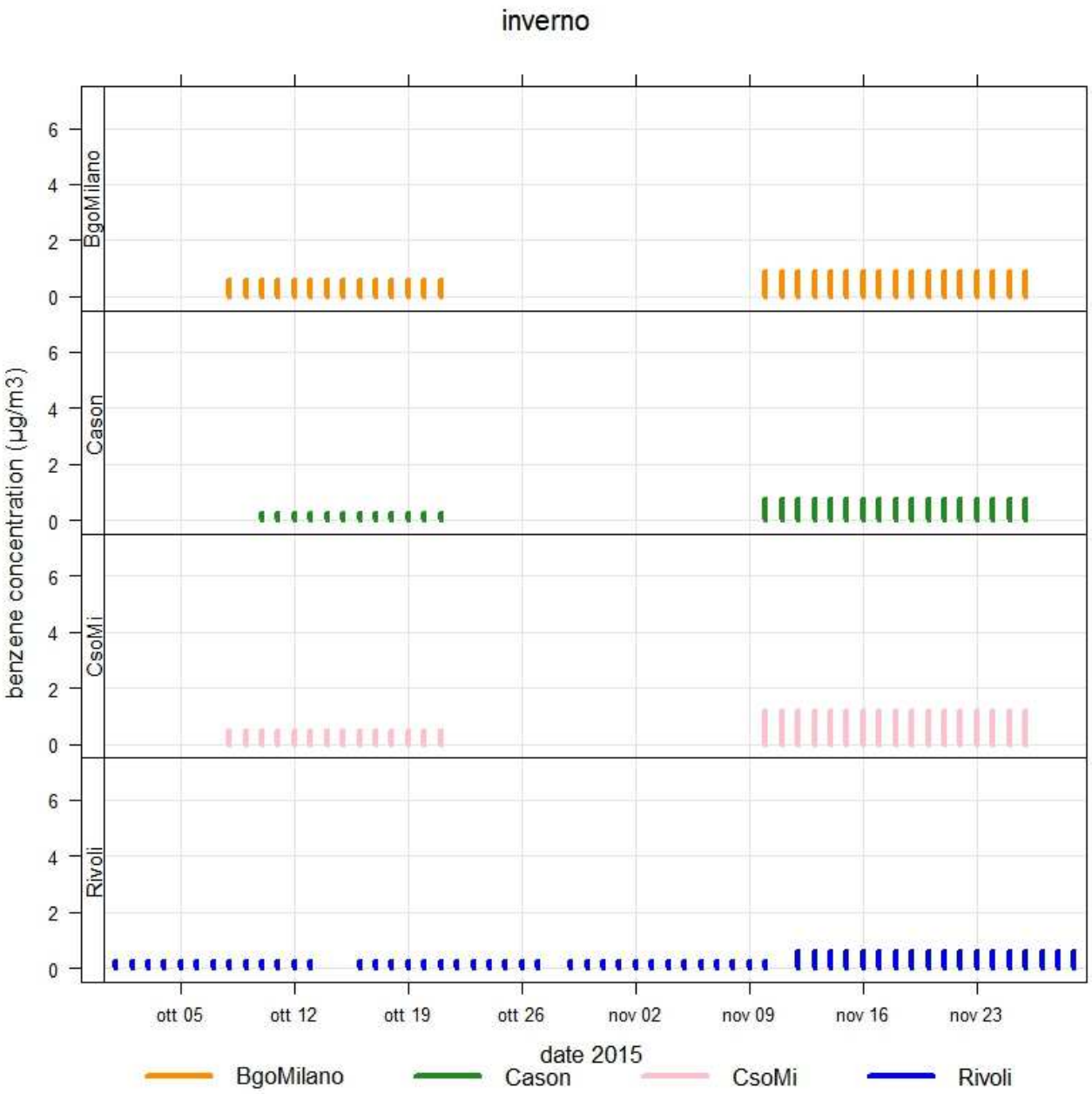


Figura 10. Concentrazione di benzene misurata durante la campagna INVERNALE in diverse postazioni (Rivoli, Borgo Milano, Corso Milano e Legnago). Il valor medio misurato tramite campionatore passivo esposto per un certo numero di giorni viene attribuito a ogni giorno di esposizione.

7.7. Benzo(a)pirene (B(a)p)

In Tabella 18 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzo(a)pirene per le due postazioni di Rivoli e della centralina fissa di VR-Cason. Tali parametri sono stati calcolati a partire dai soli dati relativi a giorni in cui sono disponibili misure per entrambe le località, per rendere significativo il confronto. Invece, in Tabella 9, gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando tutti i dati disponibili per Rivoli, per tutte le specie di IPA misurati. La concentrazione media di benzo(a)pirene a Rivoli è inferiore a quella registrata a VR-Cason in entrambi i periodi; essa è più elevata in inverno, mentre in estate è inferiore al limite di rivelabilità (Tabella 18). Il valore medio riferito ai due periodi è 0.66 µg/m^3, e non supera il valore obiettivo, riferito alla media annuale, pari a 1.0 ng/m^3.

	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
Benzoapirene (ng/m^3)	Rivoli	Cason	Rivoli	Cason	Rivoli	Cason
media	≤0.02	0.07	0.90	1.94	0.66	1.42
N	5	5	13	13	18	18
sd	≤0.02	0.05	0.46	0.85		
max	0.03	0.11	1.63	2.70	1.63	2.70
min	≤0.02	≤0.02	0.15	0.19	≤0.02	≤0.02

Tabella 18. Concentrazione di Benzoapirene: dati della campagna di misura a Rivoli e della centralina fissa di fondo urbano di Cason. I principali parametri statistici sono stati calcolati solo in base ai dati relativi a giorni in cui sono disponibili misure per entrambe le postazioni di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.02 ng/m^3.

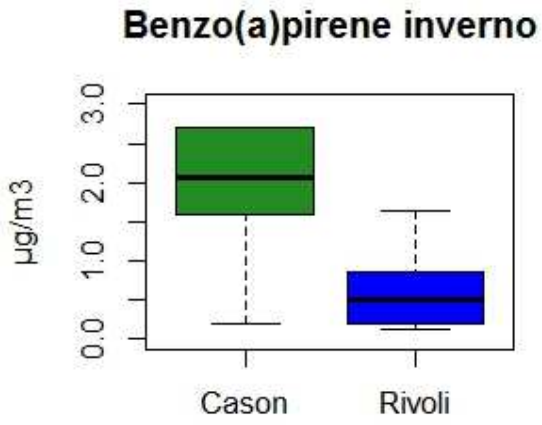


Figura 11. Box-plot della concentrazione di benzo(a)pirene. Dati relativi a Rivoli e alla centralina di riferimento di Cason. Sono riportati solo i dati invernali, in quanto in estate i dati misurati a Rivoli sono inferiori al limite di rivelabilità strumentale.

	ESTATE					INVERNO					ESTATE + INVERNO			
(ng/m^3)	media	N	sd	max	Min	media	N	sd	max	min	mediapesata	N	max	min
Benzoaantracene	0.03	29	0.02	0.05	≤0.02	0.28	40	0.23	0.87	0.08	0.17	69	0.87	≤0.02
Benzoapirene	0.03	29	0.02	0.05	≤0.02	0.63	40	0.46	1.63	0.14	0.37	69	1.63	≤0.02
Benzobfluorantene	0.05	29	0.03	0.09	≤0.02	0.44	40	0.30	1.07	0.11	0.28	69	1.07	≤0.02
Benzoghiperilene	0.05	29	0.04	0.14	≤0.02	0.58	40	0.36	1.28	0.14	0.36	69	1.28	≤0.02
Benzokfluorantene	0.03	29	0.02	0.05	≤0.02	0.28	40	0.19	0.68	0.06	0.17	69	0.68	≤0.02
Dibenzoahantracene	≤0.02	29	0.00	≤0.02	≤0.02	0.06	40	0.03	0.11	≤0.02	0.04	69	0.11	≤0.02
Indeno123cdpirene	0.04	29	0.03	0.10	≤0.02	0.80	40	0.77	2.82	0.05	0.48	69	2.82	≤0.02

Tabella 19. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di diverse specie di IPA, misurata a Rivoli, calcolati utilizzando tutti i dati di campagna disponibili.

7.8. Metalli (Pb, As, Cd, Ni)

In Tabella 20 sono riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di metalli misurata a Rivoli. I valori medi sono ampiamente inferiori ai rispettivi limiti di legge relativi all'esposizione cronica, riferiti alla media su anno civile. La concentrazione dei metalli risulta in linea con i valori rappresentativi del livello di fondo.
Per completezza si riportano in Tabella 21 i principali parametri statistici relativi alle concentrazioni dei metalli, calcolate nello stesso periodo di monitoraggio presso la stazione fissa di fondo urbano di VR-Cason. I dati sono rappresentati graficamente in Figura 12. I valori medi di concentrazione di tutti i metalli a Rivoli sono inferiori a quelli di VR-Cason.

Metallo ng/m^3	media	N	max	min	Limite esposizione cronica	Superamento del limite	Livello di fondo	Aree urbane
As	0.5	22	0.5	0.5	6.0	NO	1 - 3	20-30
Cd	0.1	22	0.4	0.1	5.0	NO	0.1	1-10
Ni	1.7	22	3.0	1.0	20.0	NO	1	9-60
Pb	5.9	22	11.9	2.6	500.0	NO	0.6	5-500

Tabella 20. Valori medi di concentrazione dei metalli. Nei calcoli sono stati utilizzati tutti i dati di campagna disponibili.

		ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
Metallo		Cason	Rivoli	Cason	Rivoli	Cason	Rivoli
		(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)
Arsenico	media	≤1	≤1	1.7	≤1	1.1	≤1
LDR:1 ng/m^3	n° dati	7	7	7	7	14	14
	max	1.0	≤1	1.8	≤1	1.8	≤1
	min	0.5	0.5	1.3	≤1	≤1	≤1
Cadmio	media	≤0.2	≤0.2	0.6	≤0.2	0.4	≤0.2
LDR:0.2 ng/m^3	n° dati	7	7	7	7	14	14
	max	0.3	≤0.2	0.7	0.4	0.7	0.4
	min	≤0.2	≤0.2	0.5	≤0.2	≤0.2	≤0.2
Nichel	media	≤2	≤2	4.5	2.6	3.1	1.8
LDR:2 ng/m^3	n° dati	7	7	7	7	14	14
	max	2.6	1.0	4.9	3.0	4.9	3.0
	min	≤2	≤2	4.0	2.2	≤2	≤2
Piombo	media	4.4	3.0	20.8	9.4	12.6	6.2
LDR:1 ng/m^3	n° dati	7	7	7	7	14	14
	max	5.0	3.3	22.3	11.9	22.3	11.9
	min	4.0	2.6	19.4	6.7	4.0	2.6

Tabella 21. Valori medi delle concentrazioni di metalli misurate durante le campagne di misura a Rivoli e presso la stazione background urbano di Cason, nei periodi corrispondenti a quelli delle campagne di misura a Rivoli. Nei calcoli sono stati utilizzati solo i dati che si riferiscono a giornate in cui sono disponibili per entrambe le località. LDR indica il limite di rivelabilità.

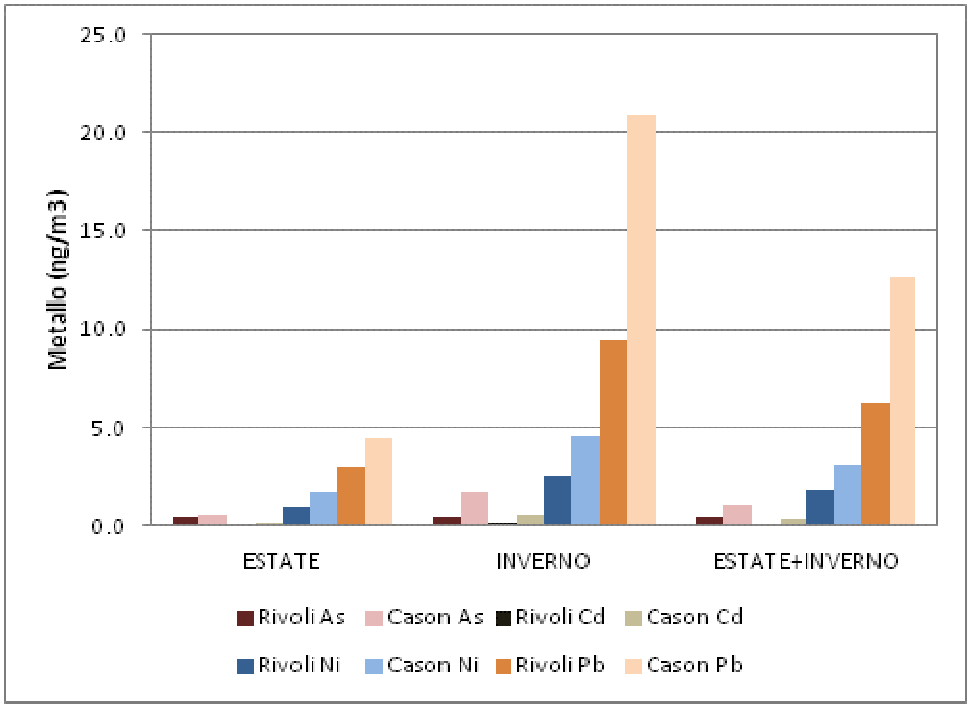


Figura 12. Concentrazione media di metalli nei due periodi di campagna, nelle postazioni di Rivoli (campagna) e di Cason.

