

Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Comune di Castel d'Azzano

Analisi dei dati di qualità dell'aria a seguito dei provvedimenti
di limitazione del traffico



Periodo di attuazione:

09/10/2014 – 21/11/2014

22/10/2015 – 11/01/2016

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

Dottoressa Simona De Zolt Sappadina

Ufficio Reti di Monitoraggio

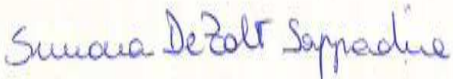
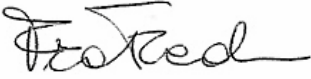
Andrea Salomoni

Commento sulla situazione meteorologica

Massimo Enrico Ferrario

Simona De Zolt Sappadina

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. 5/2016		Data : 27/07/2016
F.to Il Tecnico Unità Operativa Fisica Ambientale Dr.ssa Simona De Zolt Sappadina 	F.to Il Dirigente Unità Operativa Fisica Ambientale 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.....	14
7.1.	Biossido di azoto (NO ₂) – Ossidi di azoto (NO _x).....	15
7.1.	Monossido di carbonio (CO).....	26
7.2.	Biossido di zolfo (SO ₂).....	27
7.3.	Ozono (O ₃).....	28
7.4.	Polveri atmosferiche inalabili (PM10).....	31
7.5.	Benzene (C ₆ H ₆).....	33
7.6.	Benzo(a)pirene e IPA.....	34
7.7.	Metalli (Pb, As, Cd, Ni).....	35
8.	Analisi statistica.....	36
9.	Analisi del traffico.....	41
10.	Conclusioni.....	42

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 comune di Castel d'Azzano, in provincia di Verona, in una zona in cui è presente un forte traffico veicolare da e verso il centro urbano di Verona, e in cui sono attive diverse importanti realtà industriali. In data 30/09/2015, con ordinanza N.11, il sindaco di Castel d'Azzano ha interdetto il traffico dei mezzi pesanti nel centro abitato. Le due campagne di monitoraggio si riferiscono allo stesso periodo dell'anno (autunno-inverno), ma in due anni diversi, rispettivamente prima e dopo tale intervento. La finalità di questa analisi è valutare l'incidenza del provvedimento sulla qualità dell'aria della città. Per tale motivo, le due campagne di misura vengono denominate "PRE" e "POST", con riferimento all'attuazione dell'interdizione del traffico ai mezzi pesanti.

2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione

Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile sono state svolte dal 09/10/2014 al 21/11/2014 (prima della limitazione della circolazione dei mezzi pesanti - PRE) e dal 22/10/2015 al 11/01/2016 (dopo tale intervento - POST). L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Castel d'Azzano ed è di tipologia "traffico urbano". Il comune di Castel d'Azzano 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 del mezzo mobile durante la campagna di monitoraggio, in Via Scuderlando.

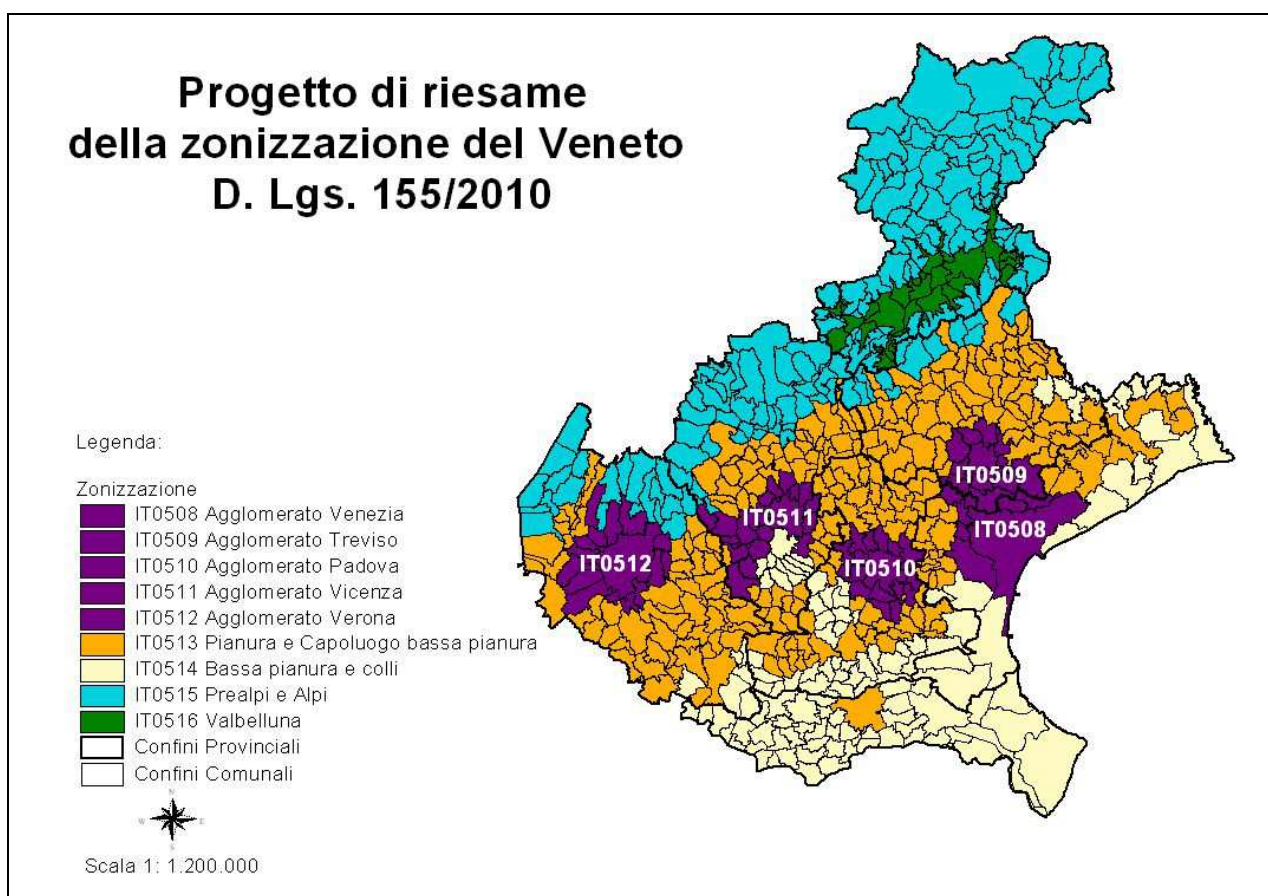


Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012.

Posizione stazione rilocabile
via Scuderlando, Castel D'Azzano, VR

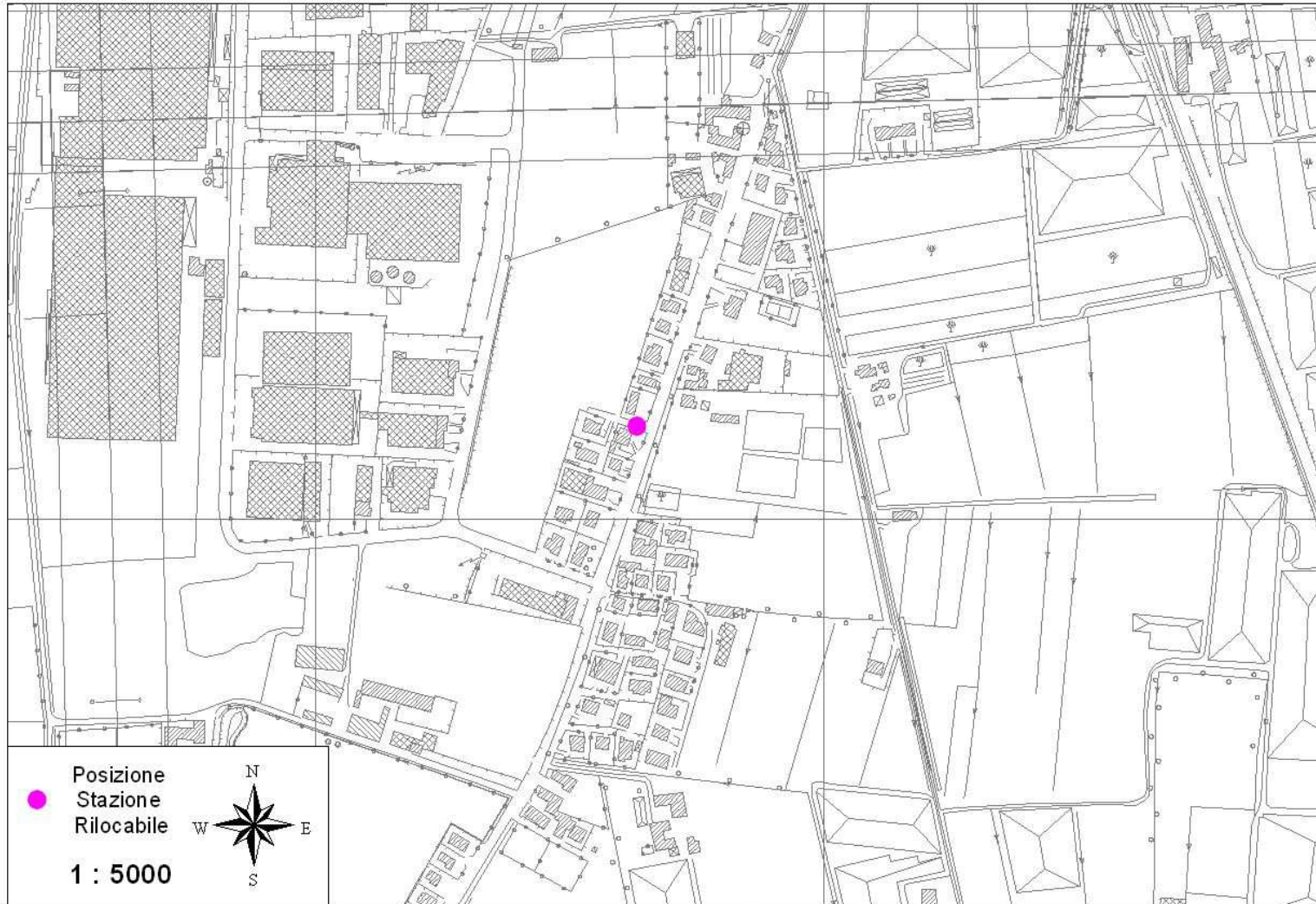


Figura 2. Estratto Carta Tecnica Regionale, scala 1:5000. Ubicazione del punto sottoposto a monitoraggio.

3. Contestualizzazione meteo climatica.

Per la descrizione della situazione meteorologica sono stati utilizzati i dati della stazione di Buttapietra (VR), situata circa 3 km a sud-est del sito della campagna di misura, che può essere considerata rappresentativa della meteorologia della zona oggetto di analisi. L'anemometro di questa stazione meteorologica è posto all'altezza di 2 m sul livello del suolo, per cui l'intensità del vento è sottostimata rispetto alle misure effettuate normalmente 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.

Per una descrizione dell'evoluzione della situazione meteorologica nel corso delle campagne di misura, si può fare riferimento alle figure del grafico 9 in allegato, nelle quali sono riportate le serie temporali delle principali variabili meteorologiche relative alla stazione di Buttapietra, insieme a quelle della concentrazione di PM10 e ozono.

La campagna "pre" inizia il 9 ottobre 2014, con tempo variabile, forte ristagno di umidità nei bassi strati atmosferici e transito di alcuni sistemi nuvolosi, associati alla parte più avanzata di una profonda saccatura, il cui asse rimane per tre giorni posizionato sulla Spagna: in questa situazione, si assiste a qualche debole pioggia tra il 9 e il 12 ottobre. La suddetta saccatura sopraggiunge il 13 provocando un peggioramento del tempo con fenomeni temporaleschi anche intensi. Anche nei giorni successivi, correnti occidentali di origine atlantica continuano a giungere sull'Italia con molte nubi e qualche debole fenomeno. Dal 18 fino al 20 ottobre un'alta pressione continentale, sormontata da un promontorio di matrice atlantica, favorisce una fase di tempo stabile e ben soleggiato, nonostante qualche foschia o nebbia durante le ore più fredde. Le temperature diurne salgono su livelli elevati per la stagione grazie ad un'avvezione d'aria calda in quota. Successivamente, il 21, il transito di un fronte freddo provoca un brusco e sensibile calo termico e due giornate molto ventose e fresche. Dal 24 ottobre, fino al 3 novembre, il tempo migliora grazie ad un promontorio atlantico che sormonta un'alta pressione di stampo continentale, determinando notti fresche e giornate soleggiate e decisamente miti. Poi, una profonda saccatura atlantica giunge sulla nostra regione, provocando un repentino cambiamento del tempo con forte flusso sciroccale e abbondanti piogge il 5 e 6 novembre. Subito dopo questo episodio una temporanea dorsale riporta tempo discreto per tre giorni, ma il 10 novembre il tempo peggiora per una nuova ma meno profonda saccatura, responsabile di nuove piogge, fino al 18. Se fra la prima fase perturbata e l'inizio di questa seconda, il contesto termico era decisamente mite, il 15 sera l'ingresso di aria fredda determina un sensibile calo termico. Dal 18 novembre un promontorio di matrice atlantica riporta tempo stabile e inversioni termiche, fino alla fine della campagna di misura, il 21 novembre.

La campagna "post" inizia il 22 ottobre 2015, con tempo stabile e soleggiato e temperature miti per la stagione, grazie a un'alta pressione dinamica di matrice atlantica. Questa fase perdura fino alla fine del mese con qualche nebbia o foschia, anche se fra il 28 e 29, una debole saccatura atlantica giunge sul Nord Italia, portando due giornate di pioggia. Dal 29 pomeriggio, infatti, fino al 4 novembre, il tempo migliora di nuovo e torna ad essere molto bello e stabile, salvo foschie o nebbie durante le ore più fredde. Successivamente, fino al 12, il tempo continua ad essere bello e le temperature risultano particolarmente elevate rispetto alle medie stagionali. Il giorno 13 novembre una debole saccatura transita sulle Alpi, senza provocare nessun peggioramento del tempo, solo qualche annuvolamento ed un calo termico, più avvertito in quota. Poi si ristabilisce un'alta pressione di matrice mediterranea con temperature anormalmente alte in montagna e con graduale nuova espansione delle nebbie. Dal 18 novembre, una saccatura atlantica si avvicina sulla nostra regione, determinando il progressivo peggioramento delle condizioni meteo, con precipitazioni a partire dal 21. Dopo questo passaggio un'alta pressione di matrice continentale porta i primi freddi con le prime gelate a bassa quota. La fine di novembre e l'inizio di dicembre corrispondono di nuovo ad una fase di tempo stabile, qualche nebbia e temperature più basse e decisamente più consone alla media del periodo. Tra il 5 e il 6 dicembre, una piccola saccatura in

quota porta qualche annuvolamento, ma senza fenomeni. Poi l'alta pressione riprende con freddo per alcuni giorni, fino al 9, quando avviene il transito di una piccola saccatura. Dal 10 dicembre la situazione torna ad essere stabile, grazie a condizioni di alta pressione che perdurano fino al 27, che determinano inversioni termiche e nebbie in pianura. A fine mese, grazie all'ingresso di aria più fredda in quota, si attenua l'inversione termica. Il 2 gennaio passa una saccatura che porta tempo variabile con qualche precipitazione. Dal 5 fino all'8 un promontorio garantisce tempo buono e rialzo termico. Il 9 una nuova saccatura interessa tutto il Veneto, portando precipitazioni i giorni 9 e 11 gennaio, quando la campagna di monitoraggio si conclude.

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 stati individuati in maniera soggettiva, in base a 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 Buttapietra in tre periodi:

- 9 ottobre – 21 novembre 2014, periodo di svolgimento della campagna di misura,
- 6 ottobre – 25 novembre dall'anno 2002 all'anno 2013 (PERIODO ANNI PRECEDENTI)
- 1 gennaio – 31 dicembre 2014 (ANNO CORRENTE).

Gli stessi grafici sono stati ripetuti in figura 4 con riferimento alla campagna "post", utilizzando i seguenti tre periodi:

- 23 ottobre 2015 - 10 gennaio 2016, periodo di svolgimento della campagna di misura "post";
- 21 ottobre - 10 gennaio dall'anno 1992 all'anno 2015 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 10 gennaio 2015 – 10 gennaio 2016 (ANNO CORRENTE).

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

- la distribuzione delle giornate in base alla piovosità è abbastanza simile a quella dell'anno in corso, mentre rispetto alla climatologia sono un po' meno frequenti i giorni poco piovosi;
- i giorni con calma di vento sono più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento e sono del tutto assenti le giornate con vento debole.

Durante la campagna di misura "POST":

- i giorni poco piovosi sono ben più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento (con uno scarto maggiore rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti) e sono del tutto assenti i giorni piovosi;
- i giorni con vento debole (classe delle situazioni più favorevoli alla dispersione degli inquinanti) sono del tutto assenti e quindi meno frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento; i giorni con calma di vento sono più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento, con uno scarto maggiore rispetto all'anno corrente.

In Figura 5 è riportata la rosa dei venti registrati presso la stazione di Buttapietra durante lo svolgimento delle campagne di misura. Da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento durante il periodo PRE sono est-sudest (6%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 71%; la velocità media pari a circa 0.4 m/s. Invece, nel periodo "POST", la direzione prevalente di provenienza del vento è stata ovest-sud-ovest (circa 8% dei casi), seguita da sud-ovest (circa 6%) ed ovest (circa 5%); la frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 63%; la velocità media pari a circa 0.5 m/s.

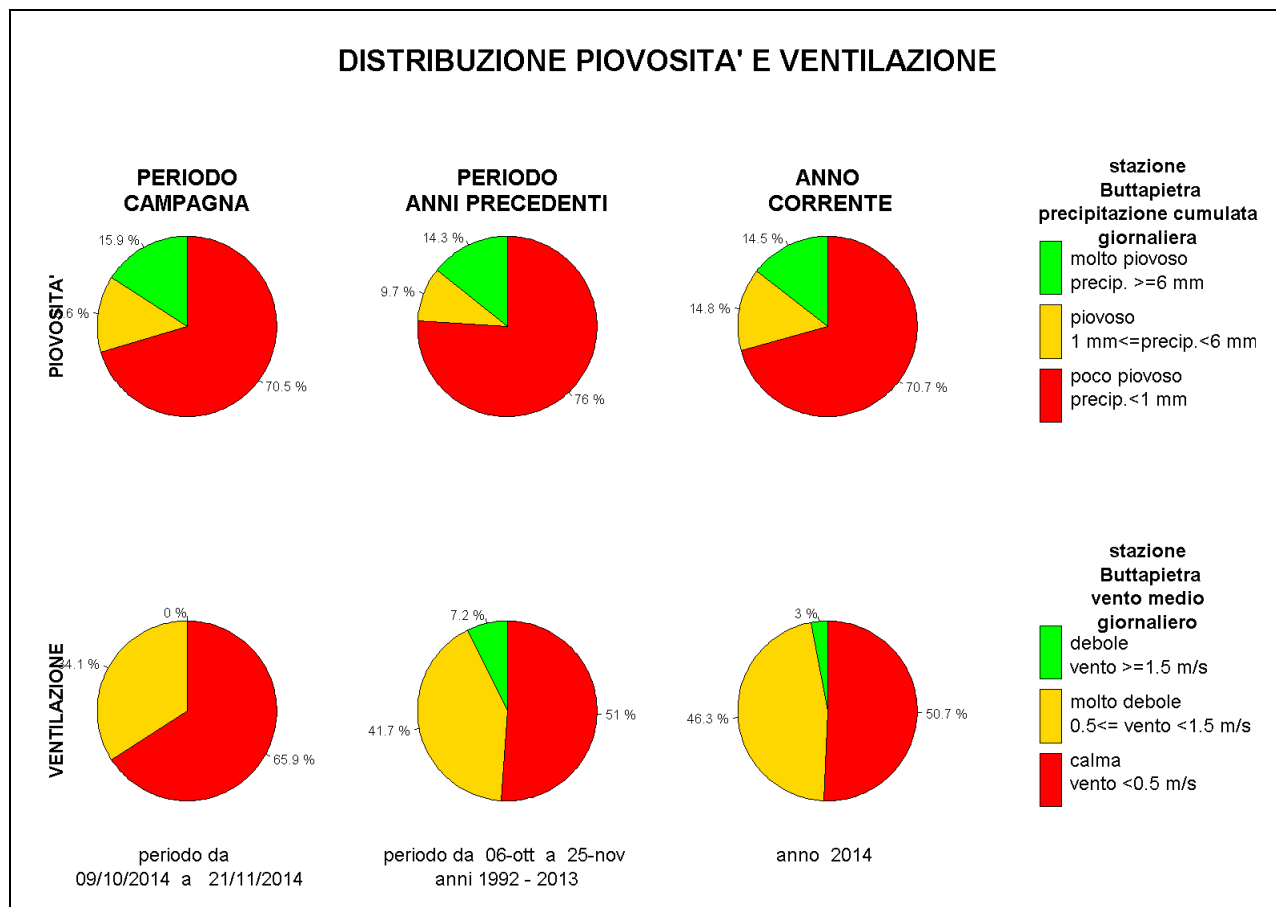


Figura 3. Campagna “PRE”. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente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

