

Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria Comune di Castelnuovo

Piazza degli Alpini



Periodo di attuazione:

15/08/2014 – 03/11/2014 (periodo estivo)

29/01/2014 – 13/03/2014 (periodo invernale)

RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Primo Munari

Servizio Controlli Ambientali

Dottoressa Francesca Predicatori

Ufficio Informativo Ambientale

Dottoressa Simona De Zolt Sappadina

Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

Ufficio Agrometeorologia e Meteorologia Ambientale

Maria Sansoni

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. 2/2015		Data : 15/06/2015
F.to Il Tecnico Unità Operativa Fisica dell'Ambiente Dr.ssa Simona De Zolt 	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
8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria).....	28
9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse.....	31
10. Conclusioni.....	34

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 della città di Castelnuovo, il cui territorio è interessato da un traffico veicolare intenso, anche a causa delle attività turistiche presenti nelle vicinanze. 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 15/08/2014 al 03/11/2014 nel semestre estivo e dal 29/01/2014 al 13/03/2014 nel semestre invernale. L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Castelnuovo del Garda ed è di tipologia "traffico urbano". Il comune di Castelnuovo 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, su carta tecnica regionale 1:5000. Il mezzo è stato posizionato in Piazza degli Alpini, 50 m a nord di Via Milano, strada di traffico intenso soprattutto nel periodo estivo, come via di accesso alla zona del lago e ai parchi divertimenti di Peschiera del Garda. 1 km a sud del punto di misura passa l'autostrada A4, e 1 km a est si trova la SS 450 di Affi, che collega la A4 alla A22 del Brennero.