8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria)

Un indice di qualità dell'aria è una grandezza che permette di rappresentare in maniera sintetica 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: 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 13 e Figura 14 è riportato il numero di giorni ricadenti in ciascuna classe dell'IQA, per le due campagne di misura, estiva e invernale, rispettivamente. Durante la campagna estiva prevalgono le giornate in cui la qualità dell'aria è stata "accettabile". Nella campagna invernale, invece, sono state più frequenti le giornate con qualità dell'aria "buona.
Per effettuare un confronto con la qualità dell'aria di una stazione di riferimento, è stato calcolato l'IQA di Rivoli e di VR-Cason nei giorni della campagna in cui il dato è disponibile per entrambe le postazioni: il risultato è rappresentato Figura 15 e Figura 16, per l'estate e l'inverno, rispettivamente. Nelle stesse figure è stata riportata la statistica dell'IQA di Cason relativa a tutta la stagione, estiva o invernale, dell'anno 2015. Il confronto consente di concludere che la qualità dell'aria a Rivoli è migliore di quella di VR-Cason. Inoltre, la campagna estiva è stata svolta in un periodo in cui la qualità dell'aria a VR-Cason è stata leggermente migliore rispetto alla media su tutta la stagione, mentre la campagna invernale è avvenuta in un periodo in cui la qualità dell'aria è stata molto simile a quella media di tutti i mesi invernali del 2015.

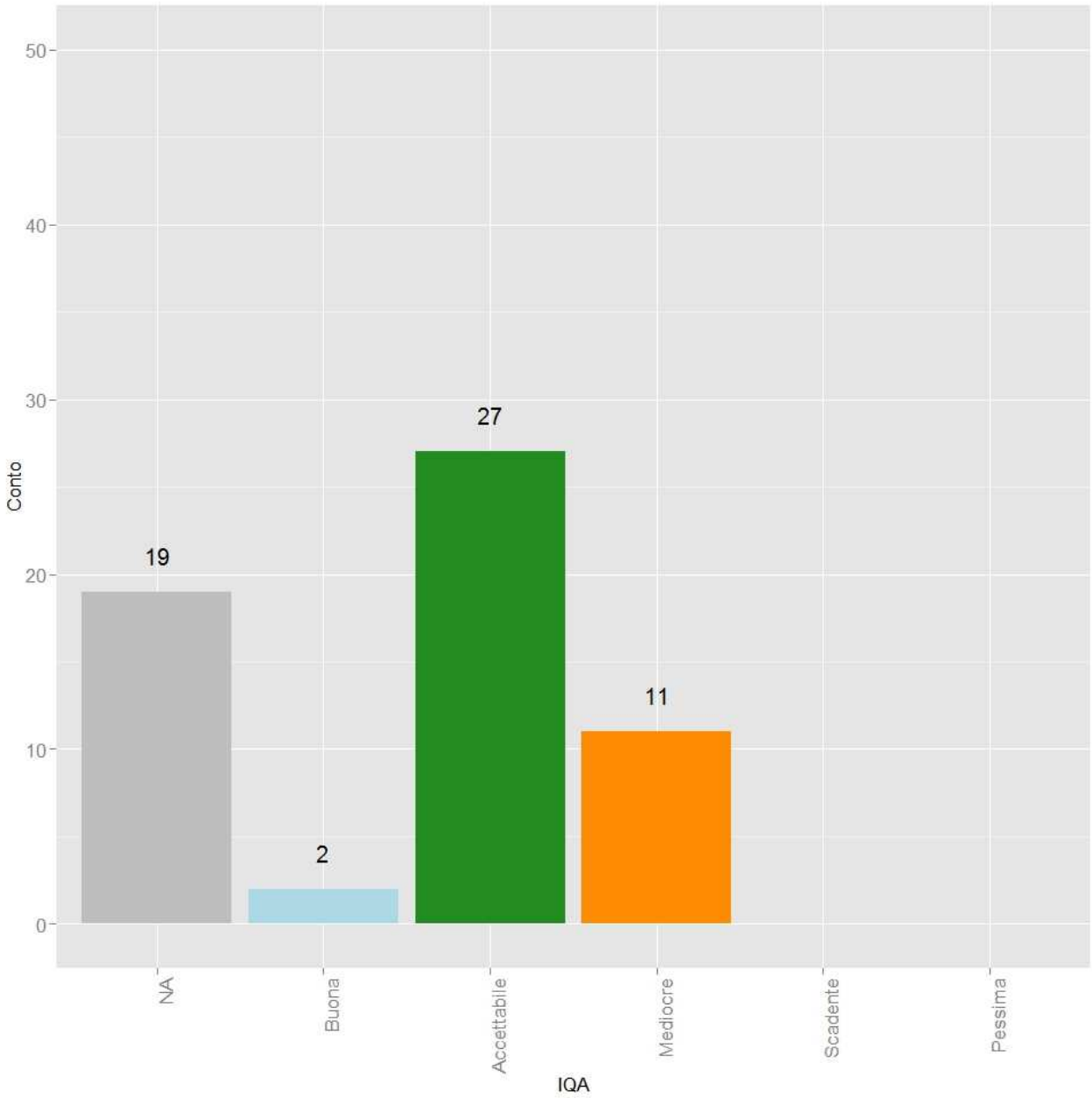


Figura 13. Indice di Qualità dell'aria a Rivoli, campagna ESTIVA: frequenza delle divese "classi" di qualità dell'aria. Elaborazione eseguita a partire da tutti i dati disponibili per Rivoli.

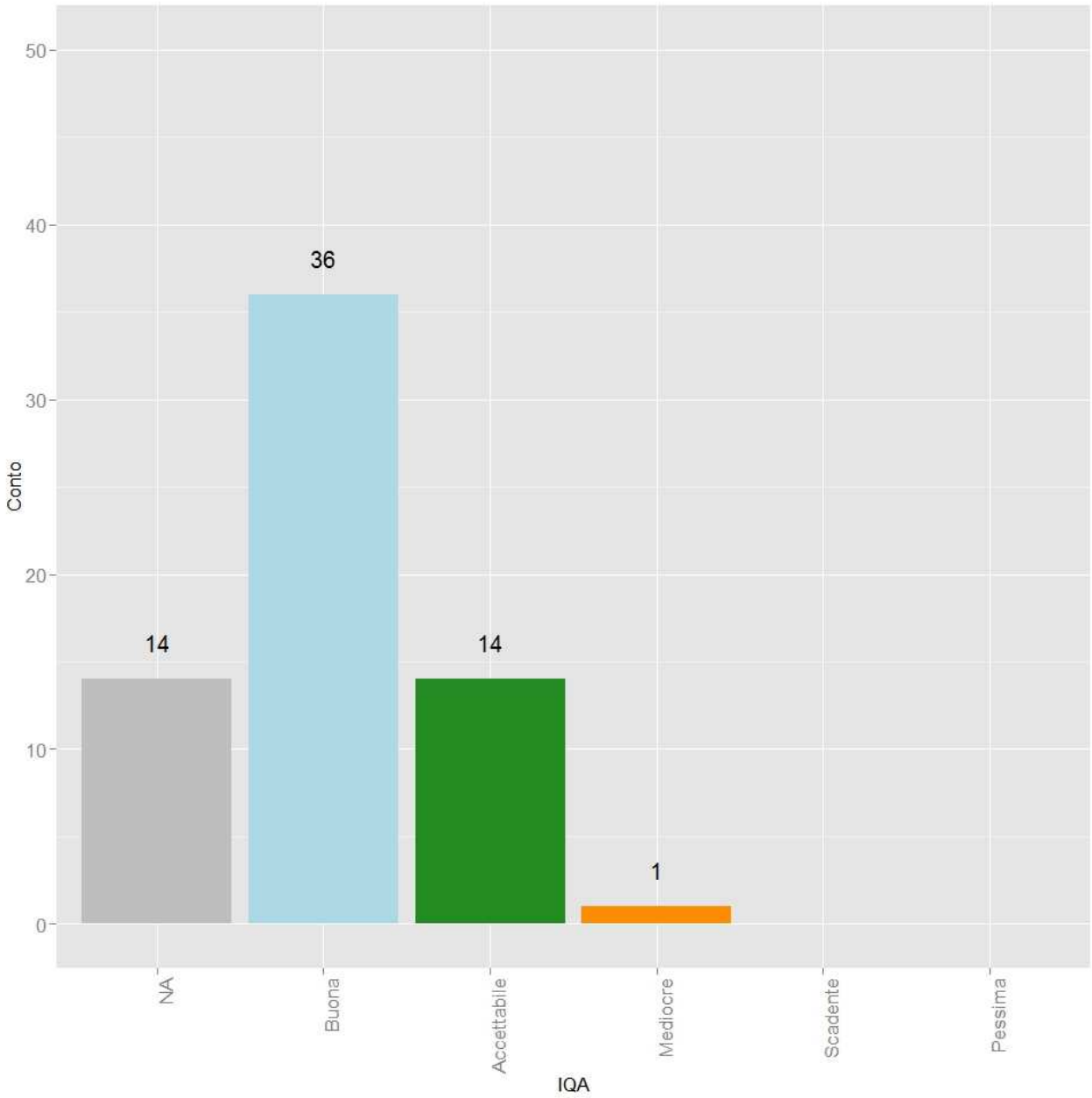


Figura 14. Indice di Qualità dell'aria a Rivoli, campagna INVERNALE: frequenza delle divese "classi" di qualità dell'aria. Elaborazione eseguita a partire da tutti i dati disponibili per Rivoli.

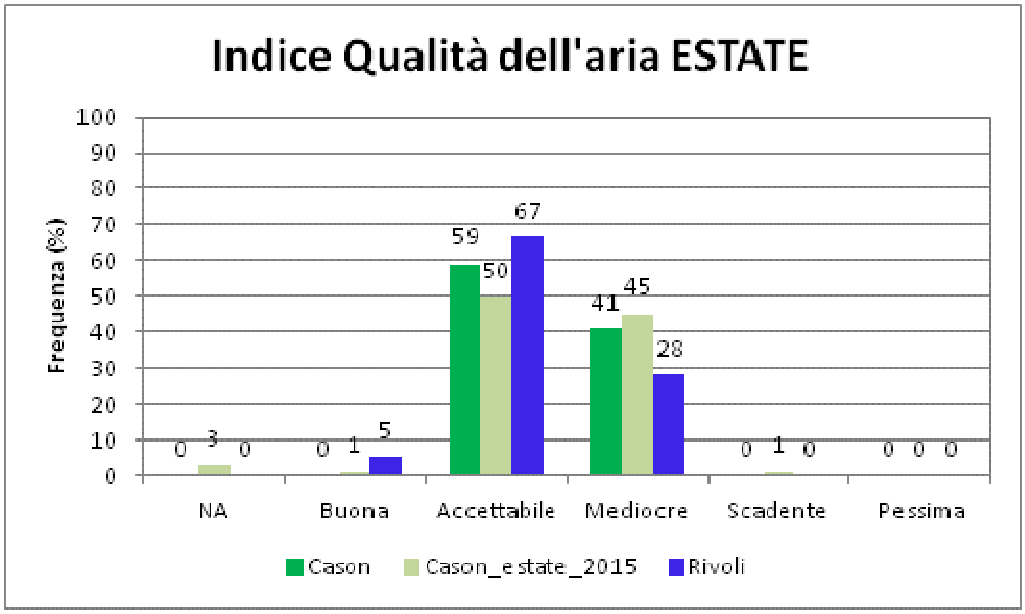


Figura 15 . Indice sintetico di qualità dell'aria, stagione estiva. Le tre serie si riferiscono ai dati di Cason nel periodo in cui è stata svolta la campagna di misura a Rivoli ("Cason"), ai dati di Cason in tutta l'estate 2014 ("Cason_ESTATE_2014"), ai dati della campagna estiva a Rivoli ("Rivoli"). Per la serie "Cason" e la serie "Rivoli" sono stati considerati solo i giorni in cui è disponibile il dato in entrambe le postazioni, al fine di effettuare un confronto sullo stesso periodo.