DISTRIBUZIONE PIOVOSITA' E VENTILAZIONE

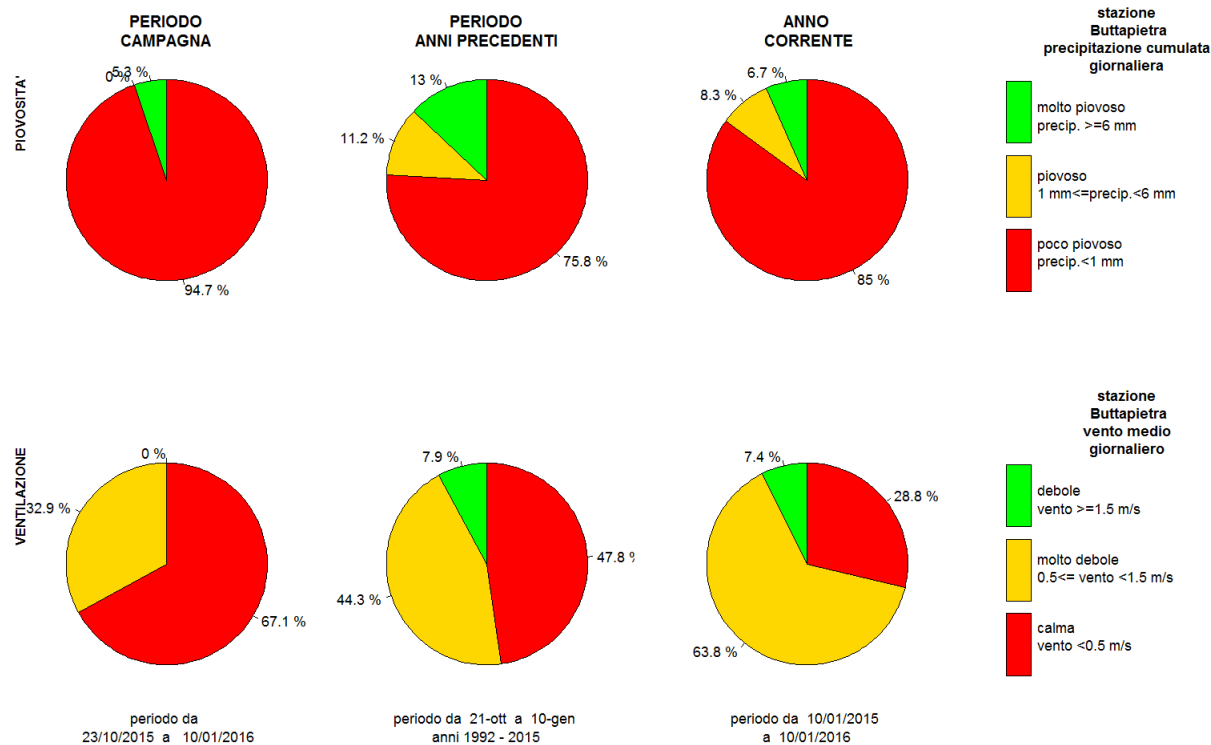


Figura 4. Campagna “POST”. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente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

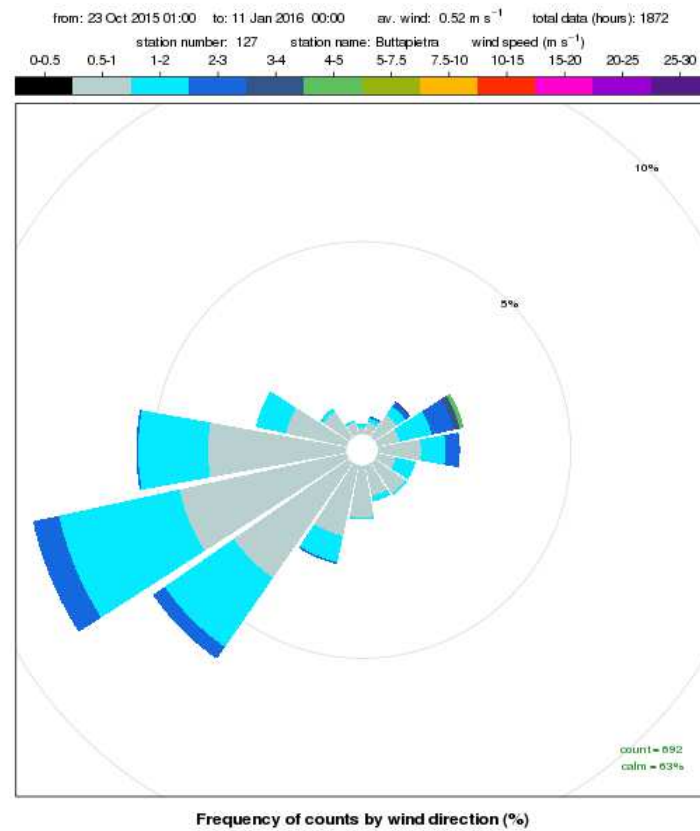
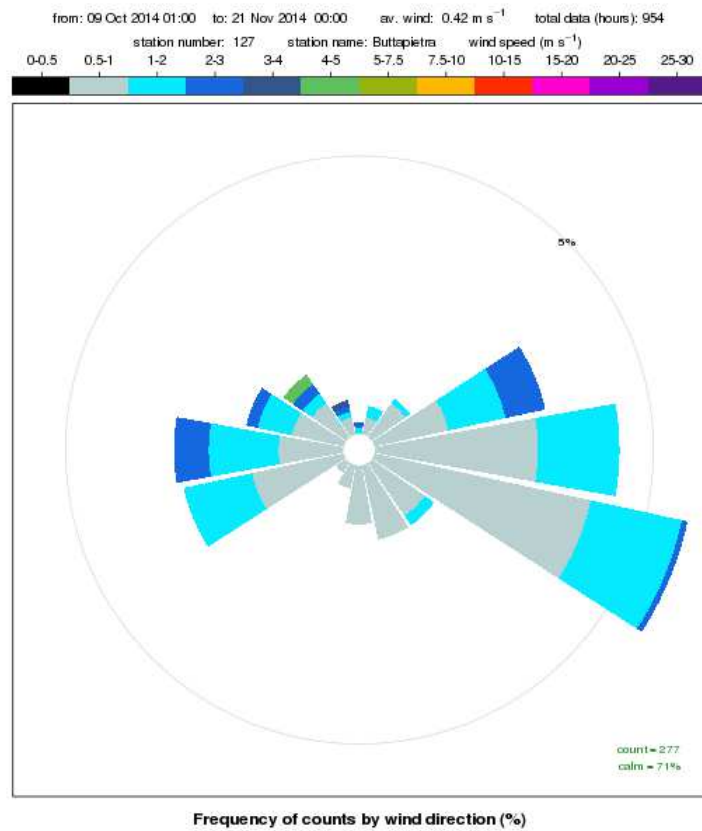


Figura 5. Rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Buttapietra nel periodo PRE (10 ottobre -20 novembre 2014) nel pannello a sinistra ed “POST” (23 ottobre 2015 – 10 gennaio 2016) nel pannello a destra.

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 (SO₂), biossido di azoto (NO₂), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O₃).

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 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_{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, relativi all'esposizione acuta della popolazione, e limiti di legge a mediazione di lungo periodo, relativi 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 µg/m ³
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	350 µg/m ³
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m ³
NO ₂	Soglia di allarme (*)	400 µg/m ³
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	200 µg/m ³
PM ₁₀	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	50 µg/m ³
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	10 mg/m ³
O ₃	Soglia di informazione (Media 1 h)	180 µg/m ³
	Soglia di allarme (Media 1 h)	240 µg/m ³
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni (altrimenti su 1 anno) Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m ³
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/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 Km², oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

Inquinante	Tipologia	Valore
NO ₂	Valore limite annuale	40 µg/m ³
PM10	Valore limite annuale	40 µg/m ³
PM _{2,5}	Valore limite annuale	25 µg/m ³
Piombo	Valore limite annuale	0.5 µg/m ³
Arsenico	Valore obiettivo (media su anno civile)	6.0 ng/m ³
Cadmio	Valore obiettivo (media su anno civile)	5.0 ng/m ³
Nichel	Valore obiettivo (media su anno civile)	20.0 ng/m ³
Benzene	Valore limite annuale	5.0 µg/m ³
B(a)pirene	Valore obiettivo (media su anno civile)	1.0 ng/m ³

Tabella 2. Limiti di legge relativi all'esposizione cronica.

Inquinante	Tipologia	Valore
SO ₂	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile e POST (01/10 – 31/03)	20 µg/m ³
NOX	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile	30 µg/m ³
O ₃	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio Da calcolare come media su 5 anni (altrimenti su 3 anni)	18000 µg/m ³ h
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	6000 µg/m ³ h

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

Inquinante	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 “post” (1ottobre-31marzo) e in quello pre (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’PRE (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.

Il numero di giorni dell'anno in cui è stato effettuato il campionamento e la resa di campionamento per i vari inquinanti sono riportati in Tabella 5. Si vede che il periodo di campionamento con dati validi è stato superiore al minimo richiesto.

	CO	NO ₂	NOx	SO ₂	PM10	Metalli	Benzo(a) pirene	Benzene
N giorni di campionamento	123	123	123	123	99	21	78	98
N <u>minimo</u> di giorni di campionamento	51	51	51	51	51	da 22 a 51	da 22 a 51	da 22 a 51
Resa di campionamento (%)	97	92	92	95	100	100	100	100
Resa di campionamento <u>minima</u> (%)	90	90	90	90	90	90	90	90

Tabella 5. Numero di giorni in cui è stata eseguita la misurazione dei vari inquinanti e resa di campionamento: valori relativi alle campagne di misura e valori minimi necessari.

7. 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 Cason e quella di Borgo Milano, del Comune di Verona. La prima è una stazione di fondo urbano, 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 al di fuori di essa. La centralina di Borgo Milano è una stazione di traffico urbano, 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.

In data 14 dicembre 2015, la stazione di VR-Cason è stata disattivata, e successivamente spostata in località VR-Giarol Grande, dove ha ripreso a funzionare il 19 dicembre 2015. Poiché entrambe le stazioni rappresentano una situazione di fondo urbano, per poter effettuare l'analisi e il confronto con i dati di Castel d'Azzano con un'unica serie temporale, i dati di NOx, SO₂, CO e O₃ di Giarol sono stati attribuiti a Cason.

Nelle tabelle riportate, sono stati calcolati vari parametri statistici, che consentono una descrizione sintetica ed esaustiva della concentrazione di inquinanti misurata a Castel d'Azzano. I parametri sono descritti in modo esteso in Tabella 6.

Per rappresentare graficamente i risultati delle analisi sono stati utilizzati anche dei grafici tipo box-whisker, che sono spiegati in dettaglio nella Figura 26 in Allegato.

Come spiegato al capitolo 1, la finalità dello studio è valutare l'impatto sulla qualità dell'aria del provvedimento di chiusura del traffico ai mezzi pesanti sul territorio comunale di Castel d'Azzano. Durante la campagna denominata "post" la fonte di pressione rappresentata dal traffico di mezzi pesanti su questa strada non è presente, diversamente da quanto accaduto durante la campagna di monitoraggio indicata con "pre".

Le due campagne di monitoraggio sono state svolte in anni diversi, anche se nello stesso periodo, tra ottobre e gennaio. Come evidenziato al capitolo 3, però, esse sono state caratterizzate da condizioni meteorologiche molto diverse. Per questo motivo, è fondamentale la valutazione dei dati della singola campagna in rapporto a quelli di una stazione fissa, in questo caso quella di VR-Borgo Milano. Un primo, semplice tentativo di eliminare dal "segnale" (serie temporale della concentrazione di un inquinante) la componente legata alla meteorologia è stato considerare non

la sola concentrazione di inquinante misurata a Castel d’Azzano, ma la sua “distanza” rispetto alla centralina di VR-Borgo Milano. Tale distanza è definita come la differenza tra la concentrazione media giornaliera di inquinante misurata a Castel d’Azzano e a Borgo Milano: su tale differenza è stato operato un confronto tra i due periodi di monitoraggio, in modo più approfondito al capitolo 8.

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 6, esplicitiva del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

7.1. Biossido di azoto (NO₂) – Ossidi di azoto (NO_x)

Come si può vedere in Tabella 7, 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/m³. Nello stesso periodo, anche nelle stazioni di riferimento di Cason e Borgo Milano non sono stati rilevati dei superamenti.

A causa delle condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti, durante la campagna “pre”, la concentrazione di NO₂ è stata inferiore a quella della campagna “post”, in cui le condizioni meteorologiche sono state invece critiche. Tuttavia, se si considera il riferimento di VR-Borgo Milano, si nota che la distanza da questa stazione, misurata come differenza tra concentrazioni medie giornaliere di NO₂, diminuisce nella campagna “post”. Anche i valori massimi di Castel d’Azzano sono superiori a quelli di Borgo Milano, ma la differenza tra le due postazioni, per questa variabile statistica, diminuisce nella campagna “post”. Tutti i valori relativi a queste due postazioni di traffico sono superiori rispetto a quelli di VR-Cason, che è stazione di fondo urbano.

Nella Figura 7, è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO₂, calcolato per i due periodi di campagna. Presso le stazioni di traffico di Castel d’Azzano e VR-Borgo Milano, in entrambe le stagioni sono evidenti due picchi, al mattino e alla sera, in corrispondenza delle ore di maggiore traffico. Mentre durante la notte, in entrambi i periodi di monitoraggio, i valori medi di concentrazione di NO₂ rimangono più elevati a Castel d’Azzano, nelle ore diurne della campagna “post” i valori medi di VR-Borgo Milano sono superiori.

Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportate in Figura 8. L’andamento nelle tre postazioni considerate è molto simile, ma i valori di Castel d’Azzano sono superiori a quelli di VR-Borgo Milano nella campagna “pre”, mentre nella campagna “post” coincidono con quelli della stazione di traffico di riferimento.

Applicando lo stesso tipo di analisi agli NO_x (Figure 9 e 10) e agli NO (Figure 11 e 12), la diminuzione della “distanza” della concentrazione di inquinanti a Castel d’Azzano rispetto a VR-Borgo Milano nella campagna “post” è visibile a tutte le ore del giorno, e non solamente la notte.

Analizzando il rapporto NO/NO_x (Figure 13 e 14) si nota una sua diminuzione nella campagna “post”, che indica una diminuzione della componente primaria degli NO_x, legata direttamente alle emissioni.

Anche prendendo come riferimento la stazione di VR-Cason, anziché quella di VR-Borgo Milano, e valutando la “distanza” da essa dei valori di NO_x di Castel d’Azzano, si traggono le stesse conclusioni, appare cioè evidente una diminuzione della distanza dalla stazione di riferimento.

Riassumendo, i valori medi degli ossidi di azoto, che sono gli inquinanti più caratteristici di una stazione di traffico, sono stati superiori nella campagna “post” rispetto alla campagna “pre”, a causa delle condizioni meteorologiche critiche, in tutte le postazioni di misura considerate. Tuttavia è evidente che mentre nella campagna “pre” essi sono superiori a Castel d’Azzano rispetto alle stazioni di riferimento di VR-Borgo Milano e VR-Cason, nella campagna “post” risultano uguali o inferiori a quelli delle stazioni di riferimento. Un’analisi della significatività di tale diminuzione della “distanza” tra i valori di Castel d’Azzano e quelli delle stazioni di riferimento è riportata al capitolo 8.

NO ₂ (µg/m ³)	PRE				POST			
	Castel d’Azzano	Borgo Milano	Cason	Differenza Castel d’Azzano – Borgo Milano	Castel d’Azzano	Borgo Milano	Cason	Differenza Castel d’Azzano – Borgo Milano
media	36	32	20	5	45	45	34	0
sd	18	15	13	7	16	17	14	7
min	5	≤4	≤4	-10	6	10	≤4	-20
max	113	91	68	21	126	118	105	15
mediana	34	30	19	5	44	43	32	2
N	1030	1030	1030	44	1968	1968	1968	78
dati mancanti	45	45	86		178	91	195	
data.capture	96	96	92		91	95	90	
max giornaliero	60	51	37		77	73	56	
95°percentile	71	62	41		76	76	58	
99°percentile	88	74	50	50	91	90	69	
N superamenti 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0
N superamenti 400 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 7. Concentrazione di NO₂: 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. I parametri statistici per le tre località sono calcolati a partire dalle medie orarie, quelli relativi alla differenza tra Castel d’Azzano e Borgo Milano, invece, a partire dalle medie giornaliere. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m³.

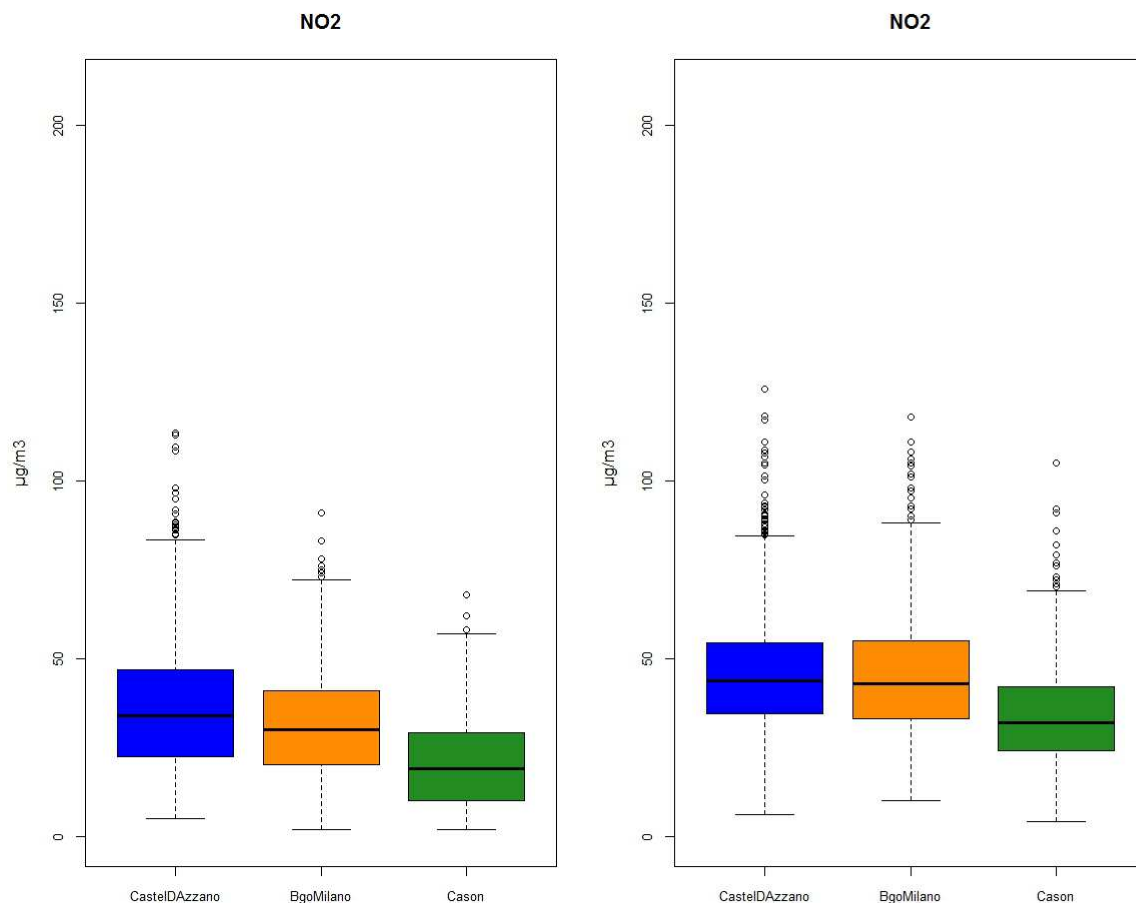


Figura 6. Box-plot della concentrazione di NO₂. Dati relativi a Castel d’Azzano e alle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason. Campagna “PRE” a sinistra, campagna “POST” a destra.