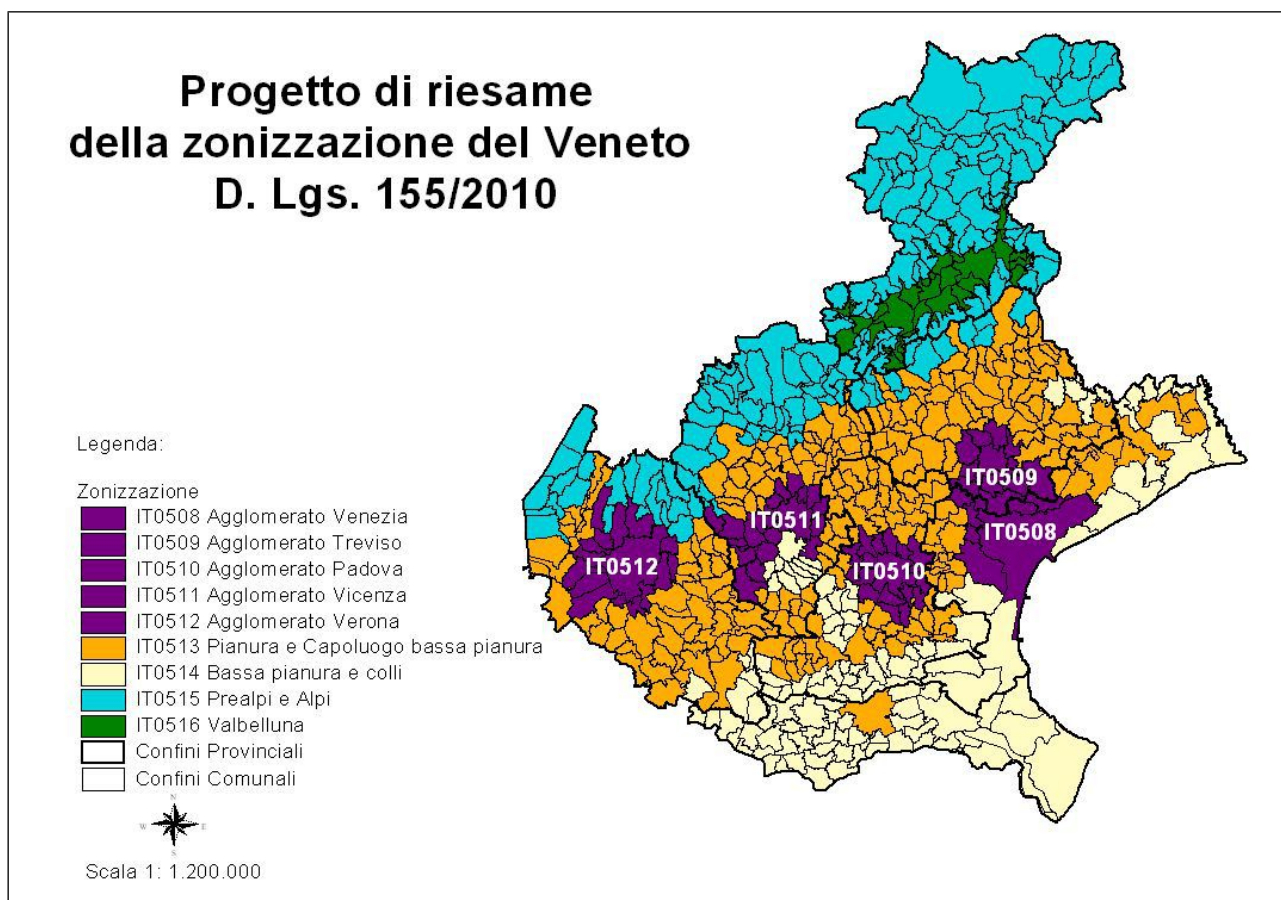


Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012.