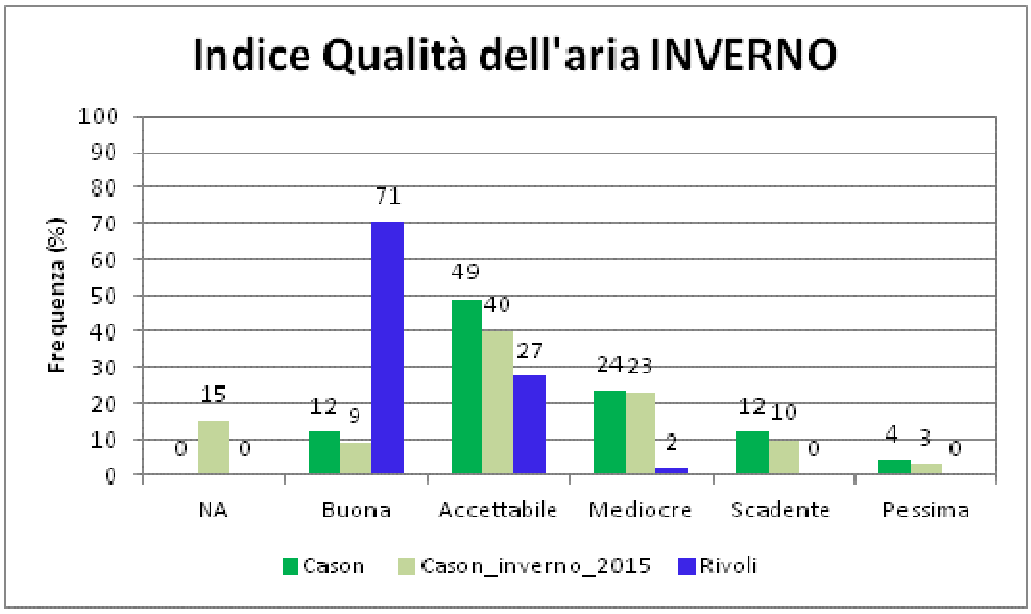


Figura 16. Indice sintetico di qualità dell'aria, stagione invernale. Le tre serie si riferiscono ai dati di Cason nel periodo in cui è stata svolta la campagna di misura a Rivoli ("Cason"), ai dati di Cason in tutto l'inverno 2015 ("Cason_INVERNO_2015"), ai dati della campagna invernale a Rivoli ("Rivoli"). Per la serie "Cason" e la serie "Rivoli" sono stati considerati solo i giorni in cui è disponibile il dato in entrambe le postazioni, al fine di effettuare un confronto sullo stesso periodo.

Figura 17. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria, campagna di Rivoli, ESTATE 2015.

Figura 18. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria, campagna di Rivoli, INVERNO 2015.

9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse

La stazione di VR-Cason, essendo di “fondo urbano”, posta a circa 15 km a sud-est di Rivoli, può essere considerata rappresentativa anche dell’area di quest’ultima. Pertanto è stato effettuato un confronto, per gli inquinanti più significativi (NO_2, benzene e PM10), con le medie annuali registrate negli anni precedenti presso questa centralina fissa. I risultati sono riportati in forma grafica in Figura 19, Figura 20 e Figura 21, dove sono riportati anche i valori relativi alla centralina fissa di riferimento di VR-Borgo Milano.

Per quanto riguarda il biossido di azoto, si osserva una tendenza alla diminuzione della concentrazione di questo inquinante negli anni analizzati, sia a VR-Borgo Milano sia a VR-Cason, fino al 2014, e un aumento nel 2015. Il valore medio durante la campagna risulta vicino alle medie annuali registrate dalle stazioni fisse nei due anni precedenti. I valori relativi alla stazione di background urbano di VR-Cason sono inferiori a quelli della stazione di traffico di VR-Borgo Milano, come ci si può attendere, essendo questo inquinante prevalentemente associato alle emissioni da traffico. I valori relativi a Rivoli sono superiori a quelli di entrambe le centraline di riferimento.

Il benzene, negli anni considerati, mostra una leggera tendenza alla diminuzione. I valori medi di VR-Borgo Milano sono leggermente superiori a quelli di VR-Cason, tranne nel 2014, in cui sono leggermente superiori. Nei due periodi di campagna di misura, la concentrazione di benzene in VR-Borgo Milano è stata mediamente superiore rispetto a VR-Cason. I valori medi di Rivoli sono inferiori rispetto a entrambe le stazioni di riferimento.

La concentrazione di PM10 mostra una tendenza alla diminuzione tra il 2007 e il 2014, mentre nel 2015 è tornata ad aumentare. Nel periodo di campagna i valori medi di PM10 di VR-Borgo Milano e VR-Cason sono simili a quelli medi dell’anno 2015. La concentrazione media a Rivoli è inferiore rispetto a entrambe le stazioni di riferimento.

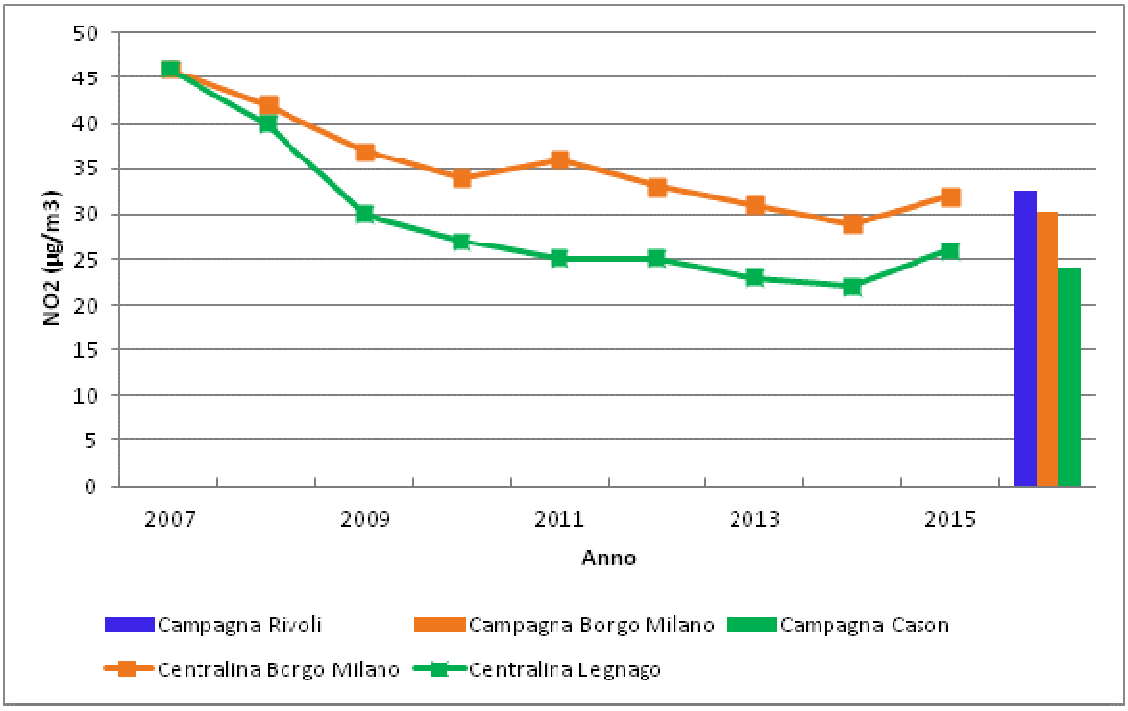


Figura 19: NO_2: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015, misurata dal mezzo mobile a Rivoli, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

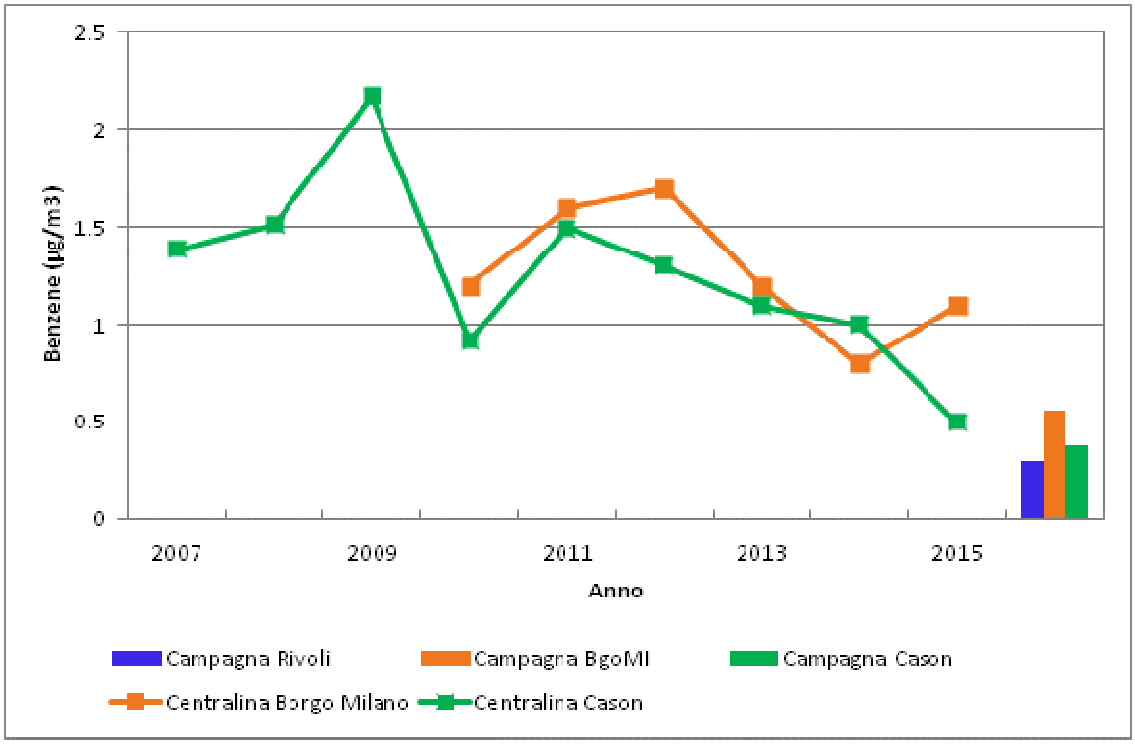


Figura 20. Benzene: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015, misurata dal mezzo mobile a Rivoli, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