NOx (µg/m ³)	PRE				POST			
	Castel d’Azzano	Borgo Milano	Cason	Castel d’Azzano – Borgo Milano	Castel d’Azzano	Borgo Milano	Cason	Castel d’Azzano – Borgo Milano
media	101	71	35	33	119	149	109	-30
sd	98	51	36	55	101	103	83	59
min	6	9	2	-23	7	11	4	-259
max	806	323	363	280	891	744	597	110
mediana	68	57	24	18	87	118	85	-14
N	1030	1030	1030	44	1968	1968	1968	78
dati mancanti	45	45	86		178	91	195	
data.capture	96	96	92		91	95	90	
max giornaliero	401	162	88		405	350	326	
95°percentile	294	175	106		317	350	272	
99°percentile	463	253	161		505	485	414	

Tabella 8. 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/m³.

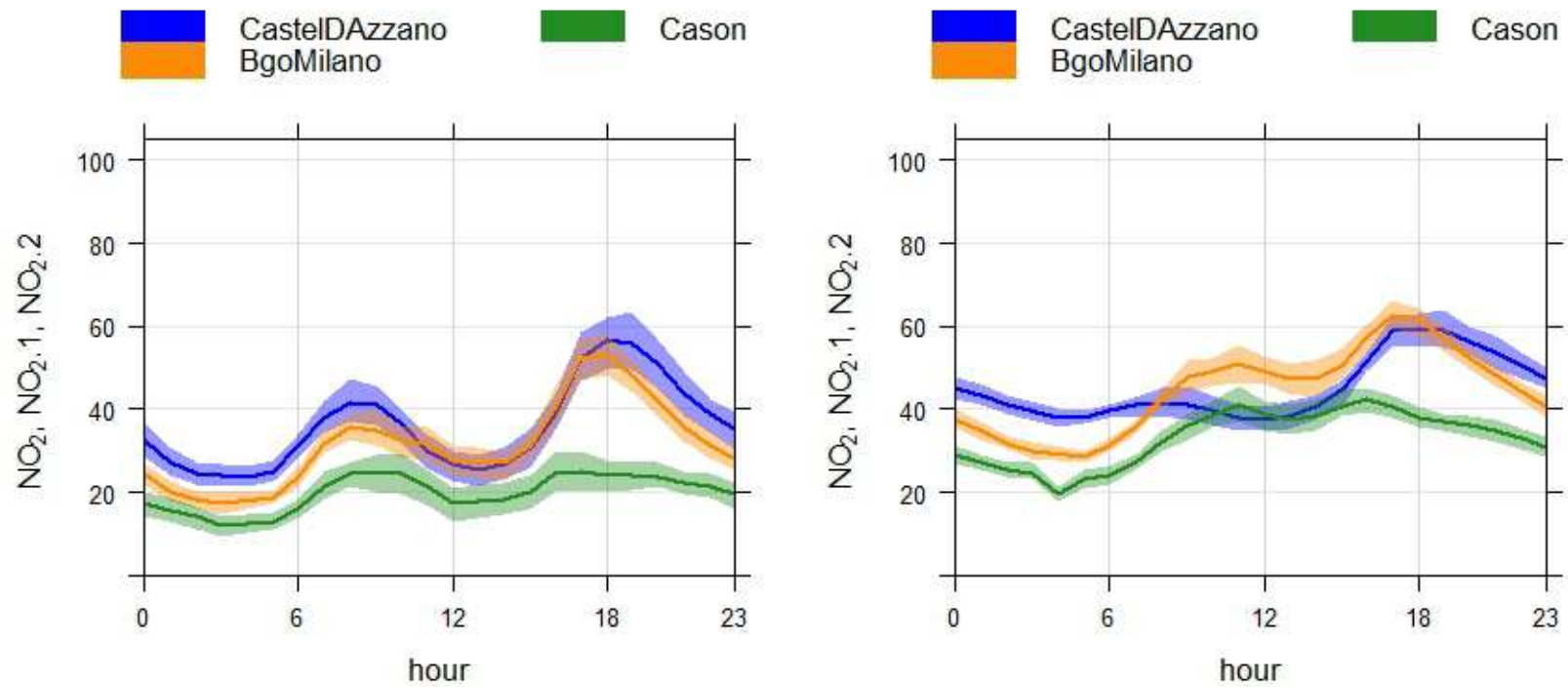


Figura 7. Giorno-tipo di NO₂ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra.

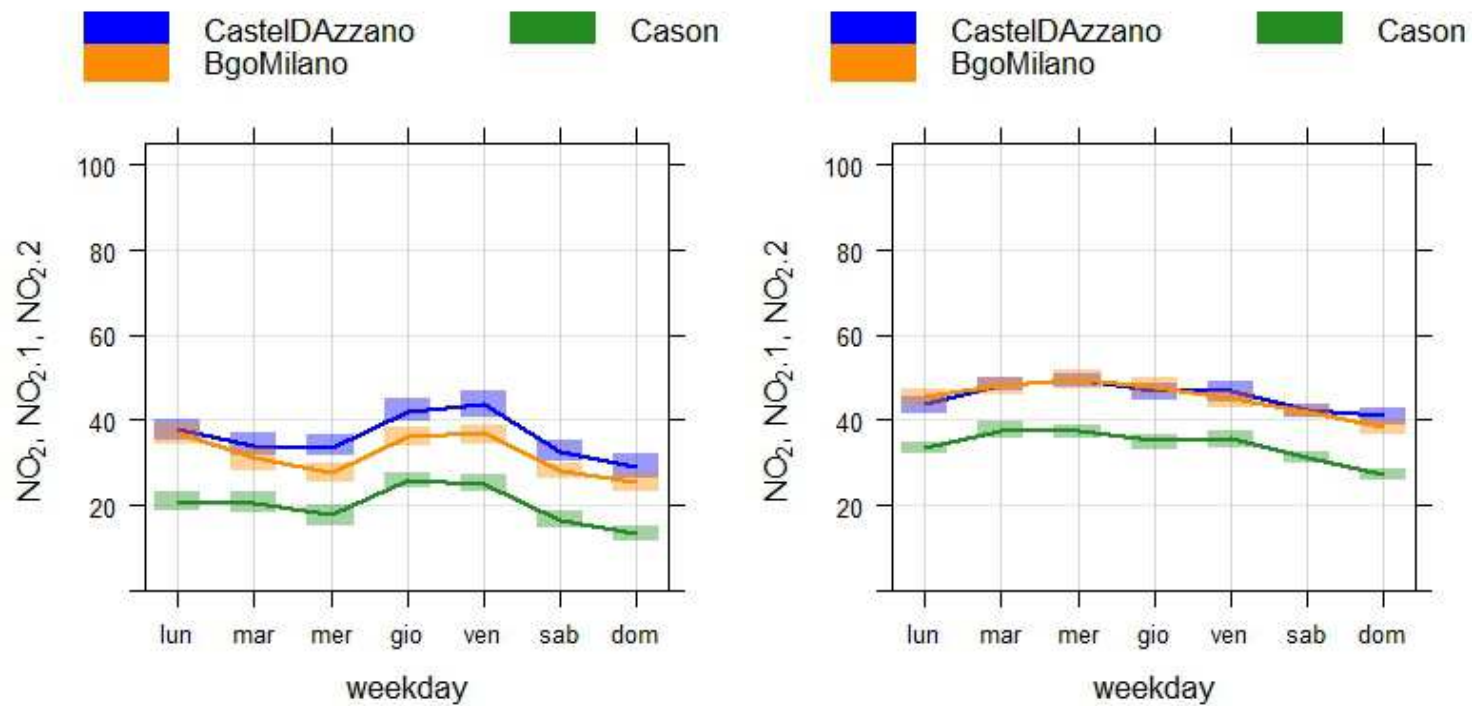


Figura 8. Settimana-tipo di NO₂ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra.

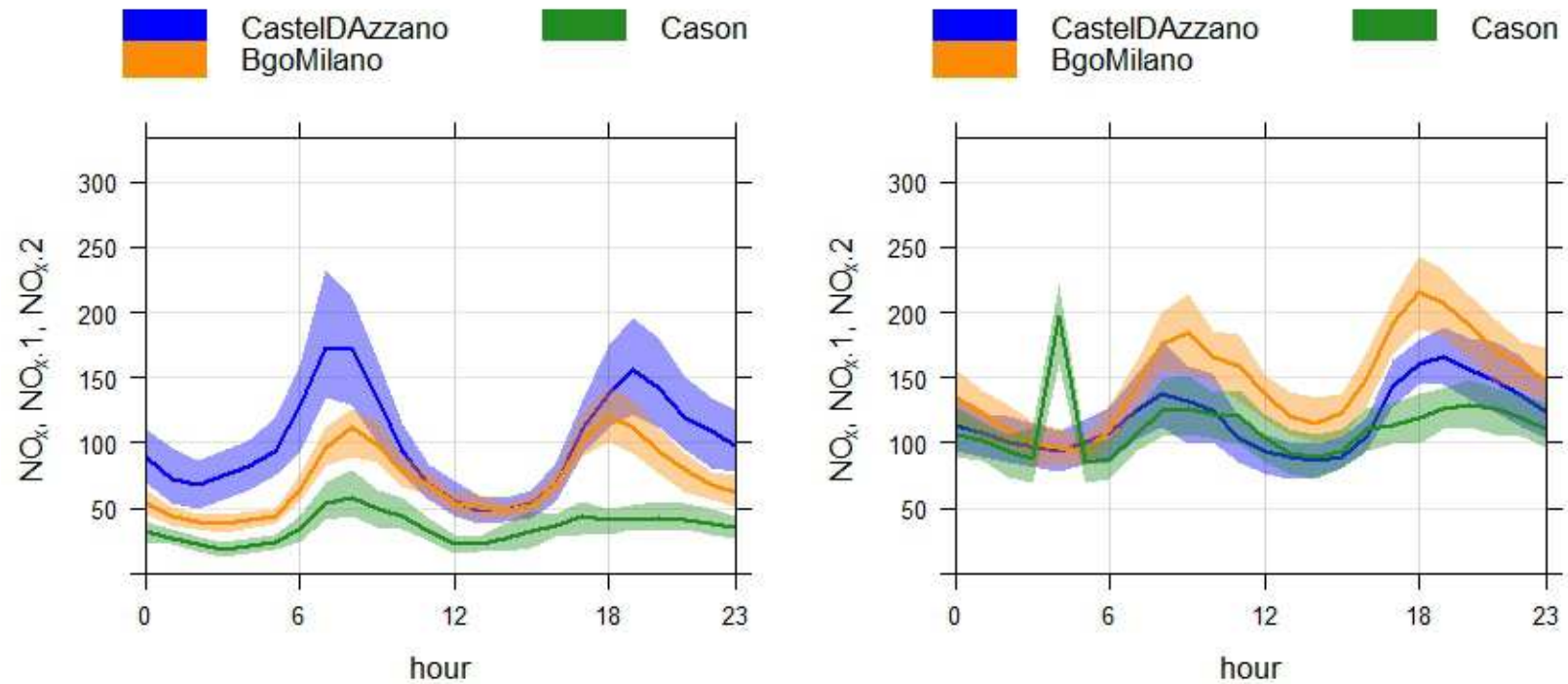


Figura 9. Giorno-tipo di NO_x (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra. Il valore elevato relativo a VR-Cason alle ore 4 nella campagna "post" è causato da una serie di tarature dello strumento di misura avvenute a quell'ora.

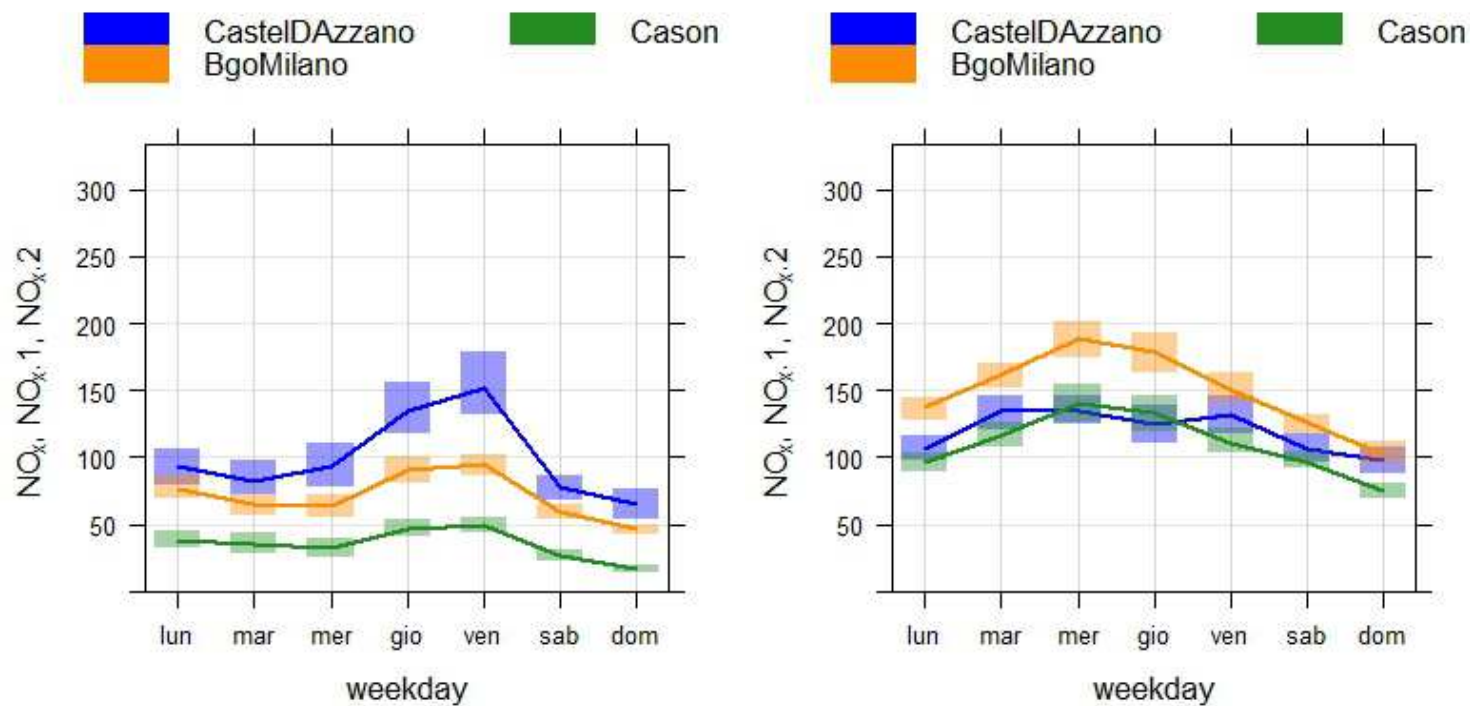


Figura 10. Settimana-tipo di NO_x (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra.

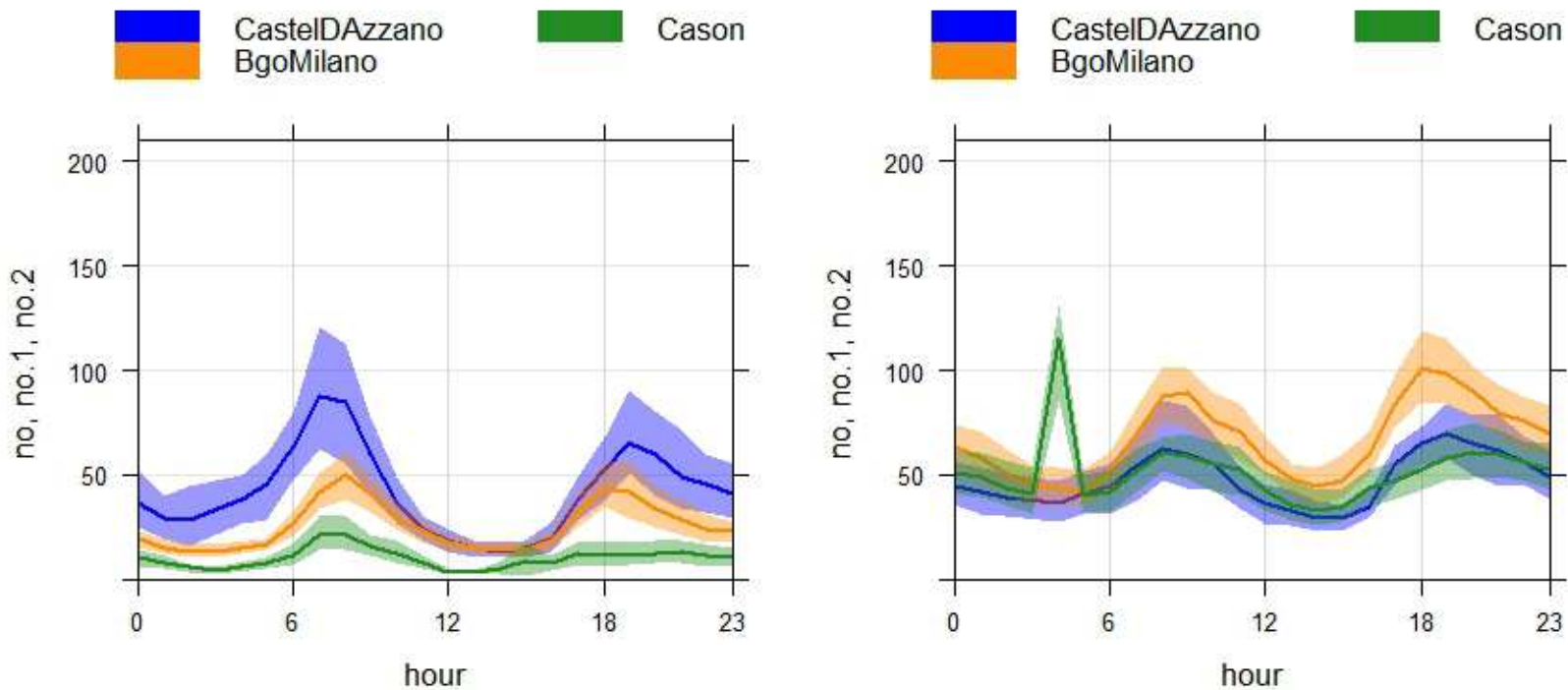


Figura 11. Giorno-tipo di NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra. Il valore elevato relativo a VR-Cason alle ore 4 nella campagna "post" è causato da una serie di tarature dello strumento di misura avvenute a quell'ora.

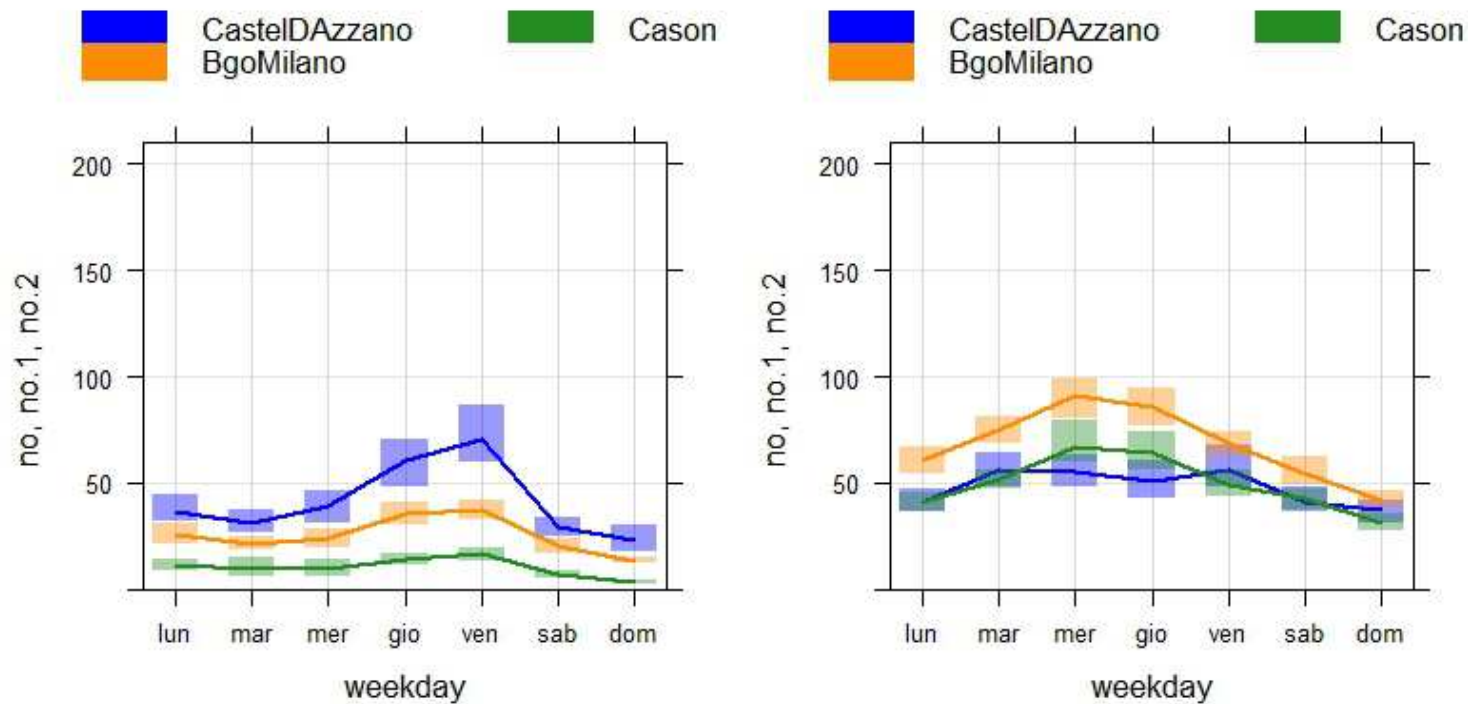


Figura 12. Settimana-tipo di NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra.

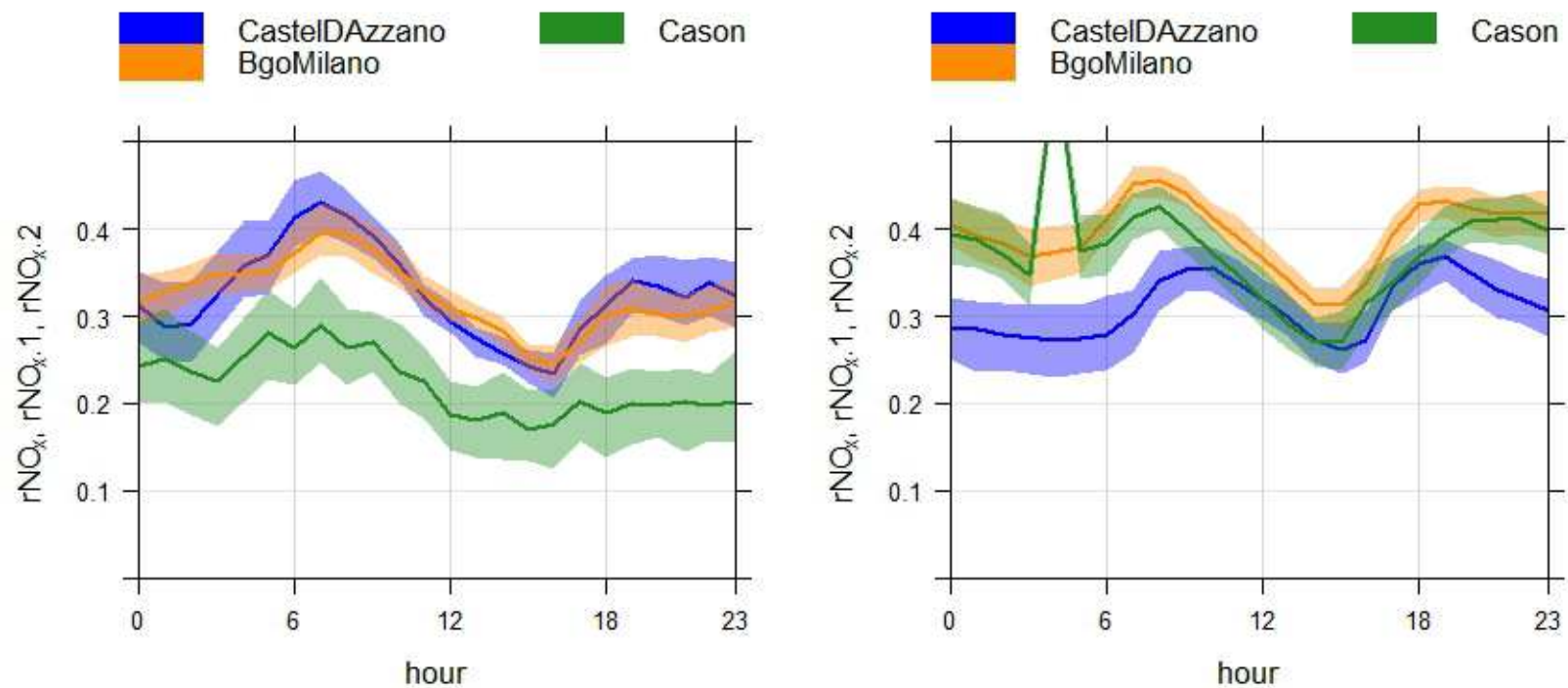


Figura 13. Giorno-tipo di NO/NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra. Il valore elevato relativo a VR-Cason alle ore 4 nella campagna "post" è causato da una serie di tarature dello strumento di misura avvenute a quell'ora.

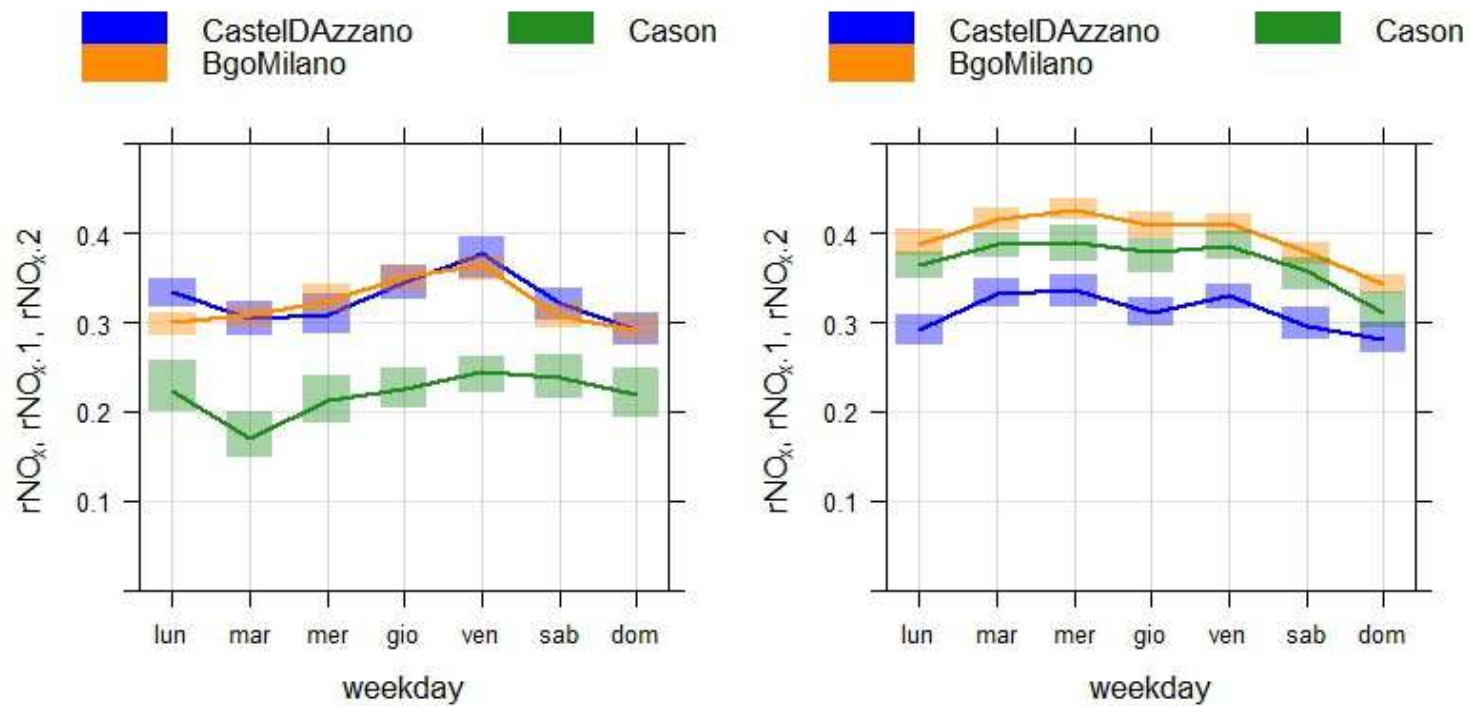


Figura 14. Settimana-tipo di NO/NO_x (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra.

7.1. Monossido di carbonio (CO)

La Tabella 9 e il Grafico 1 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/m³ (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 campagne, i valori medi sono stati vicini al limite di rivelabilità dello strumento, pari a 0,1 µg/m³. I valori misurati a Castel d’Azzano sono mediamente inferiori a quelli di Borgo Milano, e la differenza è maggiore dopo l’attuazione del provvedimento di blocco ai mezzi pesanti (campagna “post”). I valori massimi misurati nelle due località sono invece uguali.

CO (mg/m ³)	PRE			POST		
	Castel d’Azzano	Bgo Milano	Differenza Castel d’Azzano – Borgo Milano	Castel d’Azzano	Bgo Milano	Differenza Castel d’Azzano – Borgo Milano
media	0.2	0.4	-0.2	0.3	0.8	-0.5
sd	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
min	≤0.1	≤0.1	-0.4	≤0.1	0.2	-1.0
max	1.3	1.3	0.2	2	2	-0.2
mediana	≤0.1	0.4	-0.2	0.3	0.7	-0.4
N	1030	1030		1968	1968	
dati mancanti	1	45		88	91	
data.capture	100	96		96	95	
max giornaliero	0.9	0.7		0.9	1.3	
max.rolling.8	1.1	1		1.5	1.8	
95°percentile	0.7	0.9		0.8	1.5	
99°percentile	1.1	1.1		1.2	1.7	
N superamenti 10 mg/m ³	0	0		0	0	

Tabella 9. Concentrazione di CO: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura a Castel d’Azzano e confronto con la centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano nello stesso periodo. I parametri statistici per le due località sono calcolati a partire dalle medie orarie, quelli relativi alla differenza, invece, a partire dalle medie giornaliere. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m³.

7.2. Biossido di zolfo (SO₂)

Le principali emissioni di SO₂ 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/m³ (Tabella 10 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/m³), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 µg/m³). Anche presso la centralina di riferimento di Borgo Milano, i valori medi di concentrazione di questo inquinante sono inferiori al limite di rivelabilità. Per quanto riguarda invece i valori massimi, essi sono superiori a quelli di VR-Borgo Milano. La differenza tra Castel d'Azzano e Borgo Milano è più bassa nella campagna "post".

SO ₂ (µg/m ³)	PRE			POST		
	Castel d'Azzano	Borgo Milano	Differenza: Castel d'Azzano – Borgo Milano	Castel d'Azzano	Borgo Milano	Differenza: Castel d'Azzano – Borgo Milano
media	≤3	≤3	1	≤3	≤3	0
sd	2	1	2	1	1	1
min	≤3	≤3	-5	≤3	≤3	-4
max	15	9	8	9	8	3
mediana	≤3	≤3	1	≤3	≤3	0
N	1030	1030	44	1968	1968	77
dati mancanti	9	45		127	96	
data.capture	99	96		94	95	
max giornaliero	9	8		5	6	
95°percentile	7	4		4	4	
99°percentile	10	9		7	7	
N superamenti 350 µg/m ³	0	0		0	0	
N superamenti 125 µg/m ³	0	0		0	0	

Tabella 10. Concentrazione di SO₂: 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/m³.

7.3. Ozono (O₃)

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 (Figura 18).

Le due campagne analizzate sono state svolte in periodo autunnale-invernale, quindi con condizioni meteorologiche non critiche per l'ozono. Infatti, non sono avvenuti superamenti dei limiti normativi. I valori medi e massimi a Castel d'Azzano sono confrontabili con quelli di VR-Cason, leggermente inferiori: questo è compatibile con una maggior concentrazione di ossidi di azoto a Castel d'Azzano: infatti, questo inquinante reagisce con l'ozono, rimuovendolo dall'atmosfera. Lo stesso fenomeno può spiegare il fatto che le concentrazioni siano mediamente più elevate nella campagna "pre" rispetto alla campagna "post".

O ₃ (µg/m ³)	PRE		POST		PRE + POST	
	Campagna	Cason	Campagna	Cason	Campagna	Cason
media	20	24	9	11	13	15
sd	20	21	12	13		
min	≤4	5	≤4	≤4	≤4	≤4
max	85	102	78	83	85	102
mediana	11	13	≤4	6		
N	1030	1030	1968	1968	2998	2998
dati mancanti	38	52	115	204	153	256
data.capture	96	95	94	90	95	91
max giornaliero	49	59	31	31	49	59
max.rolling.8	70	71	57	70		
95°percentile	58	65	36	44		
99°percentile	72	75	54	67		
N superamenti 120 µg/m ³ sulla media mobile di 8h	0	0	0	0	0	0
N superamenti 180 µg/m ³	0	0	0	0	0	0
N superamenti 240 µg/m ³	0	0	0	0	0	0

Tabella 11. Concentrazione di O₃: 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/m³.

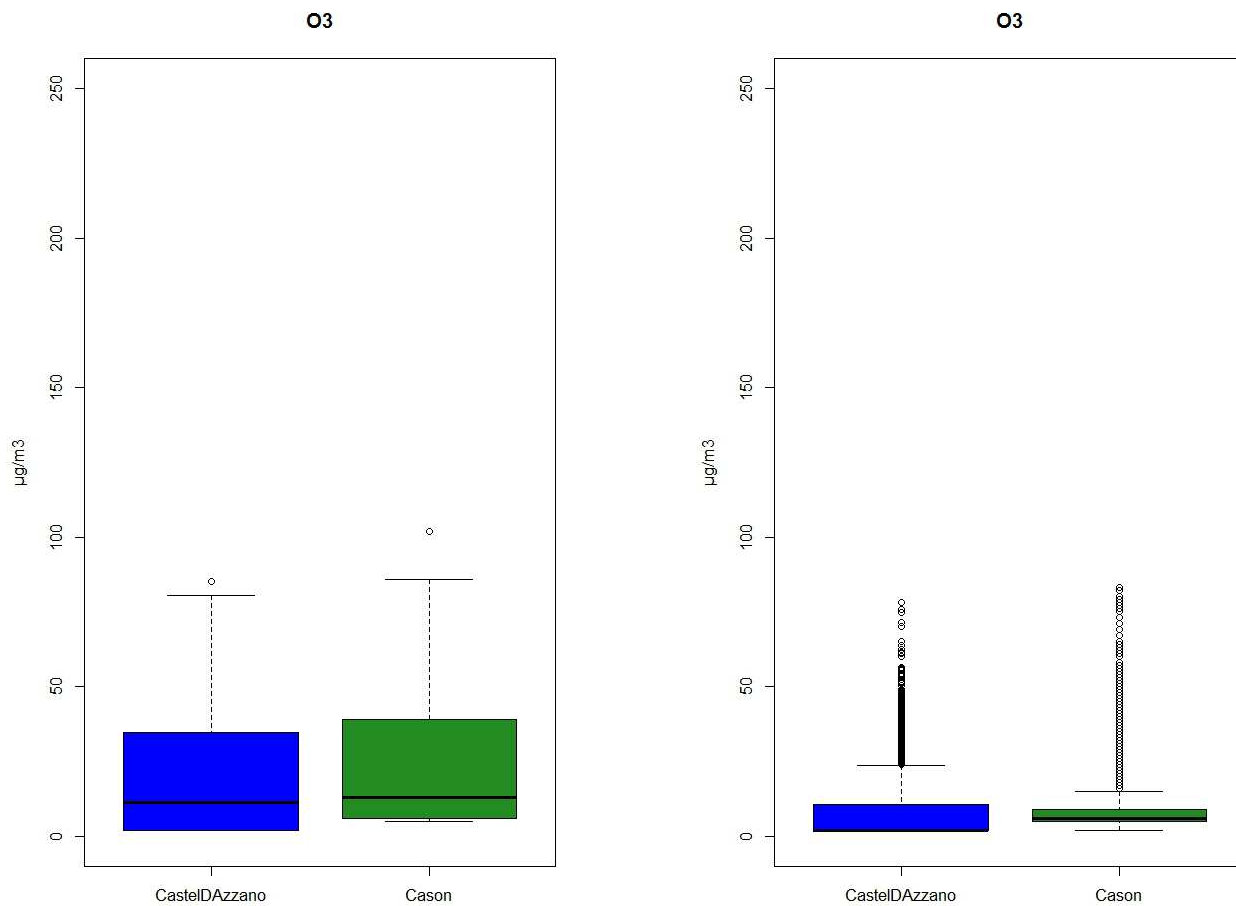


Figura 17. Box-plot della concentrazione di O₃. Dati relativi a Castel d’Azzano e alla centralina di riferimento di Cason. Campagna “pre” a sinistra, “post” a destra.

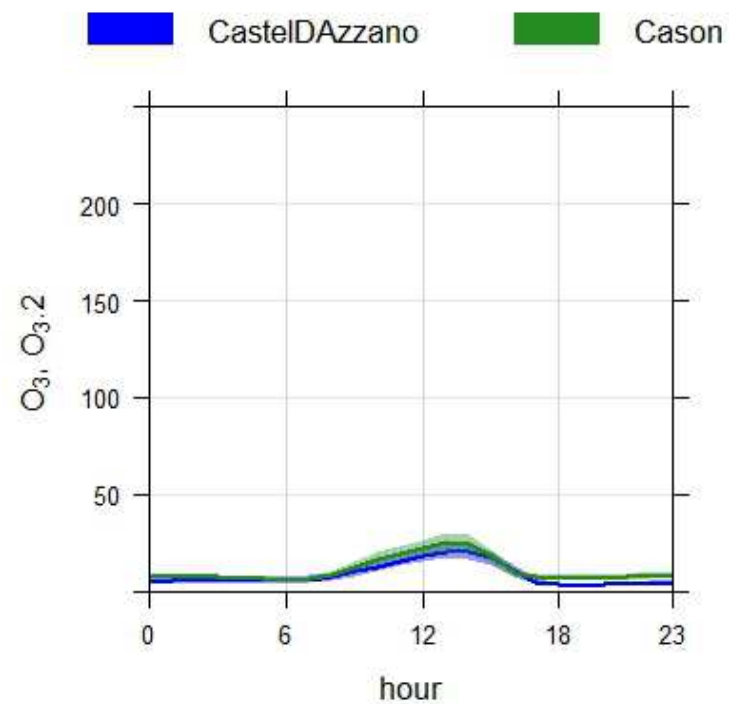
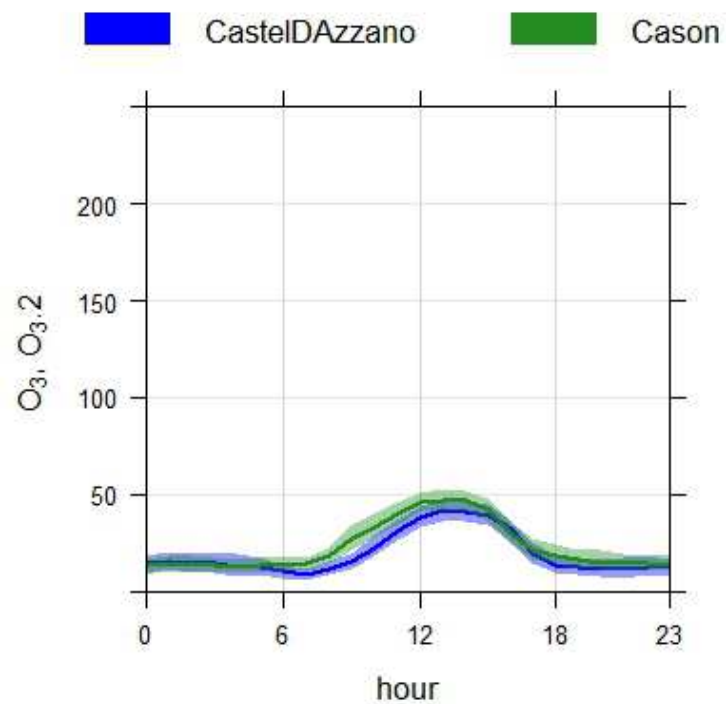


Figura 18. Giorno tipo O₃ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna "PRE" a sinistra, campagna "POST" a destra.

7.4. Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

In Tabella 2, sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM10, misurate con metodo gravimetrico a Castel d’Azzano durante le campagne di misura. I valori medi e massimi di concentrazione di polveri sottili, come anche il numero di superamenti del limite normativo, sono più elevati nella campagna “post” rispetto alla campagna “pre”. Questo è dovuto alle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato la seconda campagna di monitoraggio, quando si sono verificati lunghi periodi di alta pressione e inversioni termiche al suolo, che hanno inibito la dispersione degli inquinanti.