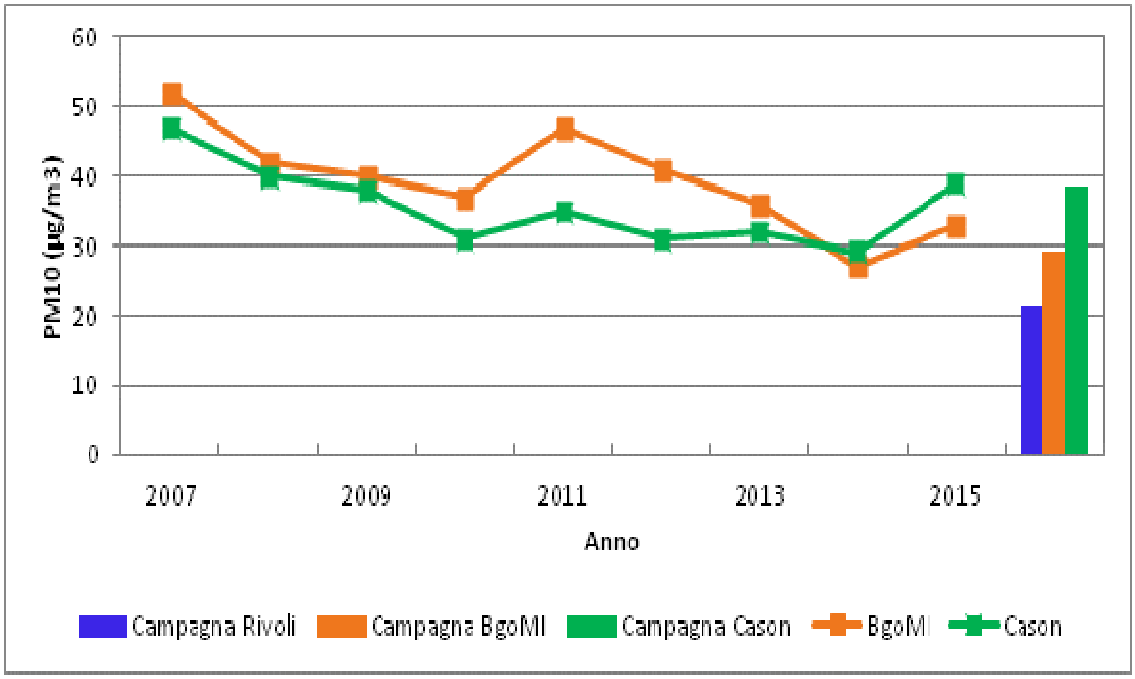


Figura 21. PM10: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015, misurata dal mezzo mobile a Rivoli, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

10. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Rivoli, in Via Venerque, presso la palestra del paese, circa 400 m a est della A22 Brennero-Modena. Il sito, per le caratteristiche descritte, può essere considerato di "fondo suburbano".
Le campagne di misura sono state realizzate in due periodi dell'anno: il primo, che va dal 18 aprile al 15 giugno 2015, il secondo, che va dal 30 settembre al 9 dicembre 2015. La campagna estiva ha coperto anche periodi di caldo intenso, critici per l'ozono. Durante la campagna invernale, ci sono stati due periodi di tempo stabile, con associate inversioni termiche al suolo, e di conseguenza sono stati rilevati valori critici per le polveri sottili.
Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO_x, SO_2, O_3 , le medie giornaliere di PM10, benzo(a)pirene e metalli (Arsenico, Nichel, Piombo e Cadmio), e la media su un periodo di più giorni del benzene. 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 VR-Borgo Milano e quella di fondo urbano di VR-Cason.

Nel caso degli ossidi di azoto, inquinanti legati principalmente alle emissioni da traffico, i valori medi registrati a Rivoli sono più elevati di quelli misurati a VR-Borgo Milano e a VR-Cason; dall'analisi delle distribuzioni dei dati di misura (figura 6) si nota che non vi è nessuna differenza significativa fra i valori misurati a Verona Corso Milano e i valori misurati a Rivoli. L'andamento delle concentrazioni medie nel corso della giornata a Rivoli e presso le stazioni di riferimento mostra che durante la notte i valori medi misurati a Rivoli sono più elevati rispetto a quelli delle centraline di riferimento; di giorno, invece, in estate i valori di Rivoli sono molto simili a quelli delle centraline, in inverno sono inferiori. Nel periodo di svolgimento delle campagne di misura non vi è stato alcun superamento dei limiti normativi relativi all'esposizione acuta, a Rivoli come anche nelle stazioni di riferimento del comune di Verona. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 32 $\mu g/m^3$, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 $\mu g/m^3$; invece la stessa media relativa agli NOx è 51 $\mu g/m^3$, superiore al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 $\mu g/m^3$.

I valori medi e massimi di PM10 relativi a Rivoli sono stati inferiori a quelli delle centraline di VR-Borgo Milano e VR-Cason nello stesso periodo. Mentre nelle centraline di riferimento essi sono più elevati durante la campagna invernale rispetto a quella estiva, a Rivoli sono uguali nelle due stagioni. Le concentrazioni di PM10 in periodo invernale sono significativamente inferiori a quelle misurate presso le stazioni fisse di Verona, nello stesso periodo (figura 8).
E' avvenuto un solo superamento del limite normativo (valore giornaliero di 50 $\mu g/m^3$ da non superare per più di 35 volte l'anno) nel periodo monitorato. La stima del valore medio annuale per il sito di Rivoli, ottenuta dal confronto con i valori della centralina fissa più vicina e rappresentativa del sito stesso (VR-Cason), è stata 21 $\mu g/m^3$, che è inferiore al valore limite annuale di 40 $\mu g/m^3$. In base alla stessa metodologia si stima il 90° percentile pari a 34 $\mu g/m^3$, il che determina un superamento del valore limite giornaliero di 50 $\mu g/m^3$ per un numero di volte inferiore a 35.

Le concentrazioni medie di ozono registrate a Rivoli sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Cason, leggermente inferiori. Nel periodo estivo, il limite di 120 $\mu g/m^3$ sulla media mobile di 8 ore, relativo all'esposizione cronica, è stato superato 13 volte, mentre non è stato superato il limite di 180 $\mu g/m^3$, relativo all'esposizione acuta per le fasce deboli della popolazione. Il numero di superamenti è stato ampiamente inferiore rispetto al corrispondente di VR-Cason.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio e il biossido di zolfo, i valori medi di concentrazione sono molto bassi rispetto ai limiti indicati dalla normativa. Il valore medio di monossido di carbonio è inferiore a quello di VR-Borgo Milano, mentre quello del biossido di zolfo è leggermente superiore.

Il benzene, misurato con campionatori passivi, presenta valori medi inferiori al limite di rivelabilità strumentale, e inferiori a quelli delle centraline di riferimento, in entrambe le stagioni. Di conseguenza, è rispettato il limite annuale di 5 $\mu g/m^3$.

La concentrazione media di benzo(a)pirene a Rivoli in estate è uguale al limite di rivelabilità strumentale. In inverno i valori medi e massimi sono più elevati, ma il valor medio sui due periodi di campagna è pari a 0.66 ng/m^3, inferiore al valore obiettivo riferito alla media sull'anno civile di 1.0 ng/m^3. I valori misurati a Rivoli sono mediamente inferiori agli analoghi riferiti alla centralina di riferimento di VR-Cason.

Le concentrazioni medie dei metalli misurate a Rivoli, in entrambi i periodi di campagna, sono ampiamente inferiori ai rispettivi limiti di legge relativi all'esposizione cronica. La concentrazione media per tutti gli elementi analizzati risulta in linea con i valori rappresentativi del livello di fondo. I valori medi di concentrazione dei metalli a Rivoli sono inferiori a quelli della centralina di riferimento di VR-Cason.

La qualità dell'aria del comune di Rivoli è risultata prevalentemente accettabile in estate e buona in inverno, e non ci sono state giornate con qualità dell'aria scarsa o pessima. Il confronto con la qualità dell'aria della stazione di riferimento di VR-Cason consente di concludere che la qualità dell'aria a Rivoli è migliore di quella di VR-Cason. Inoltre, la campagna estiva è stata svolta in un periodo in cui la qualità dell'aria a VR-Cason è stata leggermente migliore rispetto alla media su tutta la stagione, mentre la campagna invernale è avvenuta in un periodo in cui la qualità dell'aria è stata molto simile a quella media di tutti i mesi invernali del 2015.

ALLEGATO

In questa relazione sono stati riportati anche alcuni grafici di tipo “box-whisker”, il cui significato è illustrato in Figura 22.

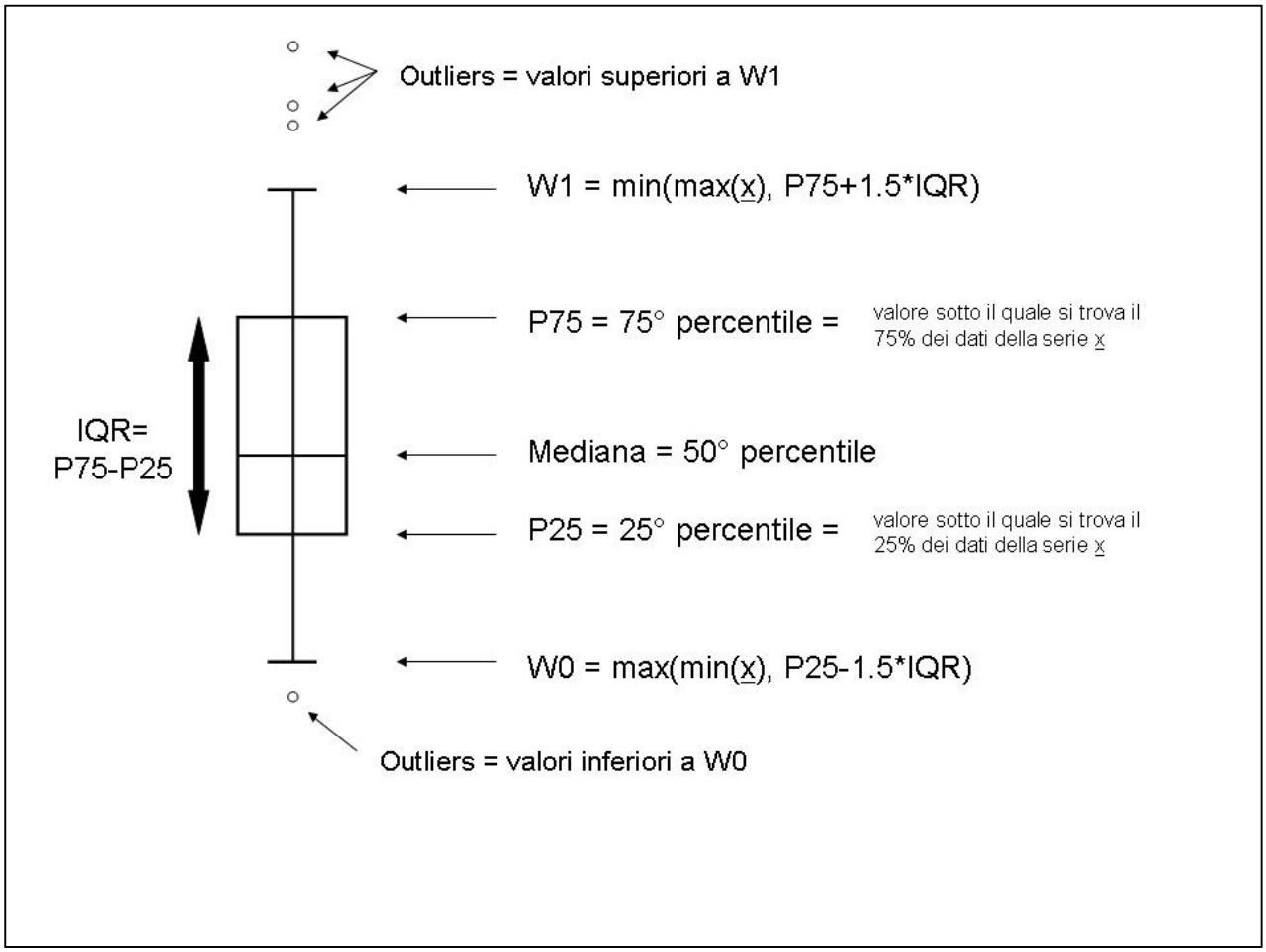
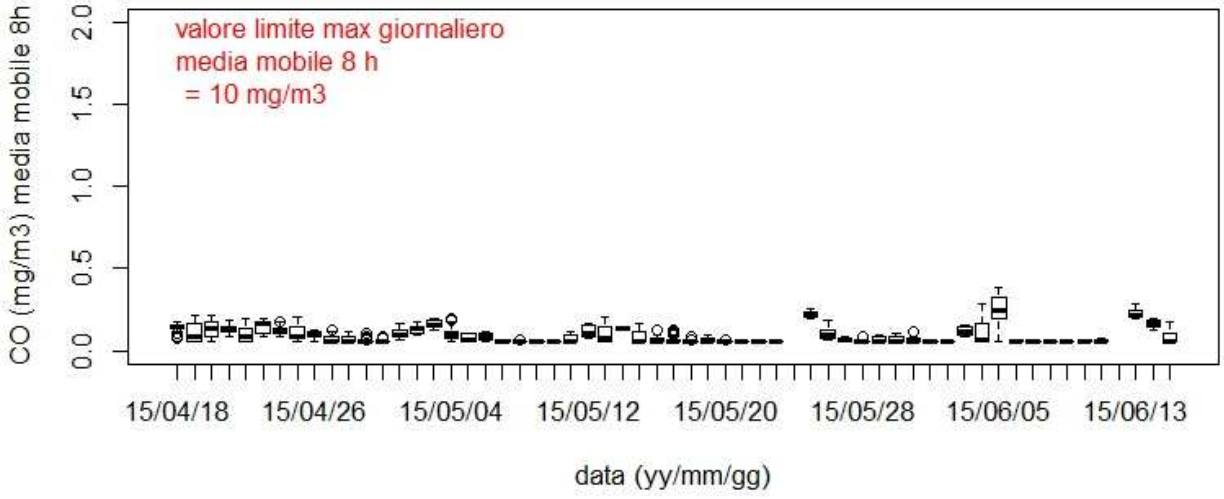


Figura 22. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata 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^3), Media Mobile di 8 ore, box-wisker plot.