In Tabella 3, i dati relativi a Castel d’Azzano 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 Castel d’Azzano 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 3, 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 19. I valori medi e massimi di PM10 sono più elevati durante la campagna “post” rispetto alla “pre” anche presso le centraline di riferimento. I valori medi di Castel d’Azzano sono più elevati di quelli delle due centraline di riferimento nella campagna “pre”; sono ancora superiori a VR-Borgo Milano nella campagna “post”, ma di poco inferiori a VR-Cason. La media della differenza rispetto a Borgo Milano rimane la stessa nei due periodi di monitoraggio; quella della differenza rispetto a VR-Cason, invece, diminuisce.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PRE	POST
media	38	59
N	39	60
sd	21	19
max	84	112
min	12	20
N superamenti 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	40

Tabella 12. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), misurata con metodo gravimetrico a Castel d’Azzano. Sono stati utilizzati tutti i dati raccolti nei due periodi di campagna di misura.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PRE			POST		
	Castel d’Azzano	Borgo Milano	Cason	Castel d’Azzano	Borgo Milano	Cason
media	39	29	33	56	46	57
N	35	35	35	56	56	56
sd	21	17	19	16	15	22
max	84	62	76	108	87	107
min	12	7	2	20	13	20
N superamenti 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	7	7	36	24	34

Tabella 13. 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. Il limite di rivelabilità dello strumento è 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

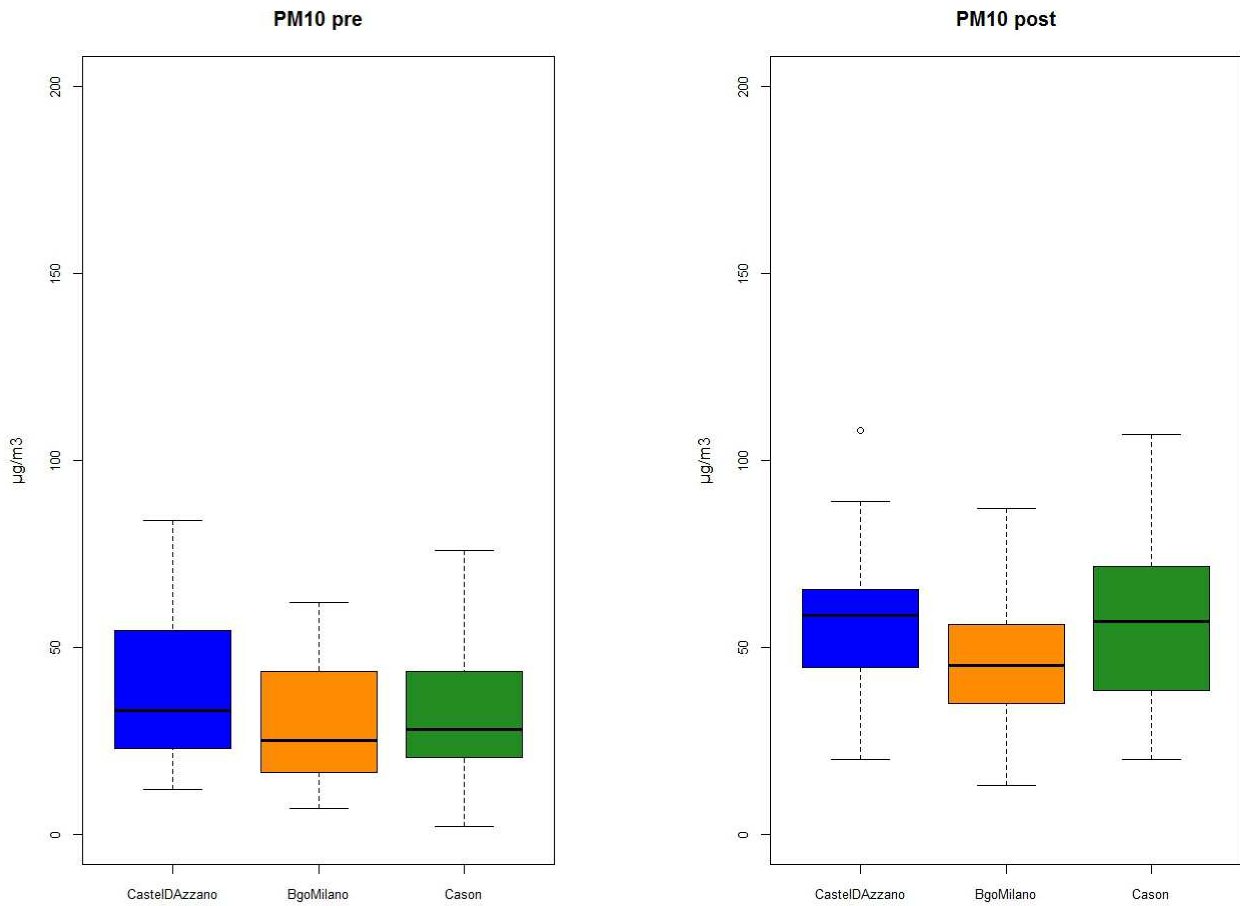


Figura 19. Box-plot della concentrazione di PM₁₀. Dati relativi a Castel d’Azzano e alle centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason. Campagna “PRE” a sinistra, campagna “POST” a destra.

7.5. Benzene (C₆H₆)

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**⁴ sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene misurata con campionatori passivi nei due periodi di campagna a Castel d'Azzano 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 giorni, e i periodi di esposizione dei radielli delle tre postazioni non coincidono esattamente. I dati utilizzati per elaborare le statistiche in tabella sono rappresentati graficamente in Grafico 7 in Allegato. In Tabella 14, si può vedere che i valori medi delle concentrazioni di benzene sono vicini alla soglia di rivelabilità strumentale (0.5 µg/m³) in tutte le postazioni. I valori relativi alla campagna di monitoraggio "post" sono superiori a quelli della campagna "pre", a causa delle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato i periodi di monitoraggio, come evidenziato per gli inquinanti analizzati ai capitoli precedenti.

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**⁵ 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. I valori misurati appaiono di poco inferiori a quelli di VR-Borgo Milano.

benzene (µg/m ³)	PRE			POST		
	Castel d'Azzano	Borgo Milano	Cason	Castel d'Azzano	Borgo Milano	Cason
Media	≤0.5	1.1	0.6	1.2	2.2	≤0.5
N giorni	43	33	33	55	63	31
sd	0.2	0.6	0.5	1.3	1.7	0.4
max	0.7	1.5	1	3.1	3.9	0.8
min	≤0.5	0.6	≤0.5	≤0.5	0.6	≤0.5

Tabella 14. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene: dati della campagna di misura di Castel d'Azzano, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo 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/m³.

(µg/m ³)	PRE					POST				
	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	N	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	N
Castel d'Azzano	≤0.5	≤0.5	2.9	2.3	43	1.2	0.6	4.7	2.3	55
Borgo Milano	1.1	0.7	4.1	3.6	33	2.2	1.1	7.3	5	63
Cason	0.6	≤0.5	3	2.5	33	≤0.5	≤0.5	2.8	1.8	31

Tabella 15. 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/m³. N indica il numero di giorni di esposizione.

7.6. Benzo(a)pirene e IPA

In Tabella 6 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzo(a)pirene per le due postazioni di Castel d’Azzano 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 7, gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando tutti i dati disponibili per Castel d’Azzano, per tutte le specie di IPA misurate. Tutti i dati sono visibili nella serie temporale rappresentata nel Grafico 8 in Allegato. I grafici e le tabelle evidenziano innanzitutto concentrazioni più elevate nella campagna “post” rispetto alla “pre”, in entrambe le postazioni, in accordo con le analisi degli inquinanti analizzati in precedenza. Le serie temporali del Grafico 8 in allegato mostrano che la concentrazione media giornaliera rimane sempre piuttosto bassa, ad eccezione di sporadici picchi nella campagna “post”, con valori considerevoli, se paragonati al limite normativo di 1 ng/m³, che però si riferisce a una media annuale. Il valori medi e massimi di Castel d’Azzano sono inferiori a quelli misurati a VR-Cason.

Benzoapirene (ng/m ³)	PRE		POST	
	Castel d’Azzano	Cason	Castel d’Azzano	Cason
media	0.86	1.03	1.73	2.60
N	9	9	18	18
sd	0.79	0.99	0.73	1.16
max	1.97	2.32	3.14	4.65
min	0.06	0.13	0.76	1.59

Tabella 16. Concentrazione di Benzoapirene: dati della campagna di misura a Castel d’Azzano 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/m³.

(ng/m ³)	PRE					POST				
	N	media	sd	max	min	N	media	sd	max	min
Benzo(a)antracene	28	0.42	0.49	1.27	0.05	50	1.88	1.73	6.86	0.42
Benzo(a)pirene	28	0.64	0.74	1.97	0.06	50	2.34	1.84	8.01	0.76
Benzo(b)fluorantene	28	0.56	0.59	1.62	0.09	50	1.77	1.32	5.62	0.59
Benzo(ghi)perilene	28	0.62	0.68	1.82	0.06	50	1.84	1.36	5.87	0.68
Benzokfluorantene	28	0.32	0.35	0.95	0.04	50	1.04	0.78	3.33	0.35
Dibenzo(ah)antracene	28	0.04	0.05	0.13	≤0.02	50	0.15	0.08	0.4	0.07
Indeno(123cd)pirene	28	0.45	0.53	1.39	≤0.02	50	2.05	1.11	4.88	0.76

Tabella 17. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di diverse specie di IPA, misurata a Castel d’Azzano, calcolati utilizzando tutti i dati di campagna disponibili. Il limite di rivelabilità strumentale è 0.02 ng/m³.

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

In Tabella 18 sono riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di metalli misurata a Castel d'Azzano. I valori medi sono 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 Cadmio, Nichel e Arsenico, mentre il Piombo presenta valori tipici di aree urbane.

Per completezza si riportano in Tabella 19 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 valori medi di concentrazione di tutti i metalli a Castel d'Azzano sono molto vicini a quelli di VR-Cason.

Metallo	media	N	max	min	media	N	max	min	Limite rivelabilità (ng/m ³)	Limite esposizione cronica
ng/m ³										
As	0.5	11	0.5	0.5	1.1	10	1.6	0.5	1	6.0
Cd	0.1	11	0.2	0.1	0.4	10	0.5	0.2	0.2	5.0
Ni	1.5	11	3	1	3.8	10	4.1	3.6	2	20.0
Pb	5.5	11	8.5	2.6	13.3	10	22.5	8	1	500.0

Tabella 18. Valori medi di concentrazione dei metalli. Nei calcoli sono stati utilizzati tutti i dati di campagna disponibili.

Metallo		PRE		POST	
		Castel d'Azzano (ng/m ³)	Cason (ng/m ³)	Castel d'Azzano (ng/m ³)	Cason (ng/m ³)
Arsenico	n° dati	4	4	6	6
LDR:1 ng/m ³	media	≤1	0.7	1.1	≤1
	min	≤1	≤1	≤1	≤1
	max	≤1	1.2	1.6	1.4
Cadmio	n° dati	4	4	6	6
LDR:0.2 ng/m ³	media	≤0.2	≤0.2	0.4	0.4
	min	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
	max	≤0.2	0.3	0.5	0.5
Nichel	n° dati	4	4	6	6
LDR:2 ng/m ³	media	≤2	≤2	3.9	≤2
	min	≤2	≤2	3.6	≤2
	max	3	3.8	4.1	2.6
Piombo	n° dati	4	4	6	6
LDR:1 ng/m ³	media	5.5	6.1	13.7	11.4
	min	2.6	4.5	8	7.6
	max	8.5	10.8	22.5	15.2

Tabella 19. Valori medi delle concentrazioni di metalli misurate durante le campagne di misura a Castel d'Azzano e presso la stazione background urbano di Cason, nei periodi corrispondenti a quelli delle campagne di misura a Castel d'Azzano. 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.

8. Analisi statistica

Al capitolo 7 sono stati analizzati i dati degli inquinanti monitorati nelle due campagne di misura. È stato evidenziato come i valori di concentrazione di tutti gli inquinanti siano stati sensibilmente più elevati durante la campagna di monitoraggio “post”, sia a Castel d’Azzano sia nelle stazioni di riferimento di VR-Borgo Milano e VR-Cason, a causa delle condizioni meteorologiche particolarmente critiche e sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

D’altra parte, è stato osservato come, per gli ossidi di azoto (NO_x), il monossido di carbonio (CO) e il biossido di zolfo (SO₂), durante la campagna “pre” i valori di concentrazione a Castel d’Azzano sono superiori a quelli di VR-Borgo Milano, mentre nella campagna “post” accade il contrario. La stessa cosa si verifica utilizzando come centralina di riferimento VR-Cason: in tal caso una diminuzione della differenza tra Castel d’Azzano e VR-Cason si osserva anche nelle polveri sottili. L’analisi della differenza tra la concentrazione misurata a Castel d’Azzano e quella di una stazione di misura di riferimento (VR-Borgo Milano o VR-Cason) rappresenta un primo grossolano tentativo di eliminare la componente del segnale dovuta alla meteorologia. Nel capitolo 7, i dati indicati come “VR-Cason” sono costituiti dalla serie temporale dei dati rilevati a VR-Cason fino al 13 dicembre 2015, unita alla serie dei dati rilevati a VR-Giarol successivamente a tale data, che corrisponde allo spostamento della centralina: la serie così costruita è rappresentativa di una situazione di fondo urbano. In questo capitolo, invece, per la campagna “post”, saranno usati solo i dati relativi alla prima parte della campagna, fino al 13 dicembre 2015, in modo da eliminare la variabilità legata allo spostamento della centralina di riferimento di fondo, nelle analisi svolte. I dati successivi a tale data, relativi a tutte le postazioni di misura considerate, vengono quindi scartati.

In questo capitolo sarà eseguita un’analisi statistica per valutare se la differenza tra la concentrazione di NO_x misurata a Castel d’Azzano e quella di VR-Borgo Milano sia significativamente variata nella seconda campagna. In tal caso ci sarebbe un’indicazione di una diminuzione della concentrazione di questi inquinanti, in seguito al provvedimento di limitazione del traffico ai mezzi pesanti nel comune di Castel d’Azzano. Le elaborazioni saranno ripetute prendendo come riferimento i dati di VR-Cason, includendo anche le polveri sottili: un risultato positivo dell’analisi con più di una centralina di riferimento ne aumenta la robustezza e l’affidabilità. Sono stati considerati i soli ossidi di azoto e le polveri sottili, in quanto i valori medi di CO e SO₂ sono molto bassi, vicini alla soglia di rivelabilità strumentale.

I grafici e le tabelle prodotti di basano sulla differenza tra la concentrazione di un inquinante misurata a Castel d’Azzano e quella misurata a VR-Borgo Milano o a VR-Cason. Nel caso delle polveri sottili (PM₁₀) si tratta di valori medi giornalieri, per gli altri inquinanti i dati sono invece orari. I box-plot in Figura 20 mostrano che la varianza dei dati di NO₂ e NO nella campagna “post” è molto più elevata di quella nella campagna “pre”. Un test F di Fisher mostra che le varianze delle due popolazioni di dati sono significativamente diverse, con una significatività superiore al 99%: questo può essere legato alle diverse condizioni meteo che hanno caratterizzato le due campagne, oppure, anche se meno probabile, a una variazione della fonte emissiva a Castel d’Azzano nella seconda campagna. Il t-test di Student indica che la media “post” è inferiore alla media “pre” con una confidenza superiore al 99%, sia per l’NO₂ sia per l’NO. Analoghi risultati si ottengono utilizzando i dati di VR-Cason, e in questo caso le differenze fra pre e post sono anche maggiori.

In Figura 21 è stato calcolato il giorno tipo della differenza tra la concentrazione di inquinante misurata a Castel d’Azzano e quella a VR-Bgo Milano, per NO₂ ed NO. È interessante notare che, mentre la differenza tra i due periodi di monitoraggio per l’NO è ampia nel corso di tutte le ore della giornata, per l’NO₂ lo è solo nelle ore diurne, mentre in quelle notturne si riduce. L’NO₂ è un inquinante secondario, e il suo ciclo giornaliero è fortemente influenzato dalla radiazione solare che innesca le reazioni fotochimiche cui prende parte. La stessa analisi è ripetuta utilizzando i dati di VR-Cason in Figura 22, e porta alle stesse conclusioni.

In Figura 23 è riportata la settimana tipo della differenza tra la concentrazione di inquinante misurata a Castel d’Azzano e quella a VR-Bgo Milano, per NO₂ ed NO: si osserva che la differenza

tra i due periodi di monitoraggio è più evidente nei giorni centrali della settimana e diminuisce nel fine-settimana, quando il traffico legato ad attività lavorative è molto più basso, se non trascurabile. Prendendo come riferimento VR-Cason, si ottengono gli stessi risultati (Figura 24).

Per quanto riguarda le polveri sottili, Figura 25 e le tabelle 20 e 21 mostrano che la differenza in questo parametro tra Castel d’Azzano e VR-Borgo Milano, in media, è rimasta costante nella campagna “pre” e in quella “post”. Considerando invece come riferimento VR-Cason, la differenza dalle polveri di questa stazione diminuisce nella campagna “post” limitazione del traffico: addirittura, mentre nella campagna “pre” le polveri di Castel d’Azzano sono state più elevate di quelle di VR-Cason, nella campagna “post” esse sono state mediamente inferiori. La differenza tra i valori medi della differenza tra le polveri di Castel d’Azzano e di VR-Cason nelle due campagne di monitoraggio è significativa al 99%, come indica un test t di Student.

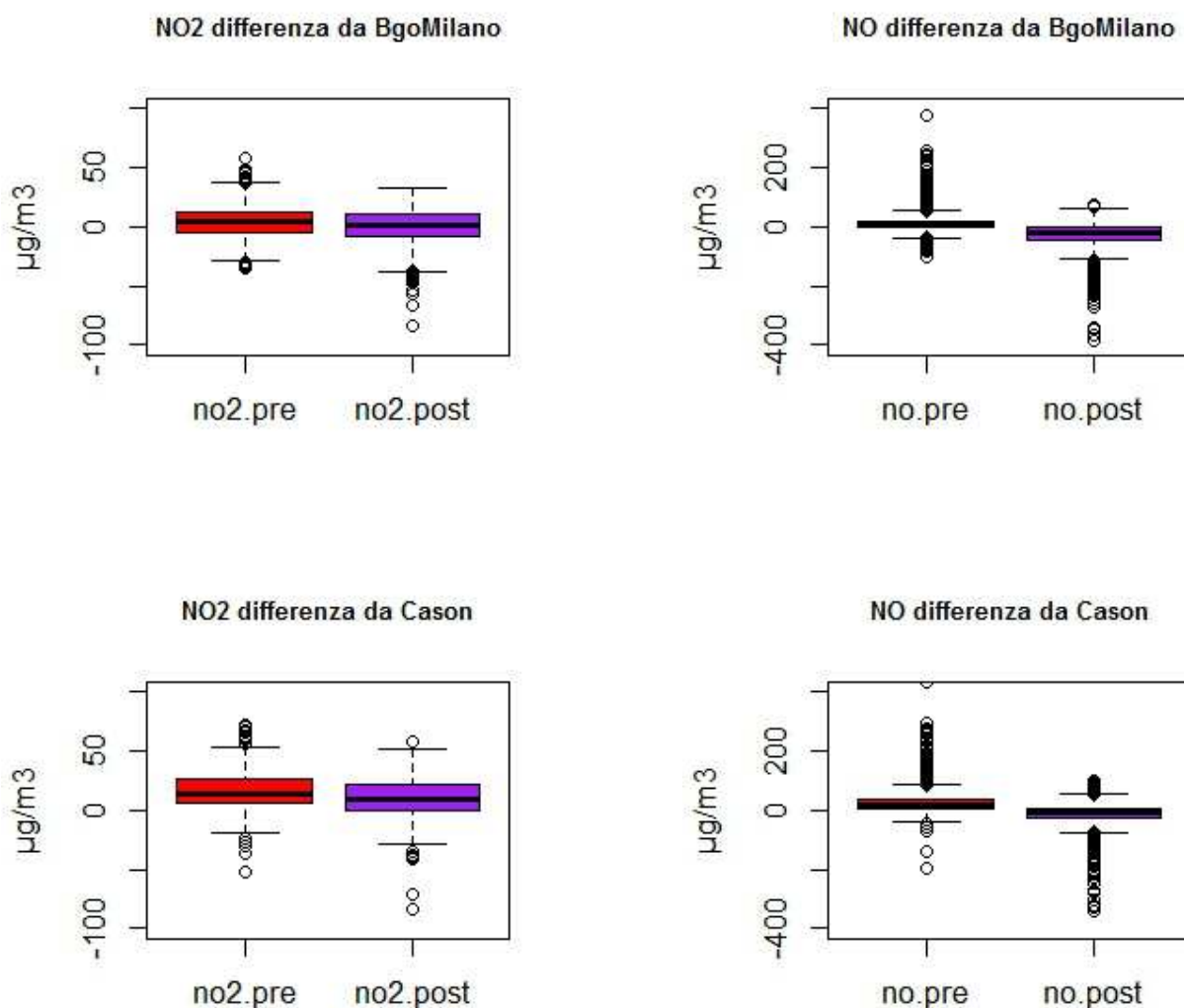


Figura 20. Box-plot della differenza tra la concentrazione di NO2 (sinistra) e NO (destra) a Castel d’Azzano e quella a VR-Borgo Milano (sopra) e a Cason (sotto).