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

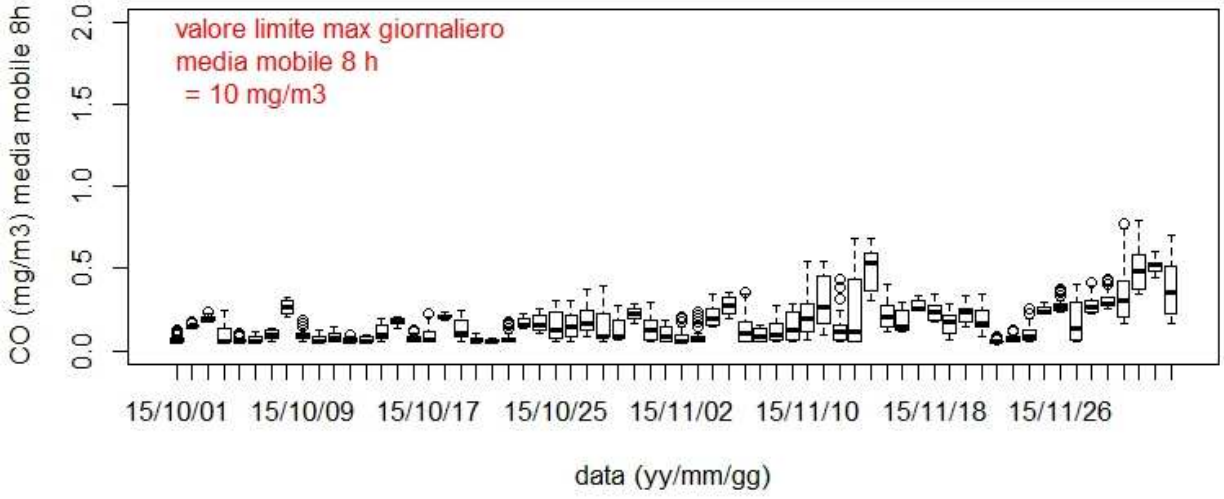
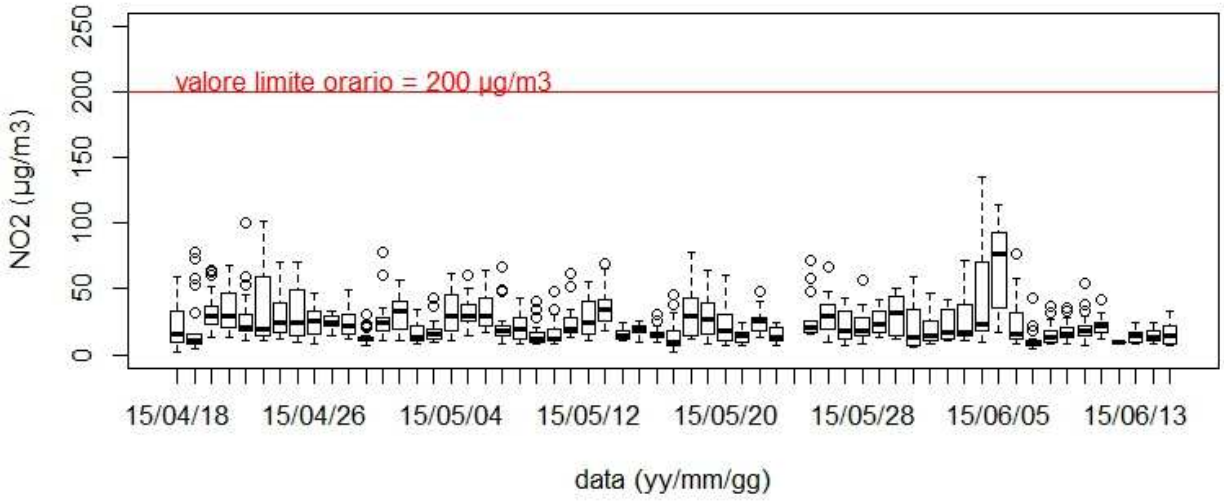


Grafico 2 – Concentrazione di NO_2 (µg/m^3), box-wisker plot. "Esposizione acuta".

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

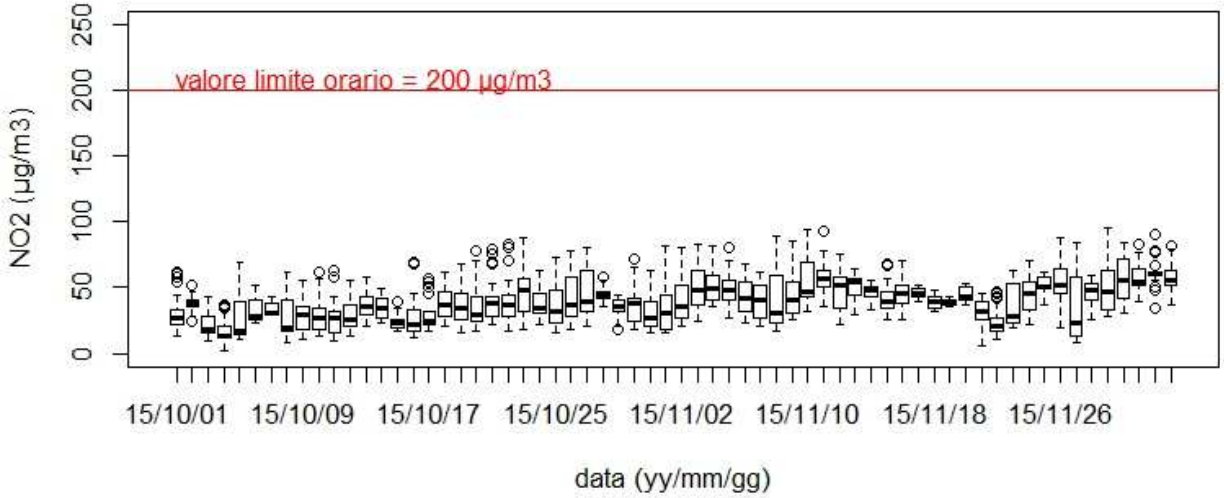
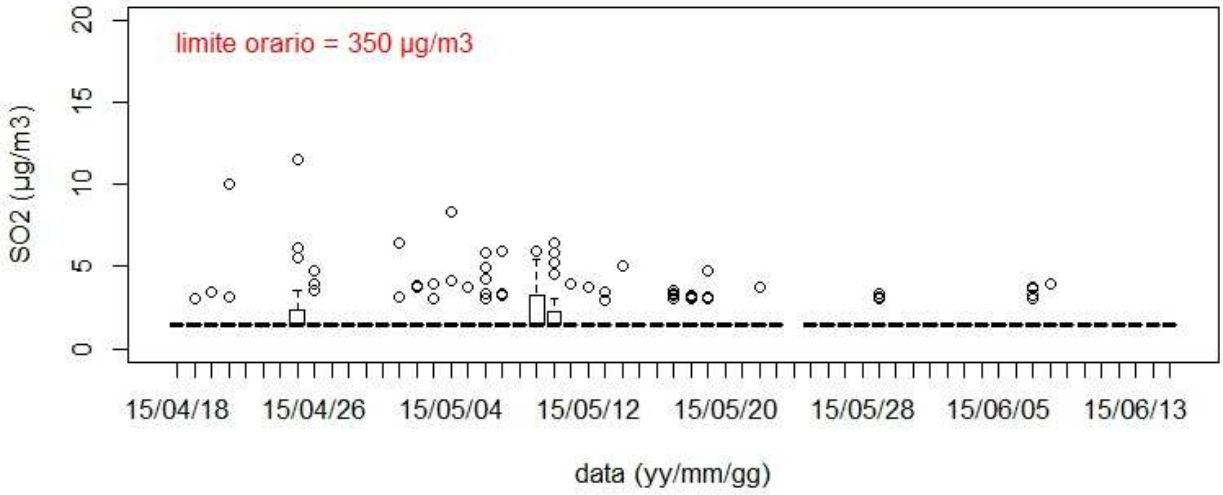


Grafico 3 – Concentrazione di SO_2 (µg/m^3), box-wisker plot.

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

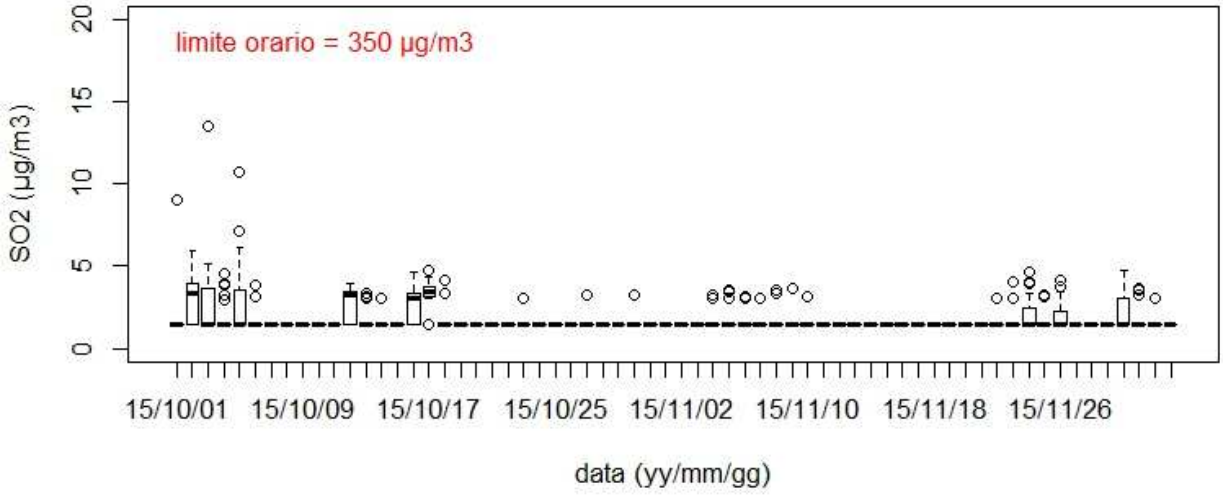
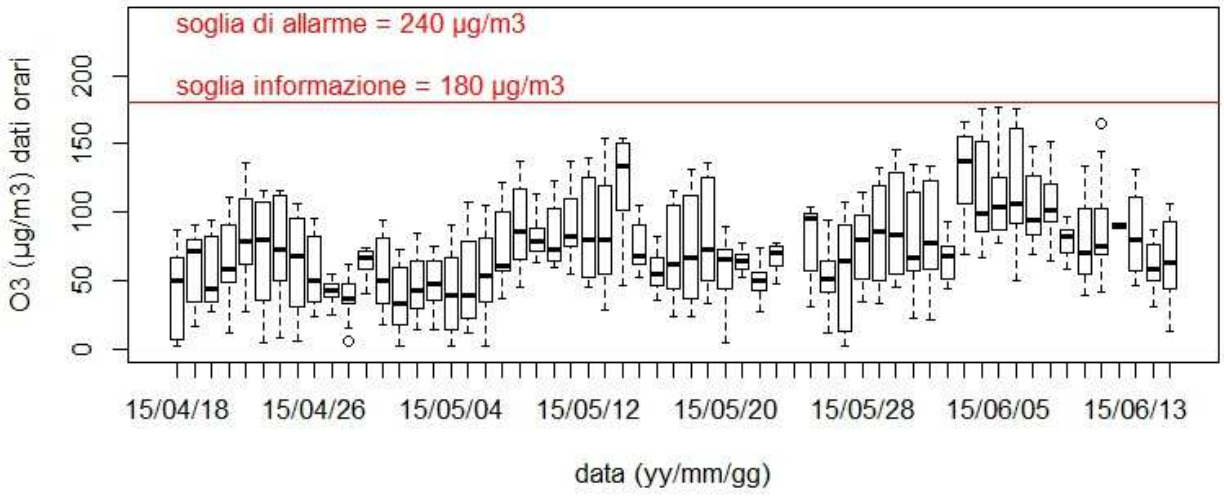


Grafico 4 – Concentrazione di O_3 (µg/m^3), box-wisker plot.