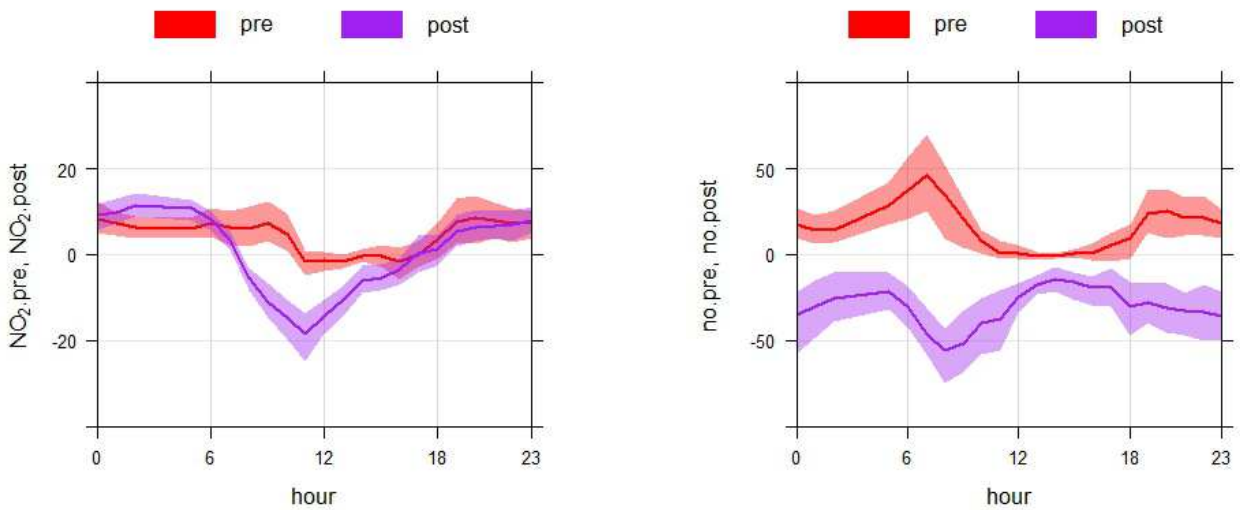


Figura 21. Giorno tipo della differenza tra la concentrazione di inquinante a Castel d'Azzano e quella a VR-Borgo Milano: il grafico a sinistra si riferisce all'NO₂ e quello di destra all'NO. Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

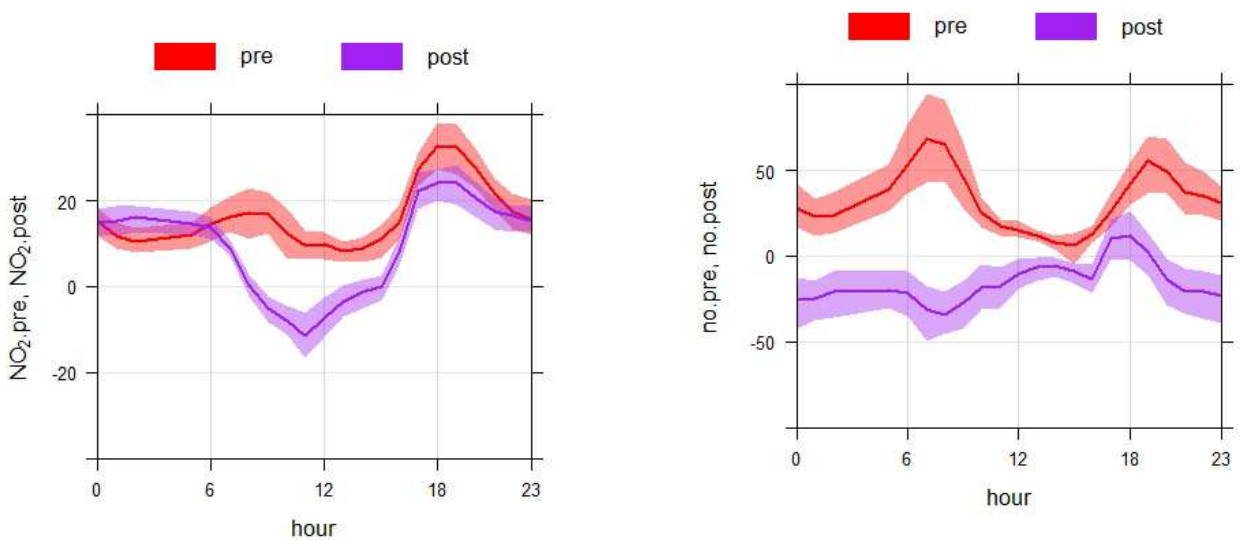


Figura 22. Giorno tipo della differenza tra la concentrazione di inquinante a Castel d'Azzano e quella a VR-Cason: il grafico a sinistra si riferisce all'NO₂ e quello di destra all'NO. Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

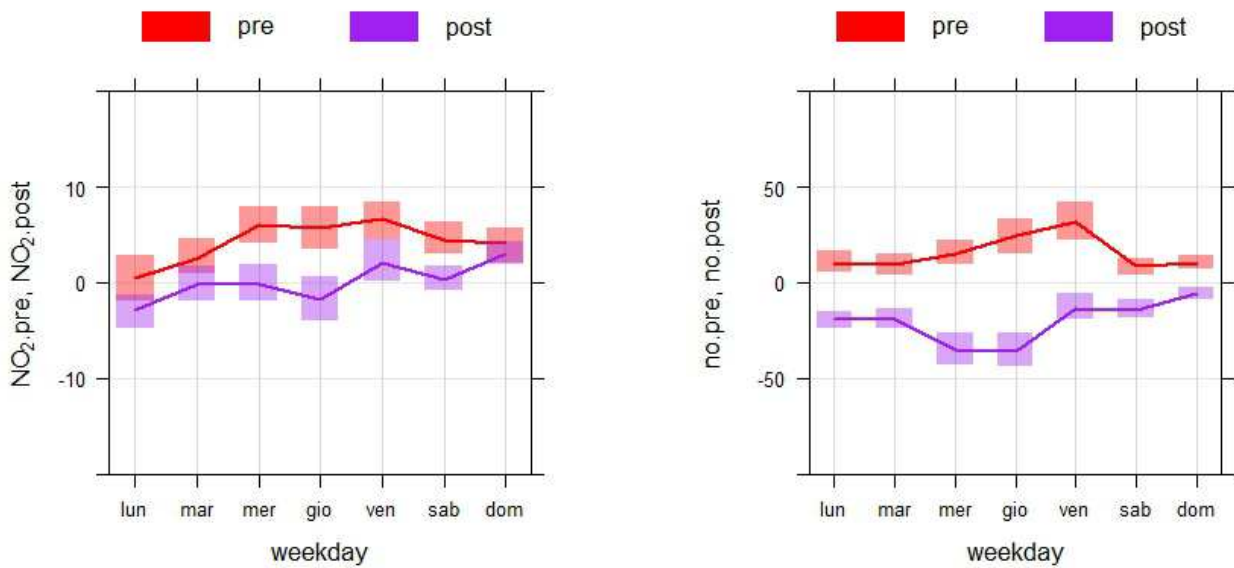


Figura 23. Settimana tipo della differenza tra la concentrazione di inquinante a Castel d'Azzano e quella a VR-Borgo Milano: il grafico a sinistra si riferisce all'NO₂ e quello di destra all'NO. Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

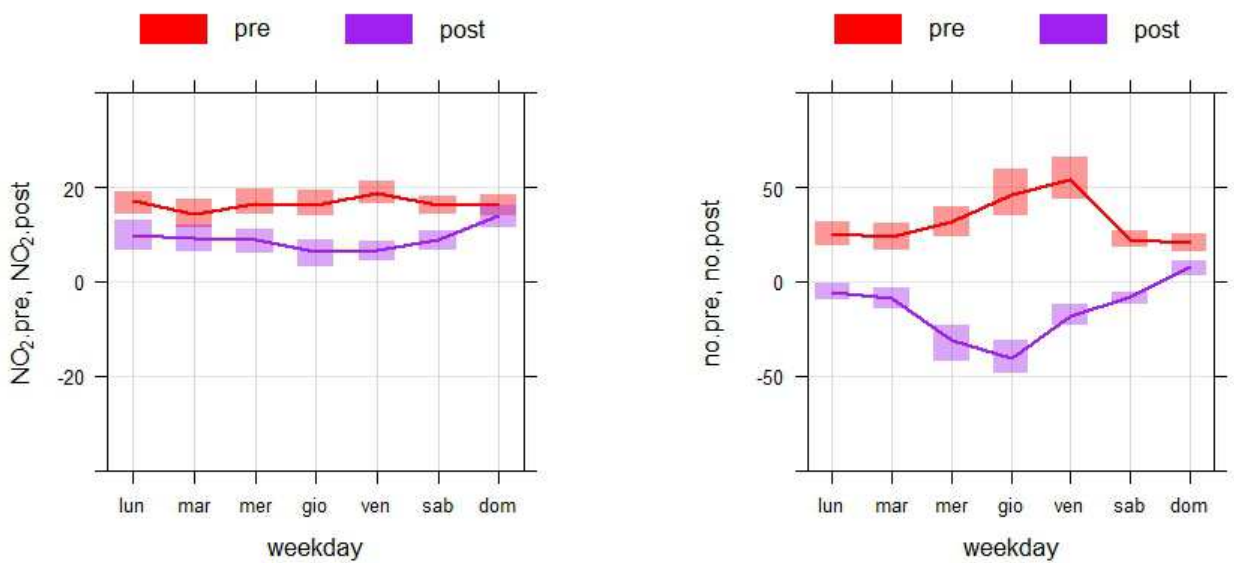


Figura 24. Settimana tipo della differenza tra la concentrazione di inquinante a Castel d'Azzano e quella a VR-Cason: il grafico a sinistra si riferisce all'NO₂ e quello di destra all'NO. Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

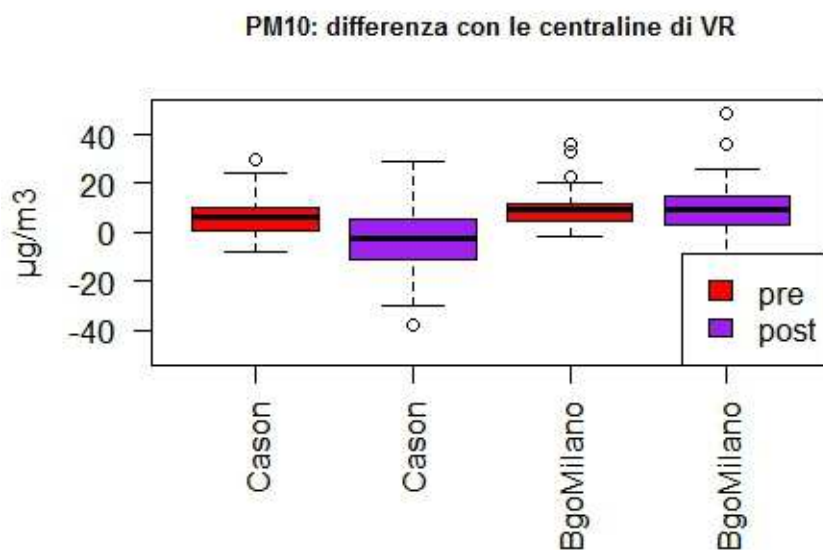


Figura 25. Box-plot della differenza tra la concentrazione di PM10 a Castel d’Azzano e quella a VR-Borgo Milano o a VR-Cason.

Differenza Castel d'Azzano - VR-BgoMilano								
	pre				post			
	NOX	NO	NO ₂	PM10	NOX	NO	NO ₂	PM10
n	940	940	940	35	1073	1073	1073	48
mean	29	16	4	10	-47	-30	0	10
sd	75	43	13	8	86	51	16	11
min	-175	-102	-34	-2	-616	-387	-84	-13
max	630	377	58	36	143	76	32	49

Tabella 20 . Principali parametri statistici relativi alla differenza tra i dati di NOx, NO, NO2 e PM10 di Castel d’Azzano e i corrispondenti di VR-Borgo Milano, nelle due campagne di monitoraggio “pre” e “post”.

Differenza Castel d'Azzano - VR-Cason								
	pre				post			
	NOX	NO	NO ₂	PM10	NOX	NO	NO ₂	PM10
n	901	901	901	35	1077	1077	1077	48
mean	67	33	17	7	-14	-15	9	-3
sd	87	51	16	8	79	47	17	13
min	-342	-194	-52	-8	-520	-338	-83	-38
max	724	432	72	30	190	101	58	29

Tabella 21 . Principali parametri statistici relativi alla differenza tra i dati di NOx, NO, NO2 e PM10 di Castel d’Azzano e i corrispondenti di VR-Cason, nelle due campagne di monitoraggio “pre” e “post”.

9. Analisi del traffico

La polizia municipale di Castel d'Azzano ha effettuato alcune rilevazioni dei transiti veicolari nella strada comunale Via Roma-Via Mascagni-Via Scuderlando, in località Beccacivetta di Castel d'Azzano. I dati sono riportati in Tabella 22. Le rilevazioni sono poche, e, tenuto conto della variabilità del traffico nelle varie ore della giornata e nei diversi giorni della settimana, le uniche giornate confrontabili sono mercoledì 17 giugno 2015 con mercoledì 22 giugno 2016, e giovedì 18 giugno 2015 con giovedì 23 giugno 2016: in questi casi, infatti, le misure sono state fatte nello stesso giorno della settimana e nello stesso orario. In particolare, si nota che sono state eseguite nel momento di traffico massimo. Le misure indicano una leggera diminuzione del traffico, ma molto bassa (tra il 5% e il 10%): addirittura, il giovedì, il numero di mezzi pesanti è aumentato dopo il blocco del traffico pesante. Tuttavia le misurazioni sono troppo poche per poter asserire che non ci sia effettivamente stata una diminuzione del traffico pesante, in particolare perché si riferiscono al momento della giornata con traffico di punta.

giorno	data_inizio	data_fine	durata		da S a N		veicoli
					veicoli/h	di cui autocarri/h	
ven	06/06/2014 07:30	06/06/2014 08:30	1:00	prima	1057	44	57
mer	17/06/2015 07:00	17/06/2015 09:00	2:00		857	35.5	0
gio	18/06/2015 07:00	18/06/2015 09:00	2:00		830	25	0
mer	30/09/2015 07:30	30/09/2015 09:30	2:00	post blocco sottopasso Forte Tomba in SS12	0	41.5	0
mer	14/10/2015 07:30	14/10/2015 09:30	2:00	post ordinanza limitativa del traffico pesante	0	24.5	0
gio	15/10/2015 07:30	15/10/2015 09:30	2:00		0	30.5	0
mer	22/06/2016 07:00	22/06/2016 09:00	2:00		813	31	409
gio	23/06/2016 07:00	23/06/2016 09:00	2:00		769.5	27.5	45

Tabella 22. Rilevazioni traffico veicolare Via Scuderlando

10. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Castel d'Azzano, in via Scuderlando, in una zona in cui è presente un forte traffico veicolare da e verso il centro urbano di Verona, e in cui sono attive diverse importanti realtà industriali. In data 30/09/2015, è stato interdetto il traffico dei mezzi pesanti nel centro abitato di Castel d'Azzano. Le due campagne di monitoraggio sono state svolte in due anni diversi (2014 e 2015), nello stesso periodo (tra ottobre e gennaio), la prima nel periodo antecedente tale provvedimento, la seconda nei mesi successivi: per tale motivo le due campagne sono state denominate "pre" e "post". Lo scopo dell'analisi è stato valutare l'impatto del provvedimento di chiusura del traffico ai mezzi pesanti sulla qualità dell'aria.

Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO_x, SO₂, O₃, 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.

La prima campagna di misura è stata realizzata tra il 9 ottobre 2014 e il 21 novembre 2014, la seconda tra il 22 ottobre 2015 e l'11 gennaio 2016. La prima campagna ("pre") è stata caratterizzata da condizioni meteorologiche variabili, che hanno favorito la dispersione degli inquinanti, mentre durante la seconda ("post") si sono verificati lunghi periodi di alta pressione, che hanno favorito la formazione di inversioni termiche al suolo e determinato condizioni critiche per la concentrazione degli inquinanti. Per questo motivo, tutti gli inquinanti hanno mostrato valori più elevati nella campagna "post" rispetto alla campagna "pre", a Castel d'Azzano come anche nelle stazioni fisse di confronto di VR-Borgo Milano e VR-Cason. Pertanto, al fine della valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria della riduzione del traffico pesante a Castel d'Azzano, è stato fondamentale valutare i dati della singola campagna in rapporto a quelli di una stazione fissa di riferimento: un primo, semplice tentativo di eliminare dal segnale la componente legata alla meteorologia è stato considerare non la sola concentrazione di inquinante misurata a Castel d'Azzano, ma la sua "distanza" rispetto alla centralina di riferimento. Tale distanza è stata definita come la differenza tra la concentrazione di inquinante misurata a Castel d'Azzano e quella della stazione di riferimento: solo su tale differenza è stato operato un confronto tra i due periodi di monitoraggio. Come sito di riferimento sono state scelte le centraline di VR-Borgo Milano e quella di VR-Cason: ripetere l'analisi utilizzando come riferimento stazioni diverse e ottenere risultati compatibili, ha confermato la robustezza del metodo di indagine.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio e il biossido di zolfo, i valori rilevati sono sempre stati molto vicini al limite di rivelabilità strumentale. Per l'ozono, non essendo un inquinante critico in periodo invernale, non c'è stato alcun superamento. L'analisi della "distanza" tra le concentrazioni di inquinanti registrate a Castel d'Azzano e quelle delle centraline di riferimento si è concentrata sugli ossidi di azoto e le polveri sottili, che sono i principali inquinanti legati al traffico. Gli altri inquinanti non hanno dato evidenza di particolari criticità.

Considerando NO₂ ed NO, la differenza tra Castel d'Azzano e le stazioni di riferimento di Verona si è ridotta nella campagna "post" intervento di limitazione del traffico: la riduzione è stata particolarmente evidente nei giorni lavorativi della settimana, per NO e NO_x nel corso di tutta la giornata, mentre per l'NO₂ solo nelle ore diurne. Questo si spiega col fatto che l'NO₂ è un inquinante secondario, e il suo ciclo giornaliero è fortemente influenzato dalla radiazione solare che innesca le reazioni fotochimiche cui prende parte. La significatività della riduzione della distanza tra i dati di Castel d'Azzano e quelli delle centraline di riferimento è provata da un test-t di Student al 99% di significatività.

Per quanto riguarda le polveri sottili, la differenza in questo parametro tra Castel d'Azzano e Borgo Milano, in media, è rimasta costante nella campagna "pre" e in quella "post". Se invece si

considera come riferimento VR-Cason, la distanza rispetto a questa stazione diminuisce significativamente nella campagna “post” limitazione del traffico: addirittura, mentre nella campagna “pre” le polveri di Castel d’Azzano sono state più elevate di quelle di VR-Cason, nella campagna “post” esse sono state mediamente inferiori.

I dati di monitoraggio del traffico di Via Scuderlando a Castel d’Azzano non sono sufficienti per indicare una diminuzione significativa della circolazione di veicoli in seguito al provvedimento di limitazione del traffico, in quanto le misure disponibili sono troppo poche. Tuttavia, l’analisi dei dati indica una diminuzione significativa degli inquinanti più critici legati al traffico veicolare.

ALLEGATO

In questa relazione sono stati riportati anche alcuni grafici di tipo “box-whisker”, il cui significato è illustrato in Figura 26.