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

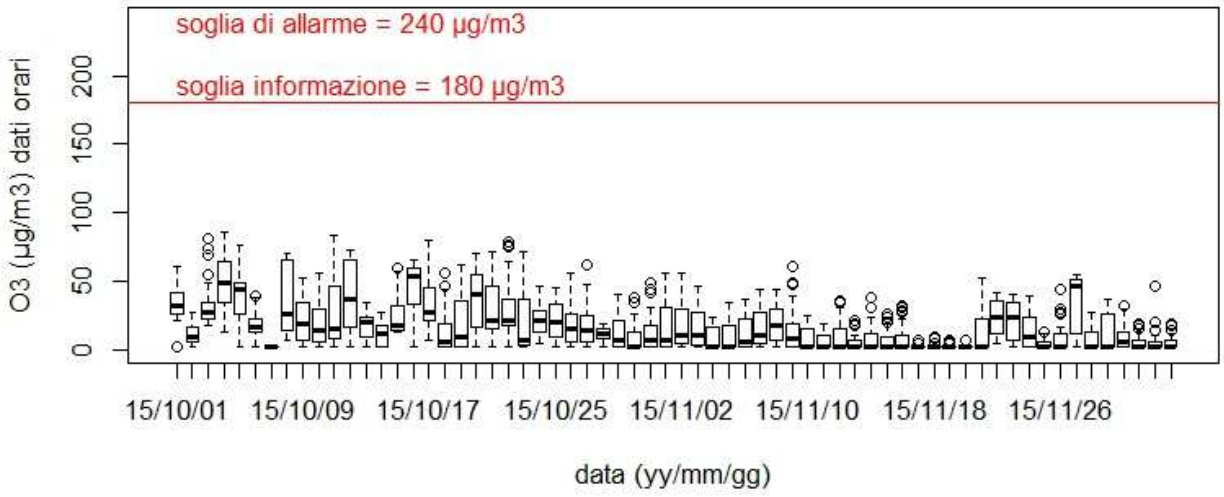
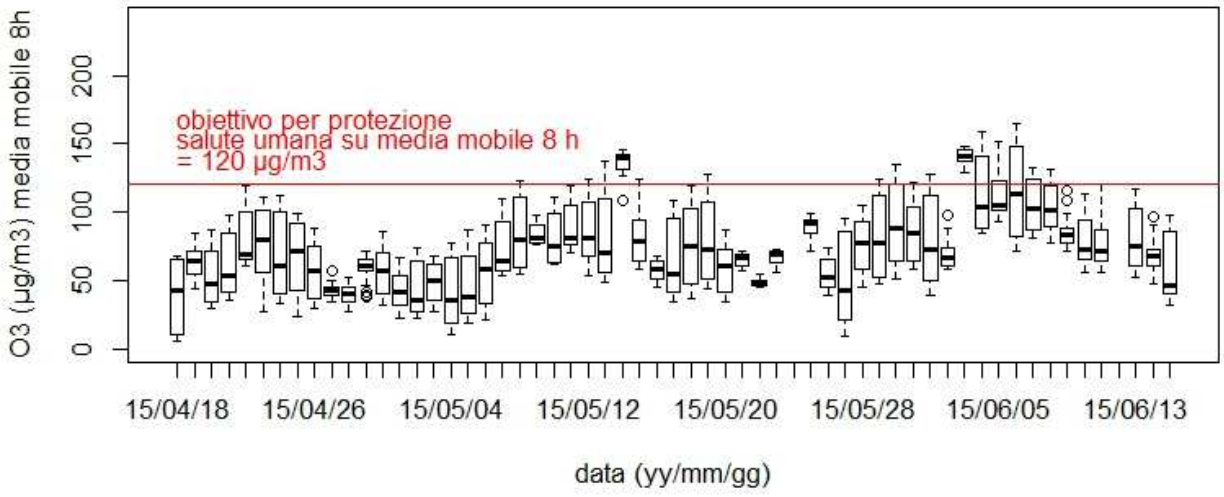


Grafico 5 – Concentrazione di O_3 (µg/m^3), media mobile di 8 ore, box-wisker plot.

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

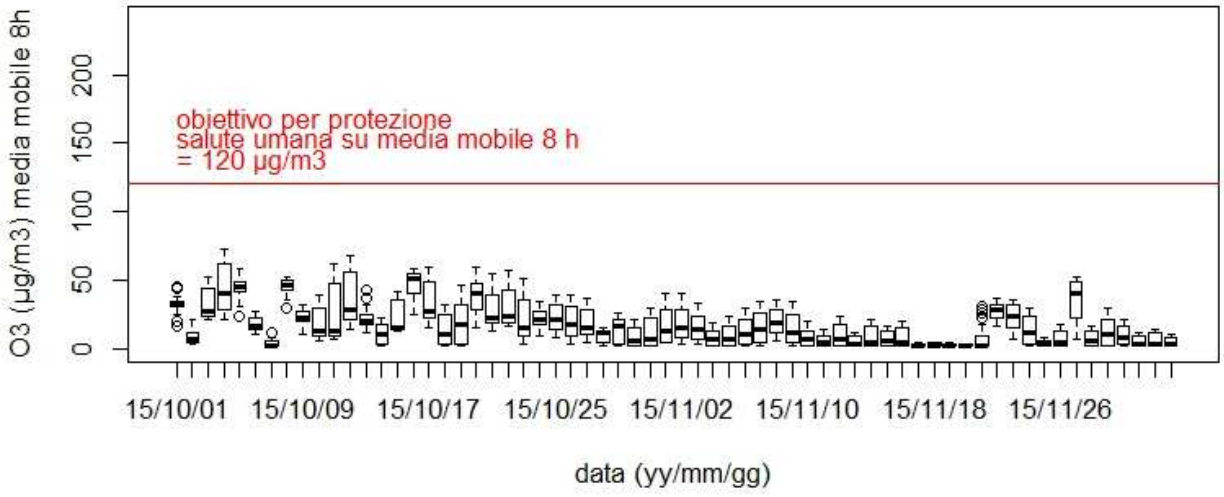
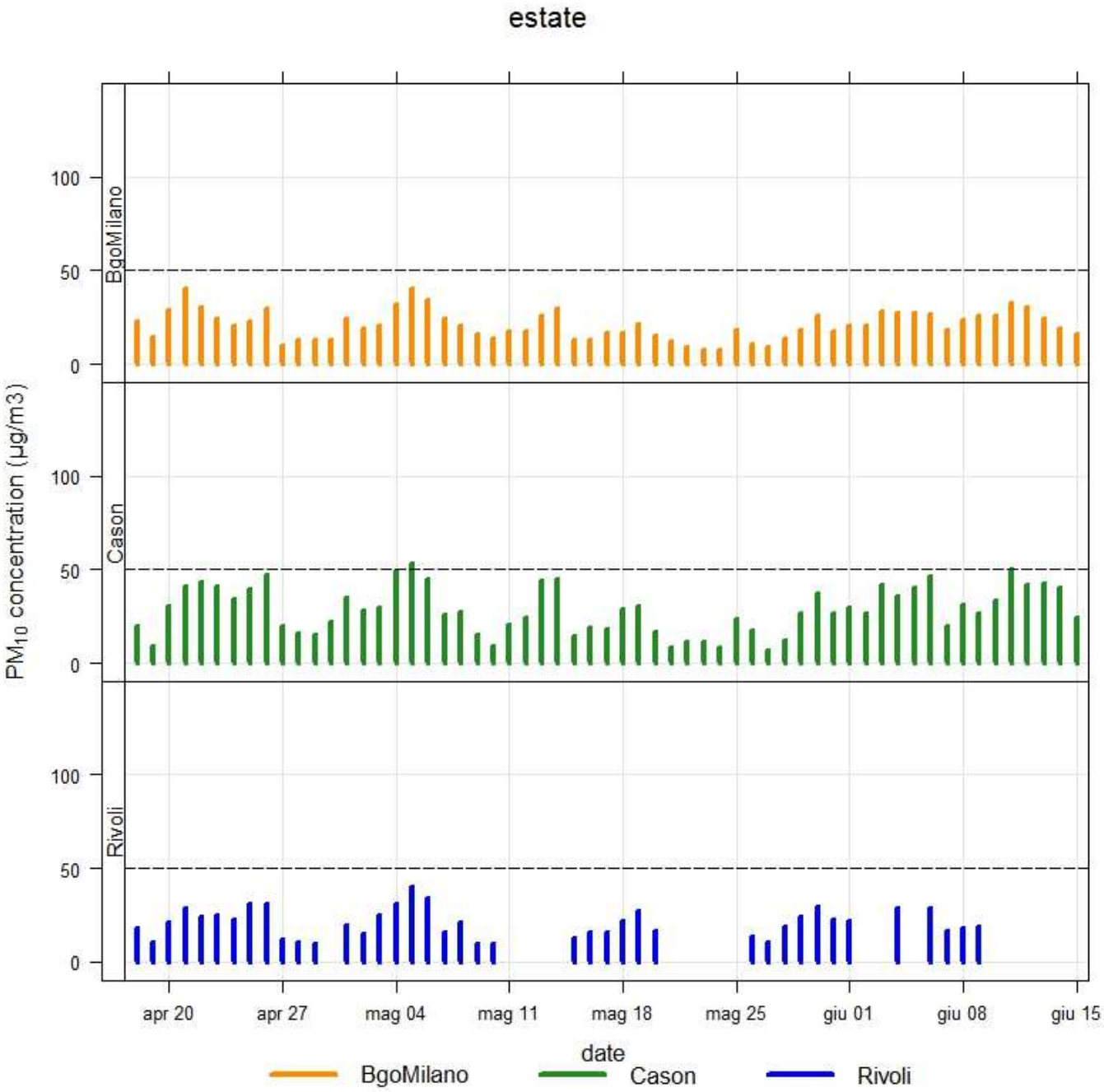


Grafico 6 – Concentrazione giornaliera di PM10 (µg/m^3) a Rivoli, Borgo Milano e Cason. La linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero di 50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte l'anno.