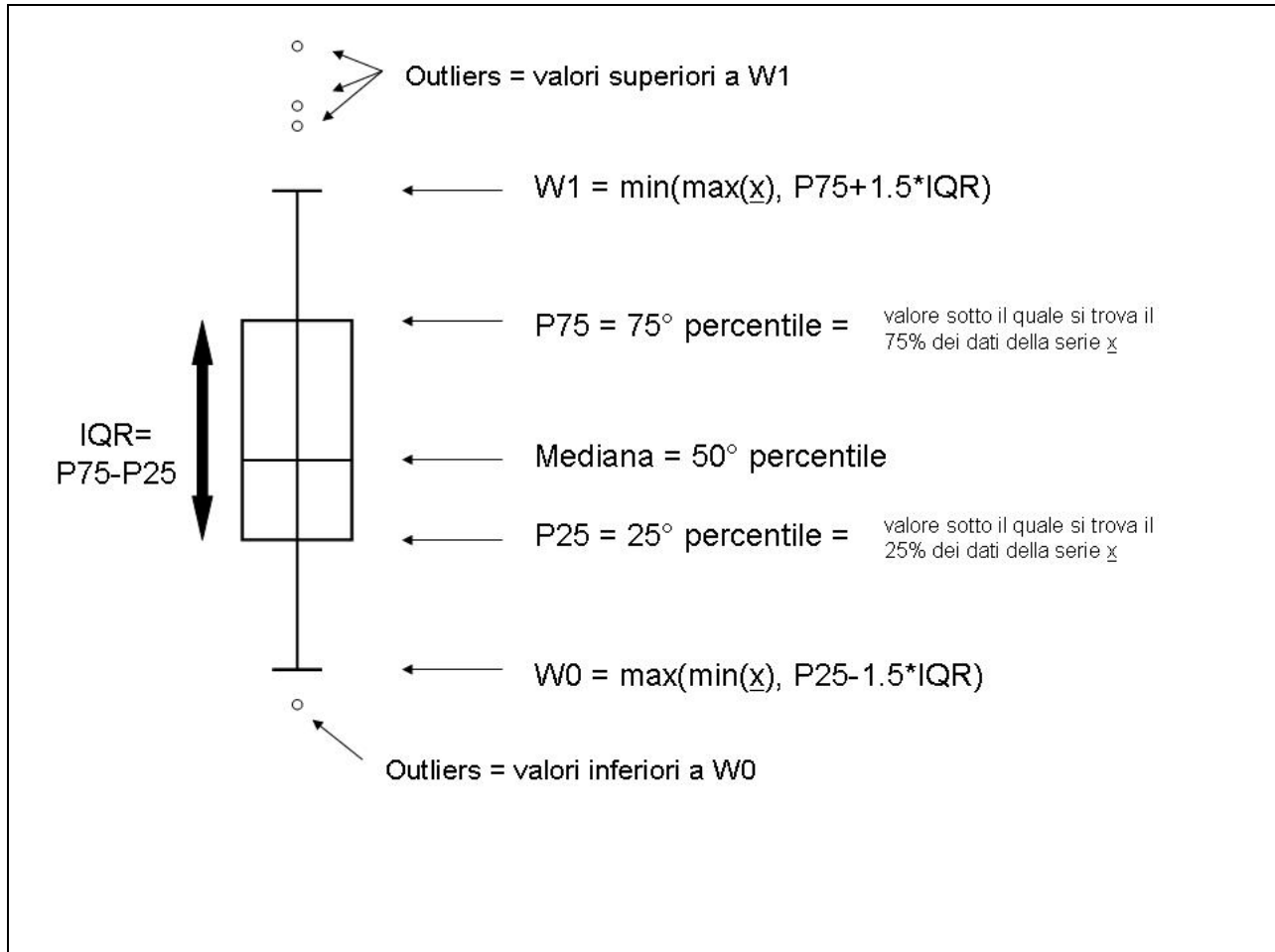
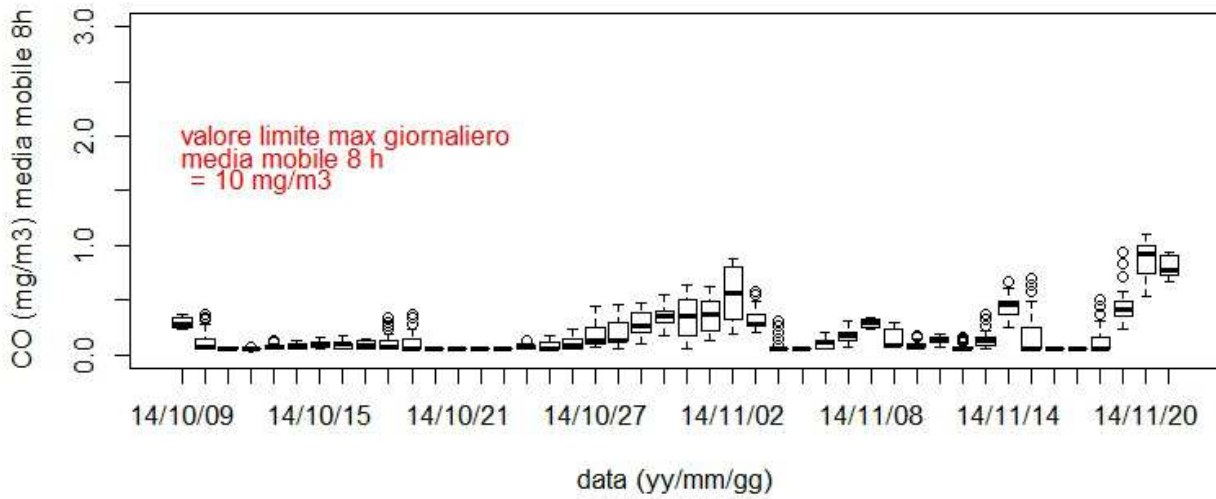


Figura 26. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata 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/m³), Media Mobile di 8 ore, box-wisker plot.

Campagna “pre”



Campagna “post”

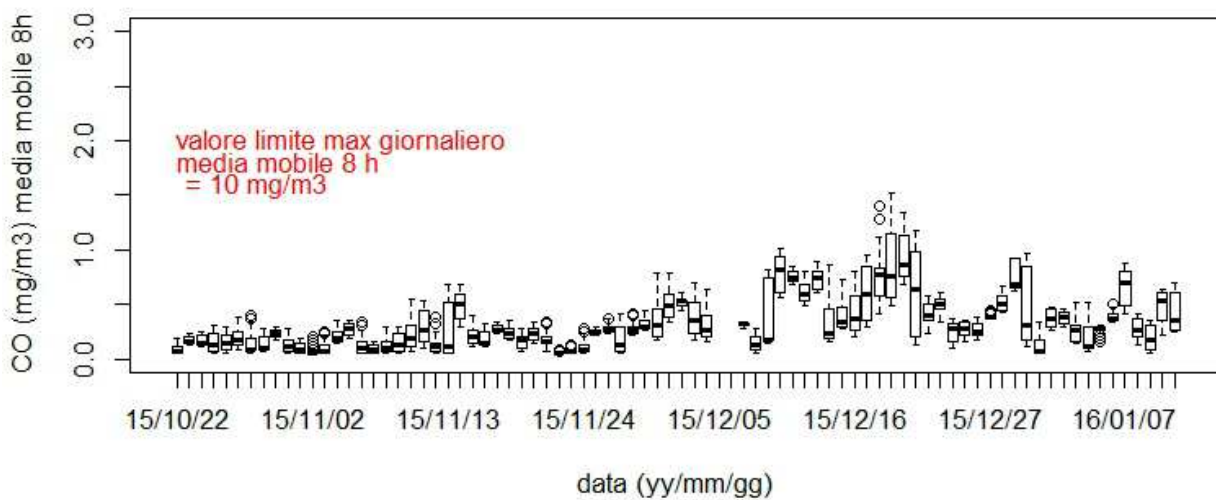
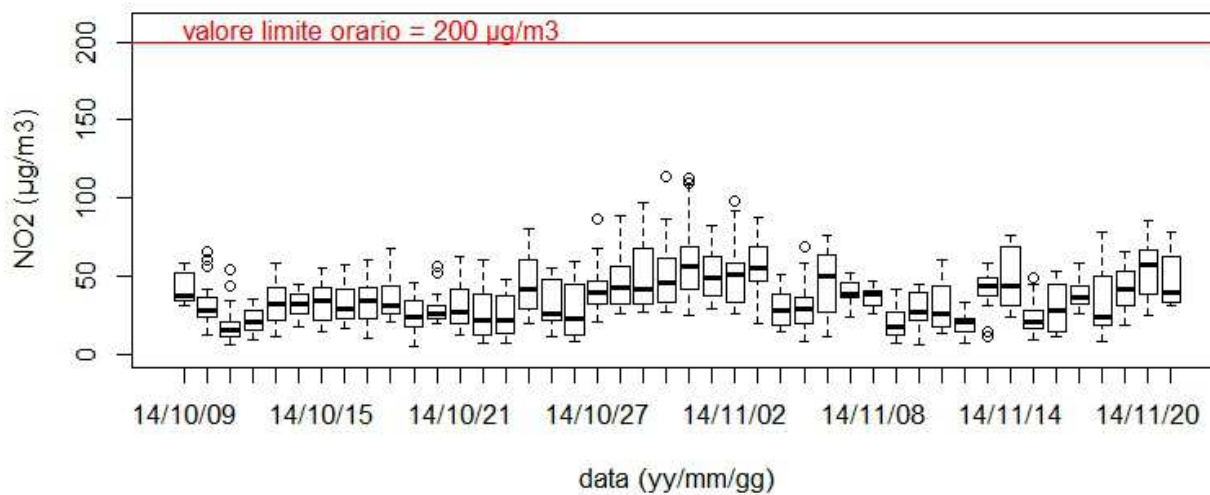


Grafico 2 – Concentrazione di NO₂ (µg/m³), box-wisker plot. “Esposizione acuta”.

Campagna “pre”



Campagna “post”

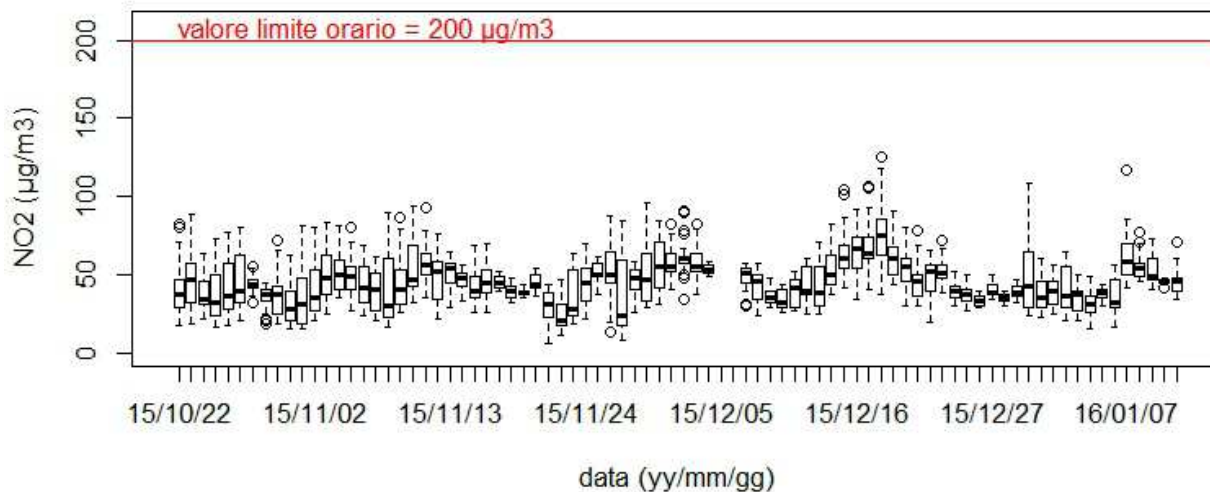
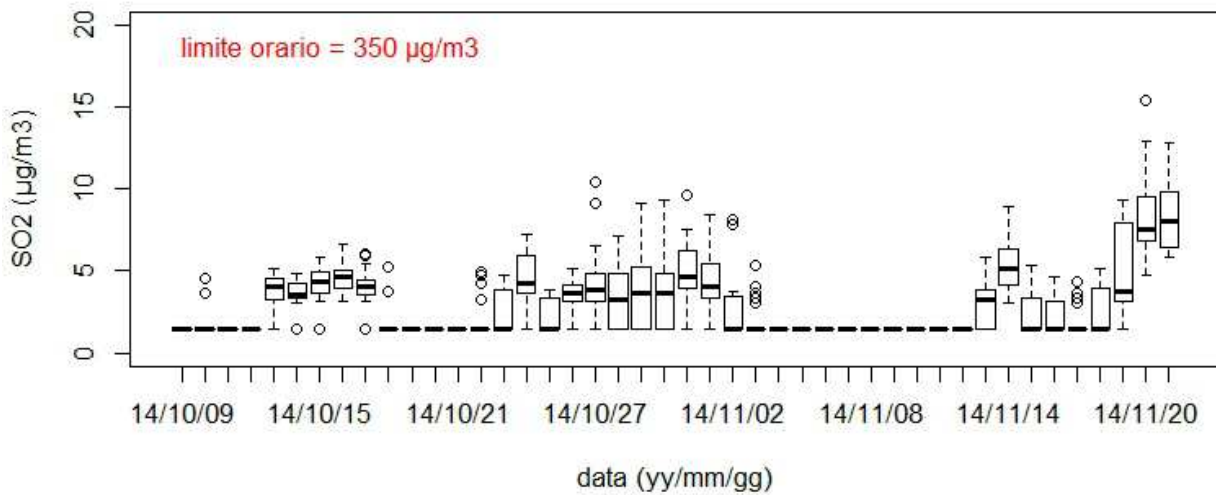


Grafico 3 – Concentrazione di SO₂ (µg/m³), box-wisker plot.

Campagna “pre”



Campagna “post”

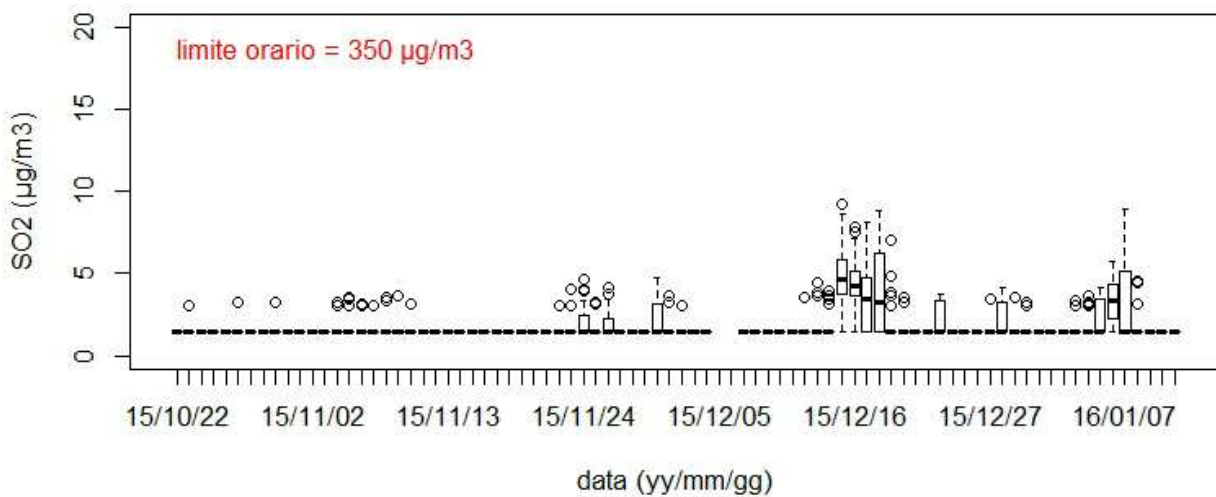
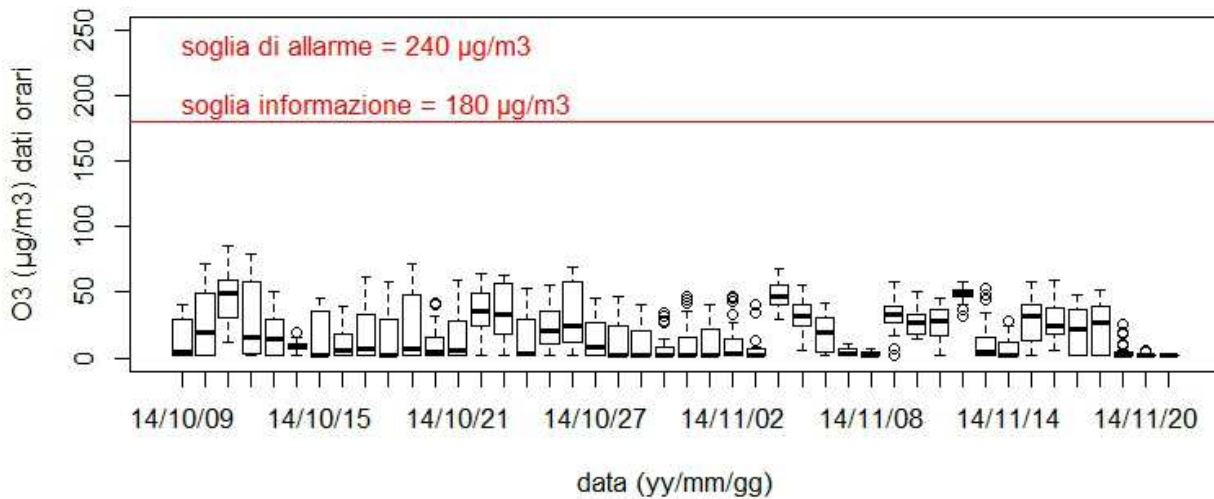


Grafico 4 – Concentrazione di O₃ (µg/m³), box-wisker plot.

Campagna “pre”



Campagna “post”

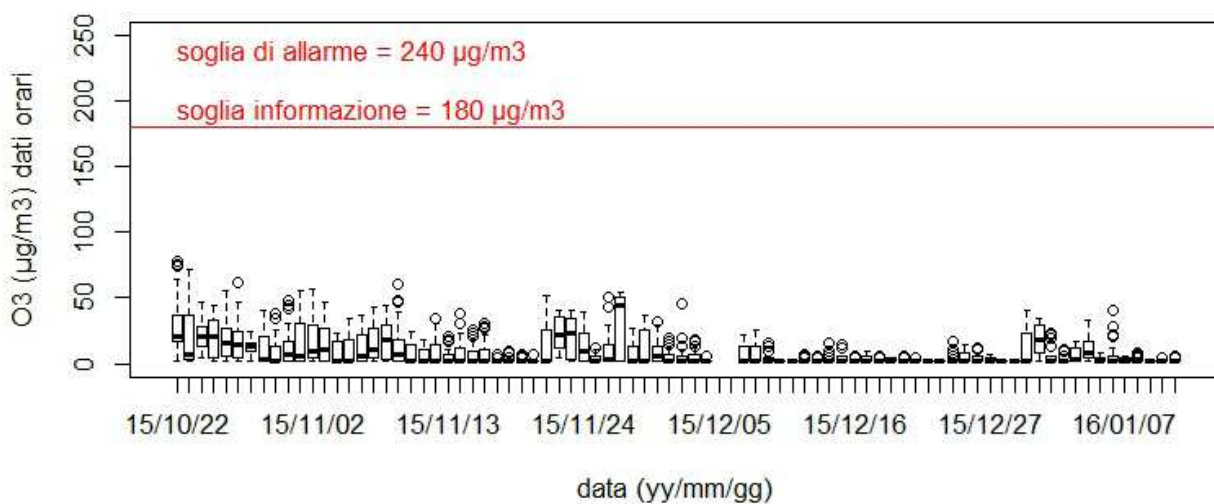
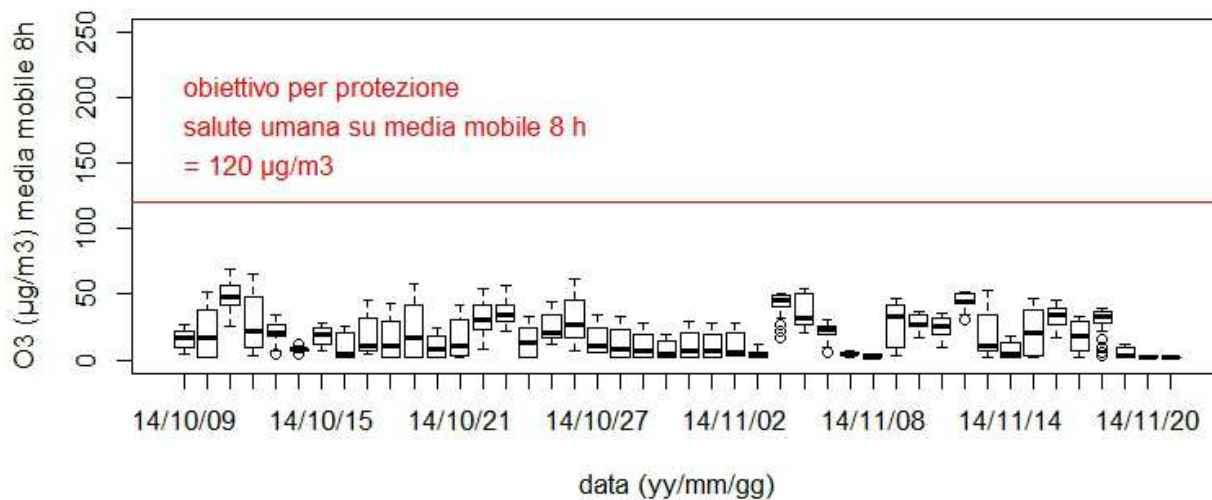


Grafico 5 – Concentrazione di O₃ (µg/m³), media mobile di 8 ore, box-wisker plot.