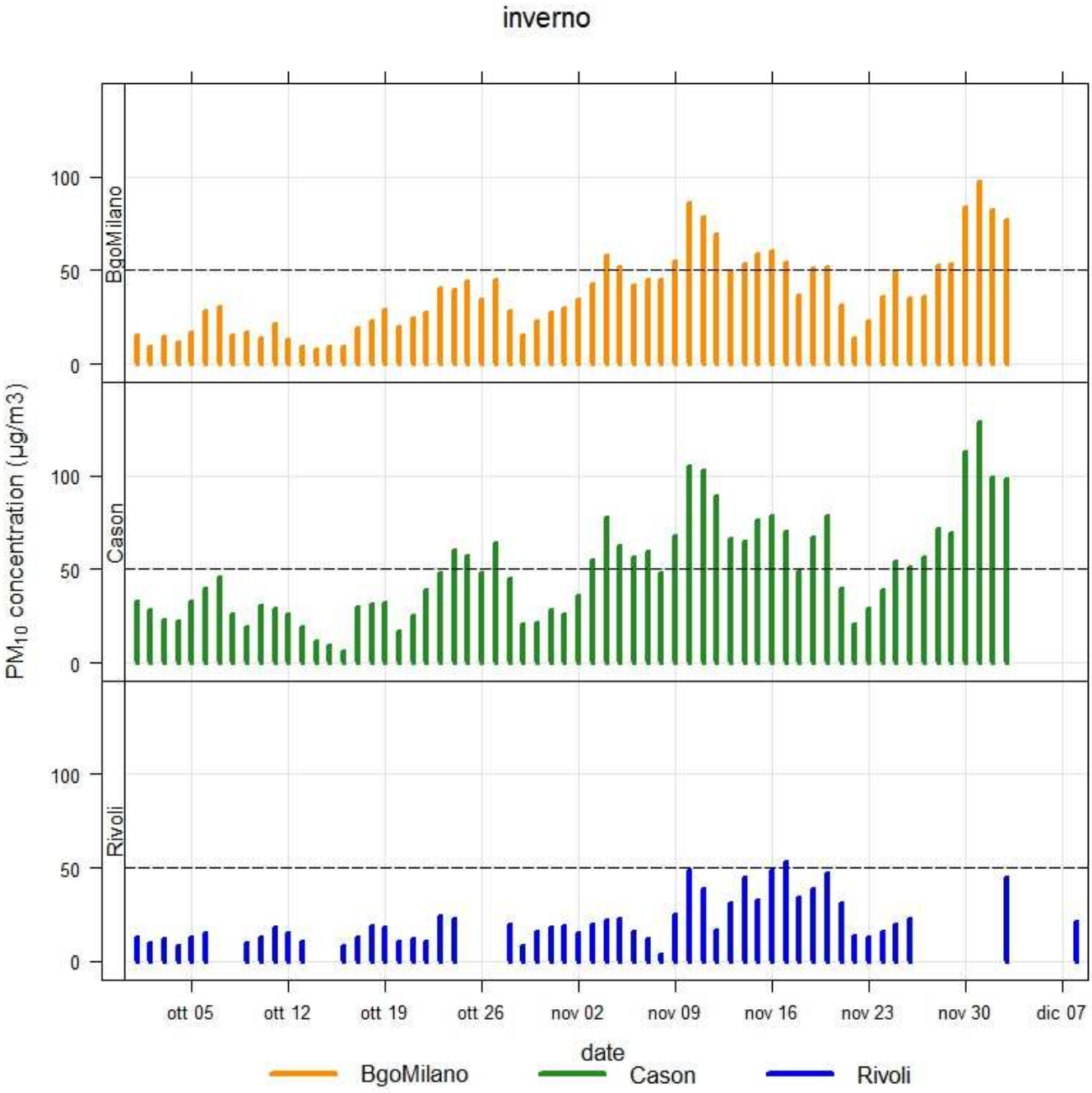
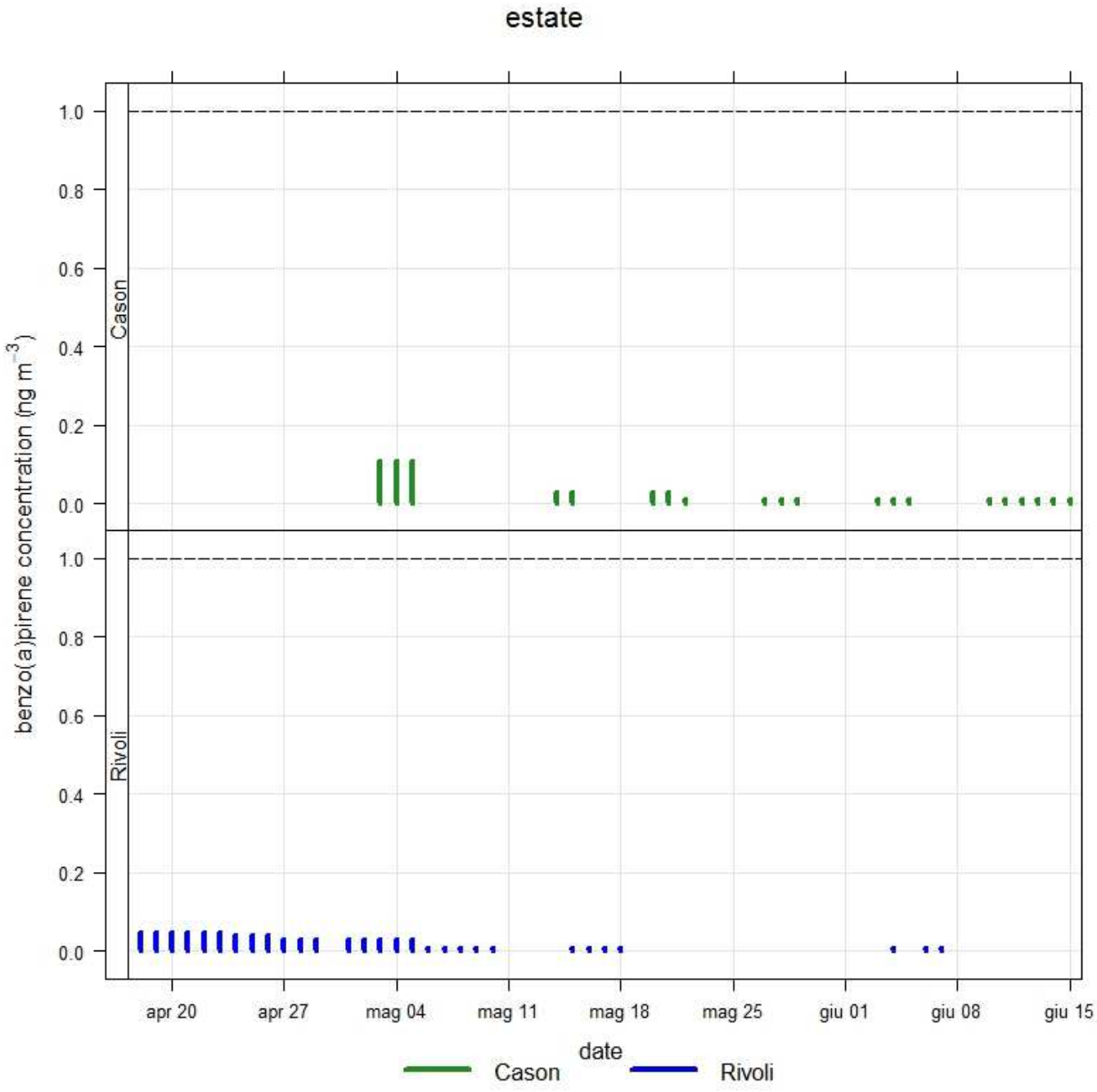

inverno
BgoMilano
Cason
Rivoli
100
50
0
PM10 concentration (µg/m3)
ott 05
ott 12
ott 19
ott 26
nov 02
nov 09
nov 16
nov 23
nov 30
dic 07
date
BgoMilano
Cason
Rivoli

Grafico 7 – Concentrazione di benzoapirene (ng/m^3) a Cason e a Rivoli nelle due campagne di misura. La linea tratteggiata indica il valore obiettivo (annuale) di 1 ng/m^3.



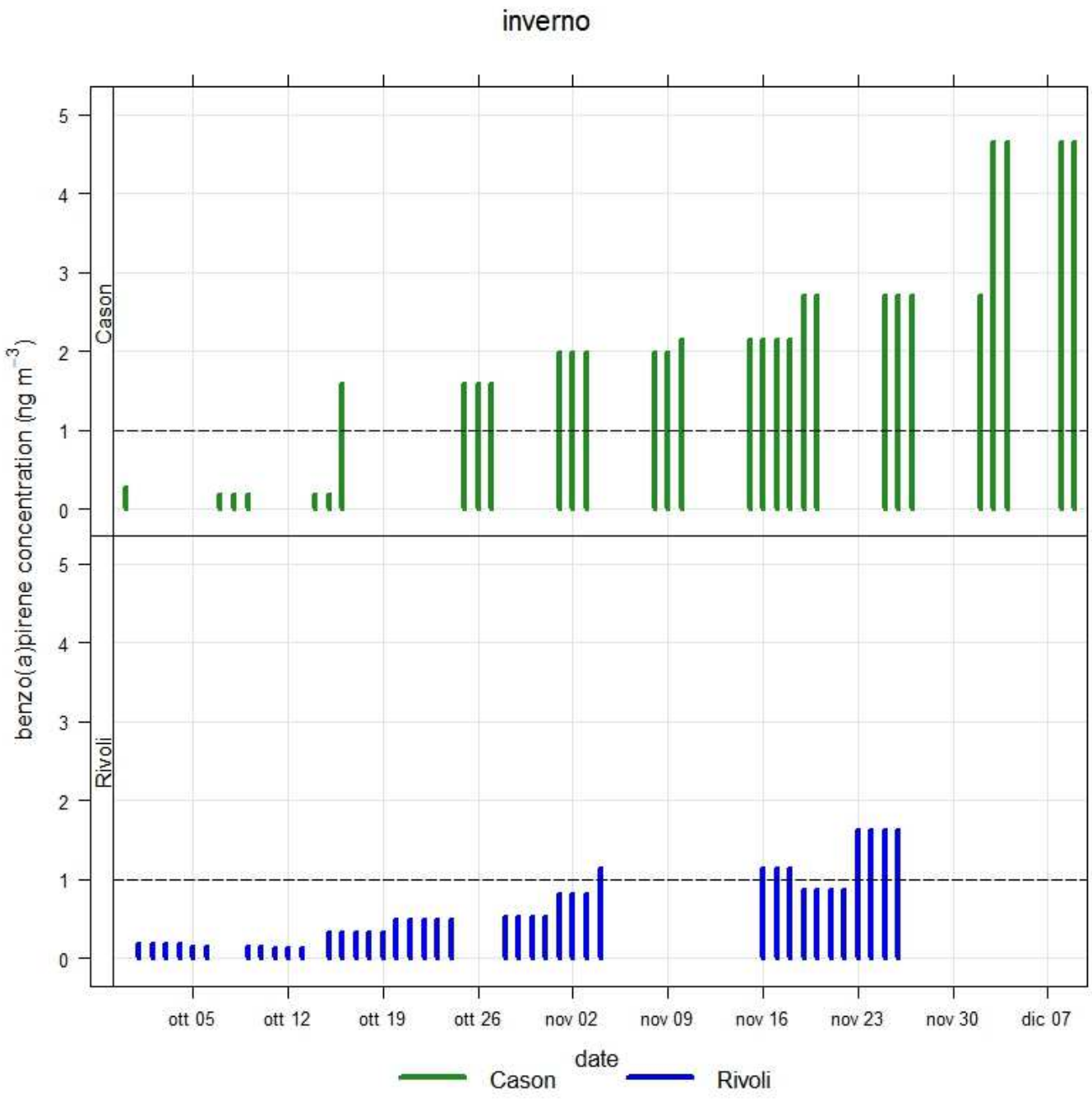

inverno
benzo(a)pirene concentration (ng m^{-3})
Cason
Rivoli
0
1
2
3
4
5
ott 05
ott 12
ott 19
ott 26
nov 02
nov 09
nov 16
nov 23
nov 30
dic 07
date
Cason
Rivoli

Grafico 8 – Giorno-tipo di NO_2 (µg/m^3). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%

Semestre "estivo" a sinistra, "invernale" a destra

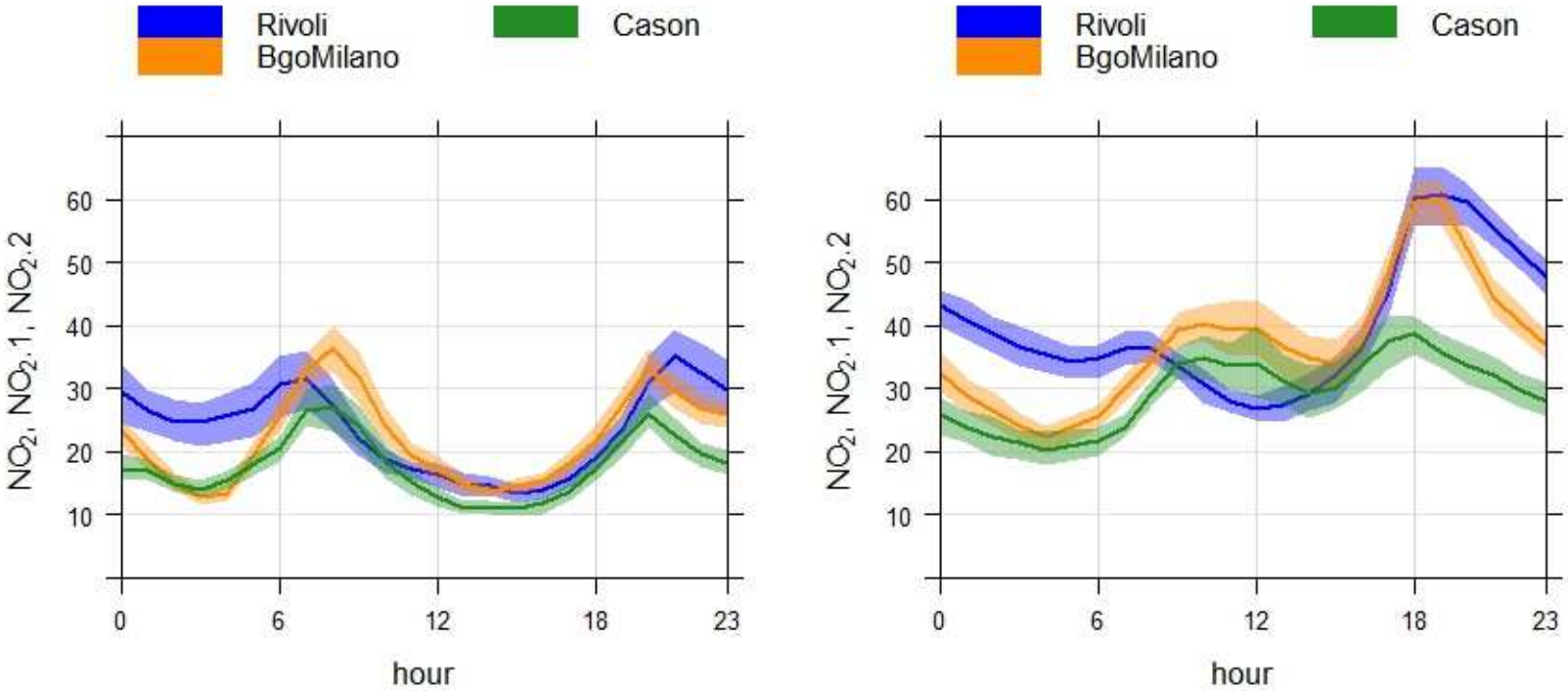


Grafico 9 – Settimana-tipo di NO_2 (µg/m^3). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%