Campagna “pre”



Campagna “post”

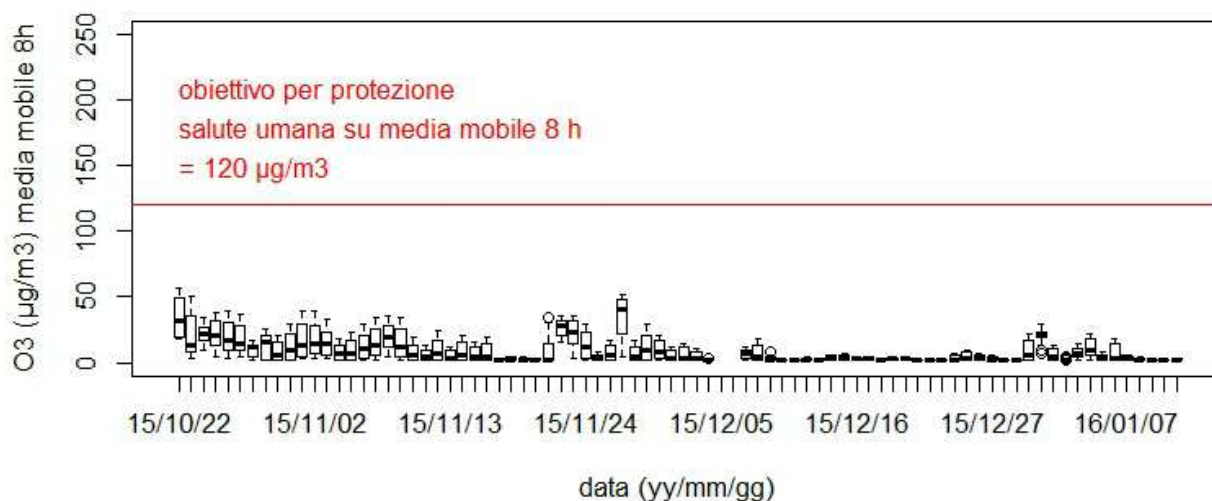


Grafico 6 – Concentrazione giornaliera di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a Castel d’Azzano, Borgo Milano e Cason. La linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte l’anno. Campagna “PRE” a sinistra, campagna “POST” a destra.

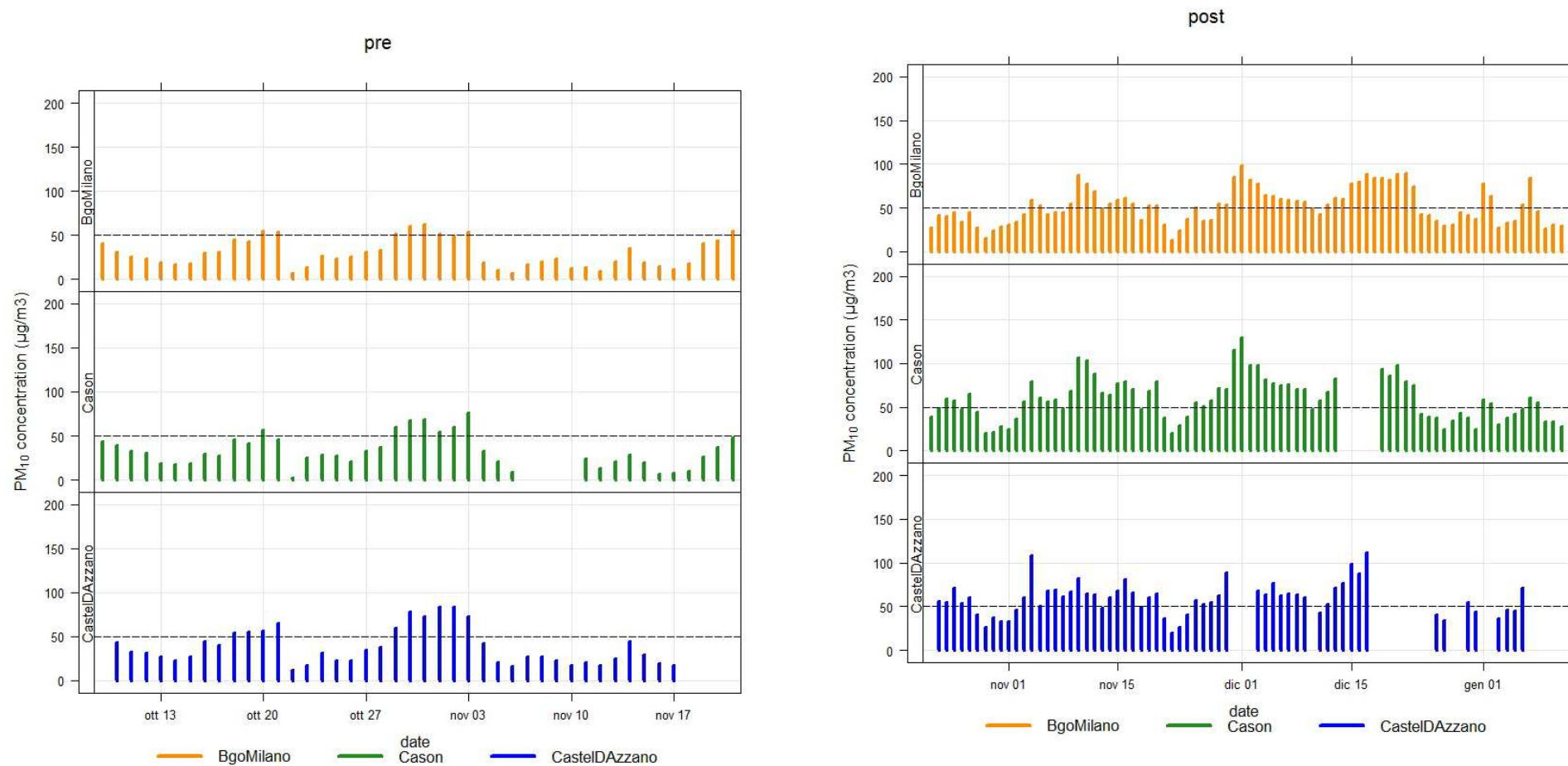


Grafico 7 Concentrazione di benzene misurata durante la campagna “PRE” (sopra) in diverse postazioni (Castel d’Azzano, Borgo Milano, Corso Milano e Cason). Il valor medio misurato tramite campionario passivo esposto per un certo numero di giorni viene attribuito a ogni giorno di esposizione. Campagna “PRE” a sinistra, campagna “POST” a destra.

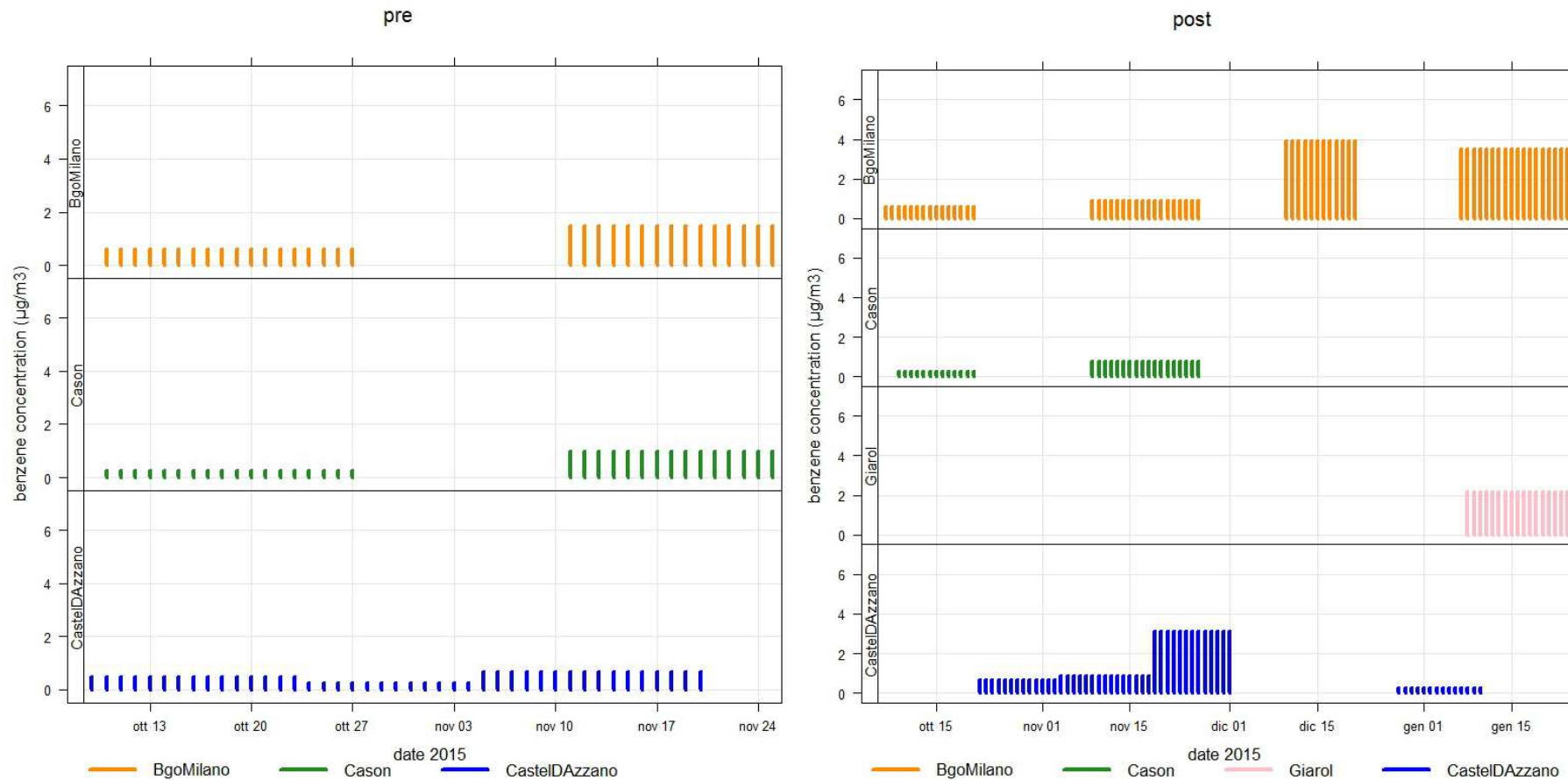


Grafico 8 – Concentrazione di benzoapirene (ng/m^3) a Cason e a Castel d’Azzano nelle due campagne di misura. La linea tratteggiata indica il valore obiettivo (annuale) di $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. Campagna “PRE” a sinistra, campagna “POST” a destra.

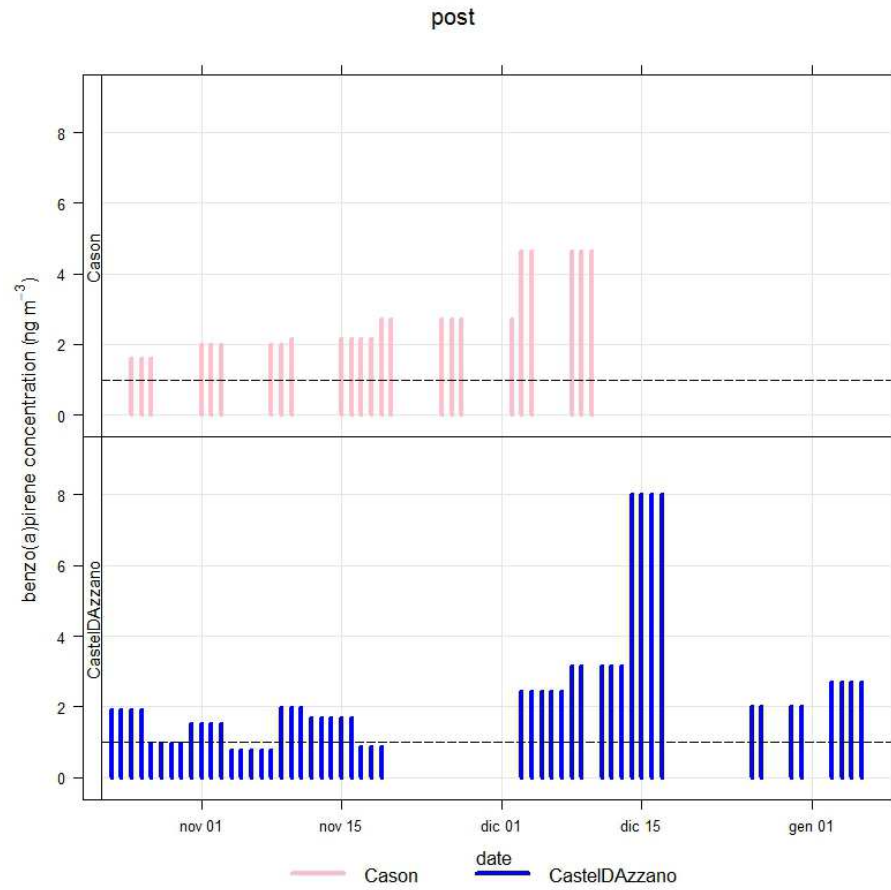
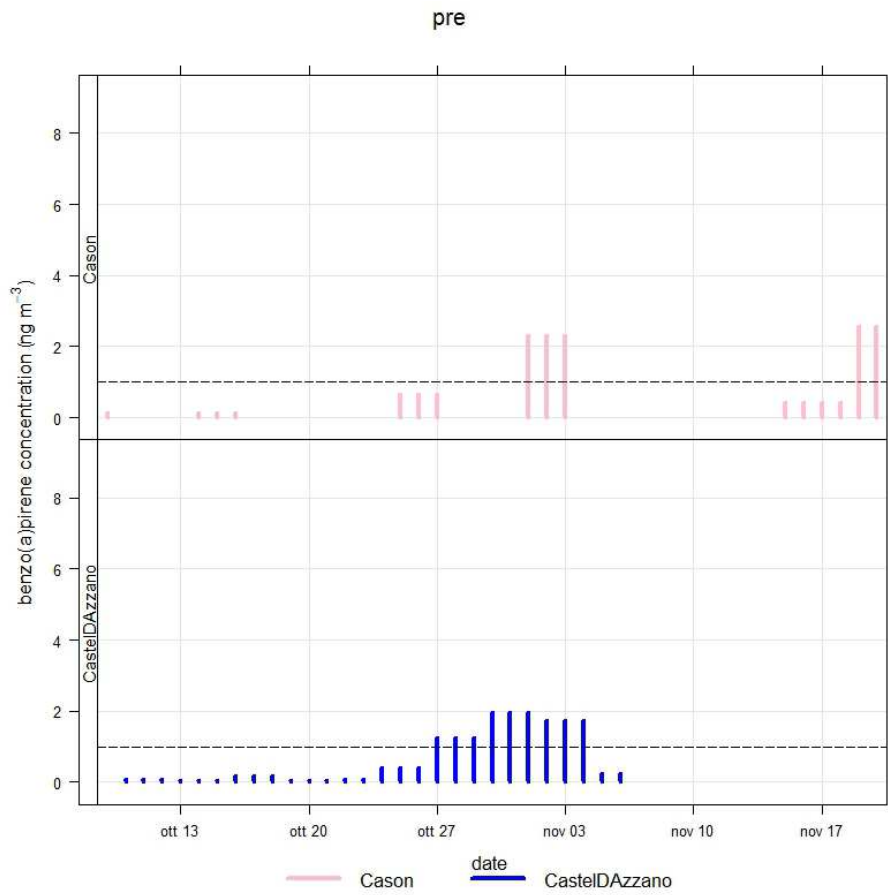


Grafico 9a – Concentrazione di PM10 e O₃ (µg/m³) a Castel d’Azzano, e variabili meteorologiche della stazione di Buttapietra (VR): prec=precipitazione accumulata in un giorno (mm); vv5m= velocità del vento a 5m (m/s); temp2m=temperatura a 2m (°C); relative humidity= umidità relativa (%).

pre

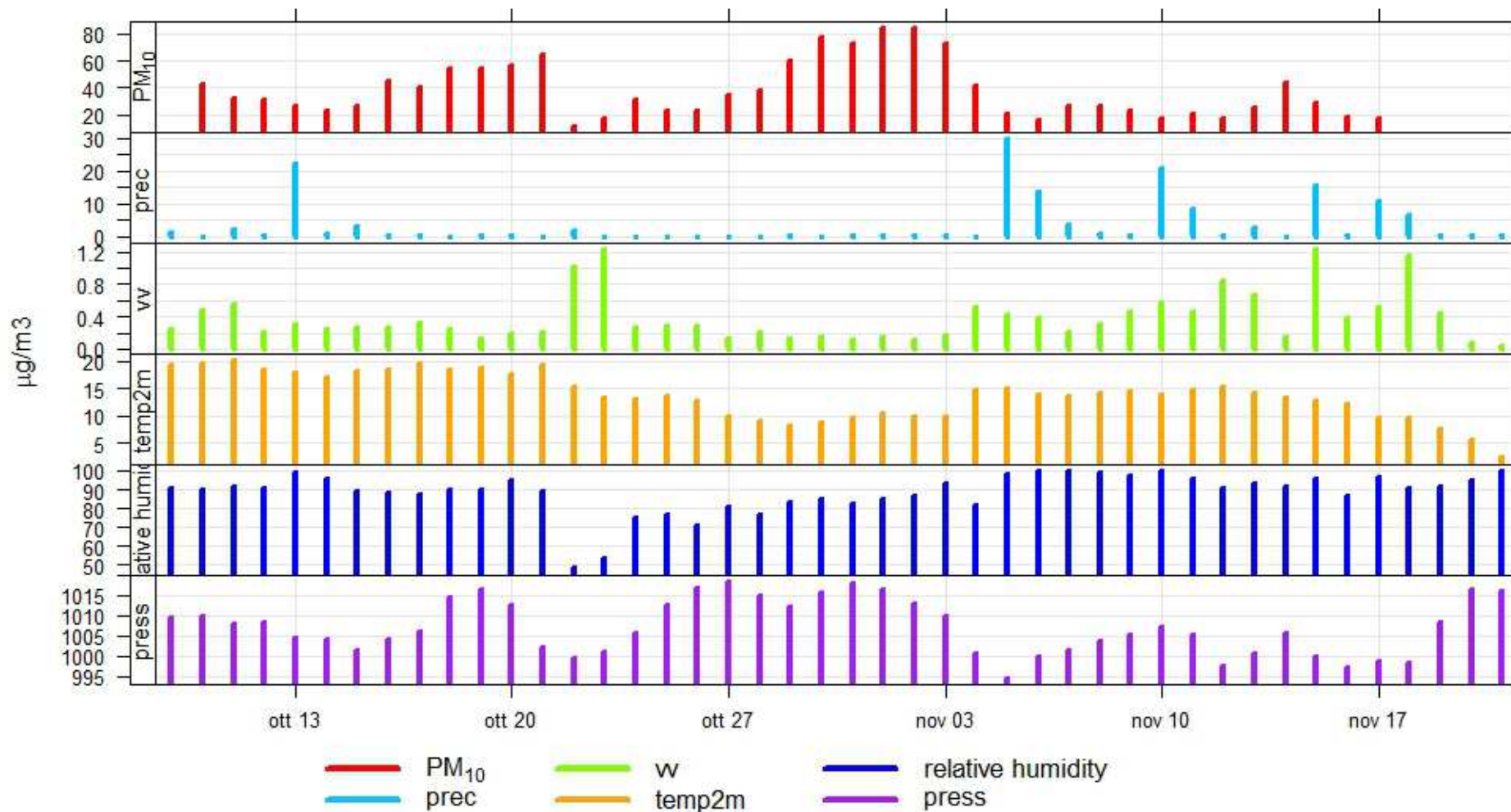


Grafico 9b – Concentrazione di PM10 e O₃ (µg/m³) a Castel d’Azzano, e variabili meteorologiche della stazione di Buttapietra (VR): prec=precipitazione accumulata in un giorno (mm); vv5m= velocità del vento a 5m (m/s); temp2m=temperatura a 2m (°C); relative humidity= umidità relativa (%).

post