Semestre "estivo" a sinistra, "invernale" a destra

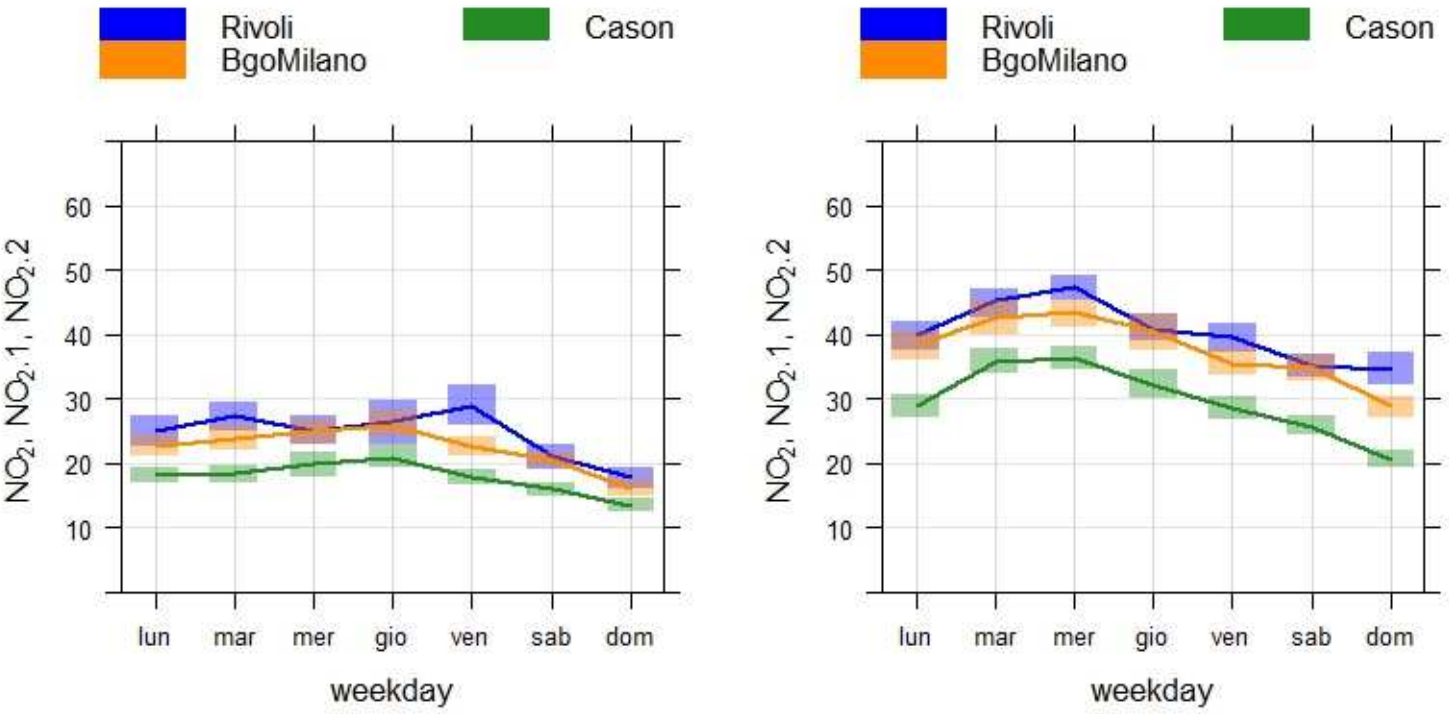
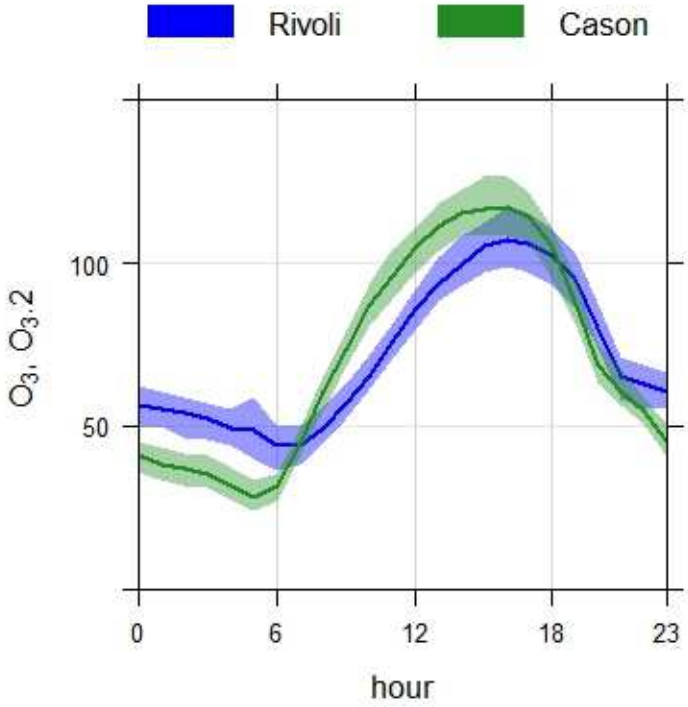


Grafico 10 – Giorno tipo O_3 (µg/m^3). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

Semestre "estivo" a sinistra, "invernale" a destra.



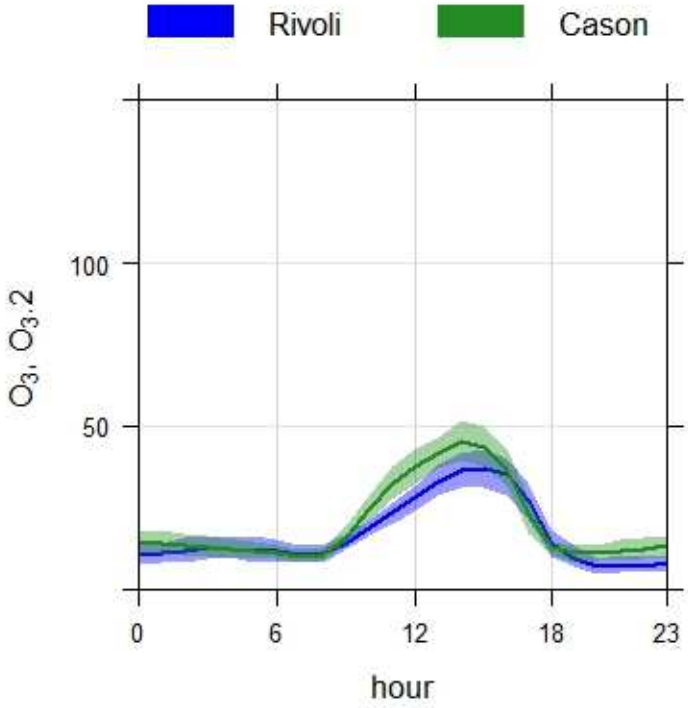
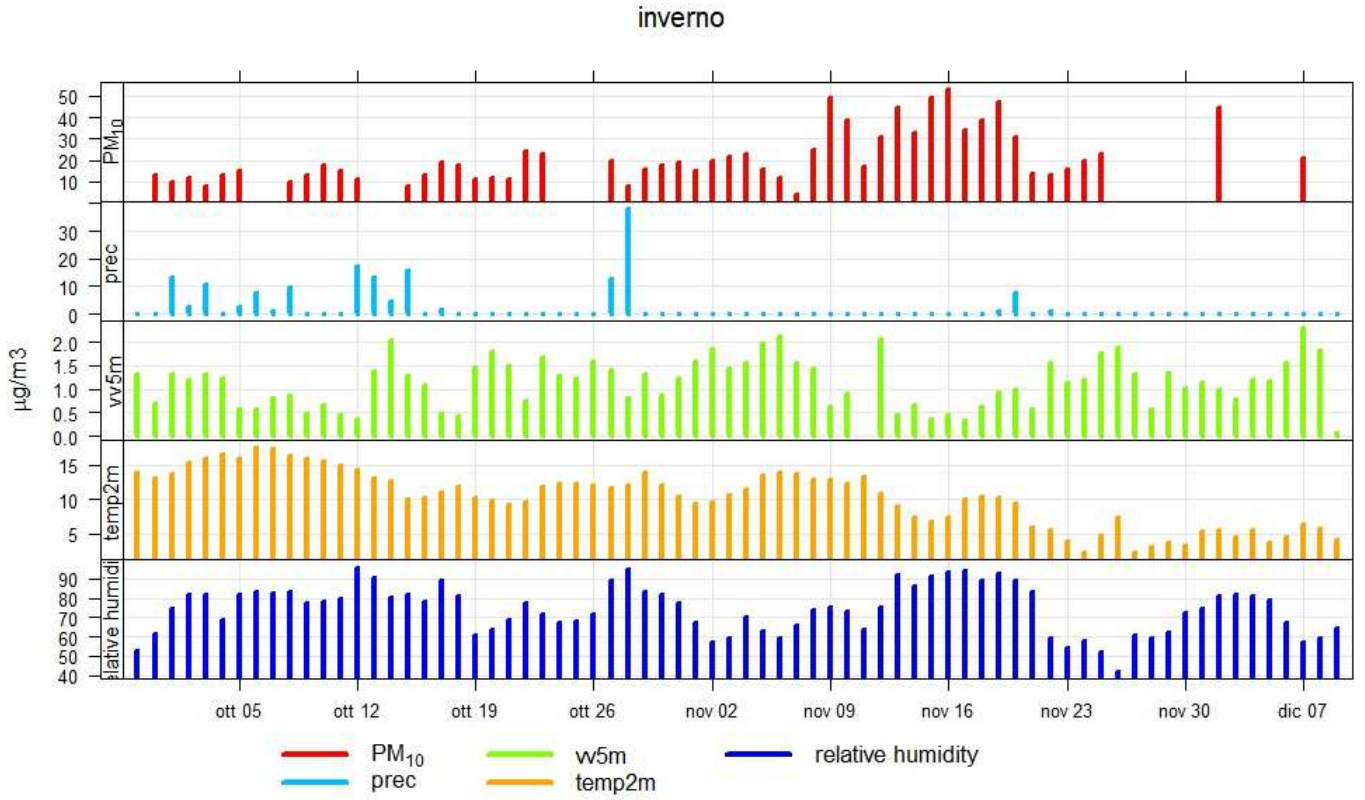



Grafico 11 – Concentrazione di PM10 e O_3 (µg/m^3) a Rivoli, e variabili meteorologiche della stazione di Dolcè (VR): prec=precipitazione accumlata in un giorno (mm); vv5m= velocità del vento a 5m (m/s); temp2m=temperatura a 2m (°C); relative humidity= umidità relativa (%).