Posizione stazione rilocabile
Piazza degli Alpini, Castelnuovo del Garda, VR

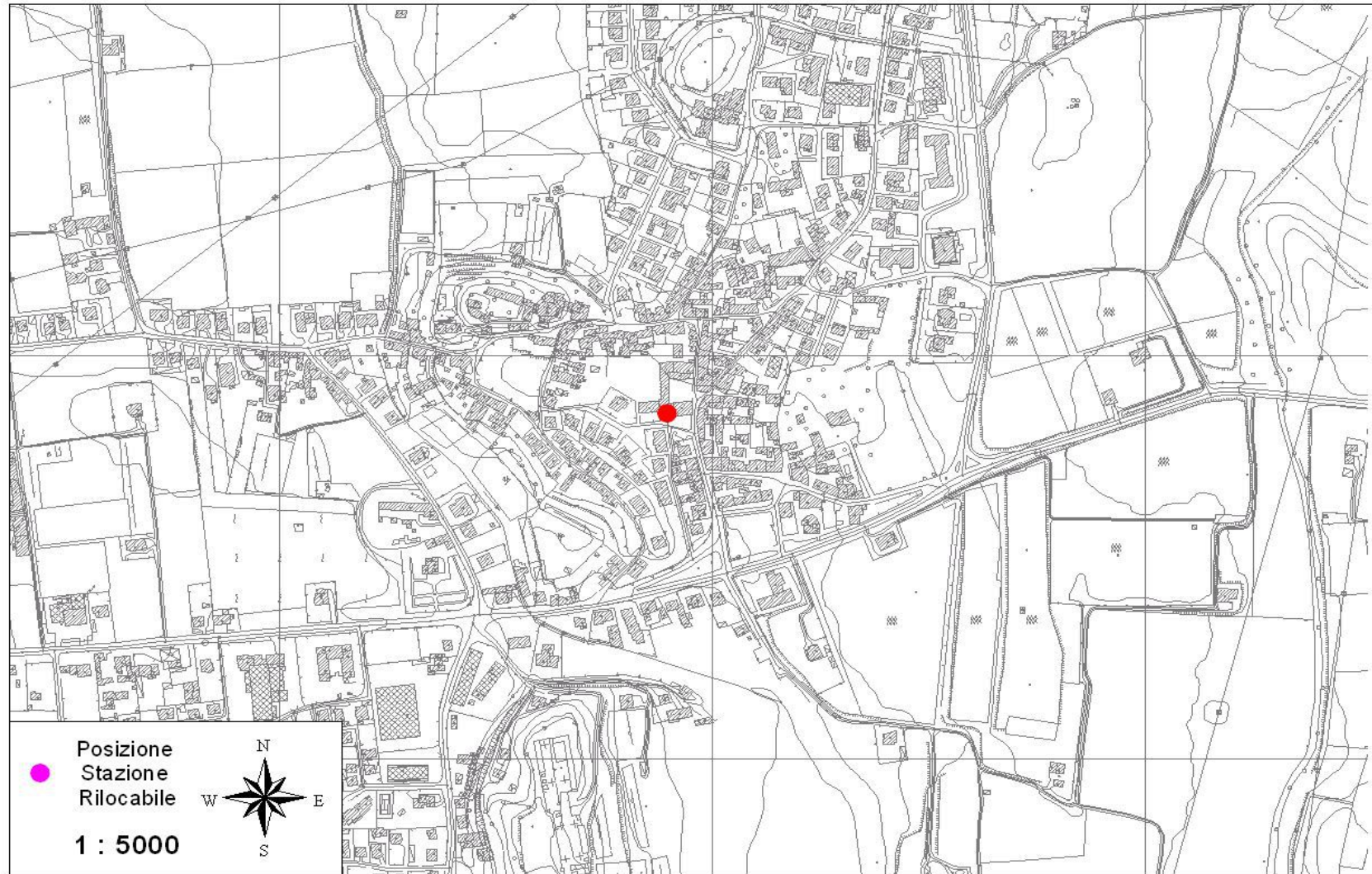


Figura 2. Estratto Carta Tecnica Regionale, scala 1:5000. Ubicazione del punto sottoposto a monitoraggio.

3. Contestualizzazione meteo climatica.

La campagna estiva inizia il 15 di agosto e si conclude il 3 novembre 2014: copre quindi l'ultima parte dell'estate e la maggior parte dell'autunno. I mesi di agosto e settembre sono stati caratterizzati dal susseguirsi continuo di episodi di instabilità che hanno determinato temperature inferiori alla norma e piovosità superiore alla media. Nel mese di ottobre, si sono continuamente alternati periodi perturbati ad altri con tempo stabile, e le temperature sono state elevate e superiori alla media. Di conseguenza, nel periodo in cui si è svolta questa campagna, non si sono presentate le situazioni meteorologiche estive critiche per la concentrazione di ozono, che è l'inquinante più problematico in questo periodo.

La campagna invernale inizia il 29 gennaio 2014, con un evento perturbato che porta precipitazioni eccezionali e che perdura fino al 3 febbraio. In seguito, si alternano temporanee dorsali e veloci saccature, responsabili di episodi perturbati e di intervalli di tempo buono o discreto. Dopo le prime giornate di marzo, inizia una fase di bel tempo, primaverile e molto mite, che perdura fino alla fine della campagna, il 13 marzo.

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

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

I valori delle soglie per la ripartizione nelle tre classi sono state individuate in modo soggettivo in base a un campione pluriennale di dati.

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

Nella Figura 3 sono state confrontate le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione ARPAV di Castelnuovo del Garda in tre periodi:

- 15 agosto – 3 novembre 2014, periodo di svolgimento della campagna di misura,
- 15 agosto – 5 novembre dall'anno 1992 all'anno 2013 (pentadi di riferimento, ovvero PERIODO ANNI PRECEDENTI)
- 3 novembre 2013 – 3 novembre 2014 (ANNO CORRENTE).

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

- 29 gennaio – 13 marzo 2014, periodo di svolgimento della campagna di misura,
- 26 gennaio – 15 marzo dall'anno 1992 all'anno 2013 (pentadi di riferimento, ovvero PERIODO ANNI PRECEDENTI)
- 13 marzo 2013 – 13 marzo 2014 (ANNO CORRENTE).

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

- la piovosità è in linea con quella del periodo corrispondente degli anni precedenti, mentre rispetto all'anno in corso i giorni poco piovosi sono più frequenti;

- i giorni con vento debole sono del tutto assenti, mentre quelli con calma di vento sono molto più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento.

Durante la campagna di misura INVERNALE:

- i giorni molto piovosi e quelli piovosi sono stati più frequenti rispetto sia allo stesso periodo degli anni precedenti sia all'anno in corso;
- i giorni con calma di vento sono meno frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento.

In Figura 5 è riportata la rosa dei venti registrati presso la stazione di Castelnuovo del Garda durante lo svolgimento delle campagne di misura. Da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento durante il periodo ESTIVO è sud-sudest (4%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 78%; la velocità media pari a circa 0.4 m/s. Invece, nel periodo invernale, la direzione prevalente di provenienza del vento è est (8%). La frequenza delle calme è stata pari a circa 43%; la velocità media pari a circa 1 m/s.

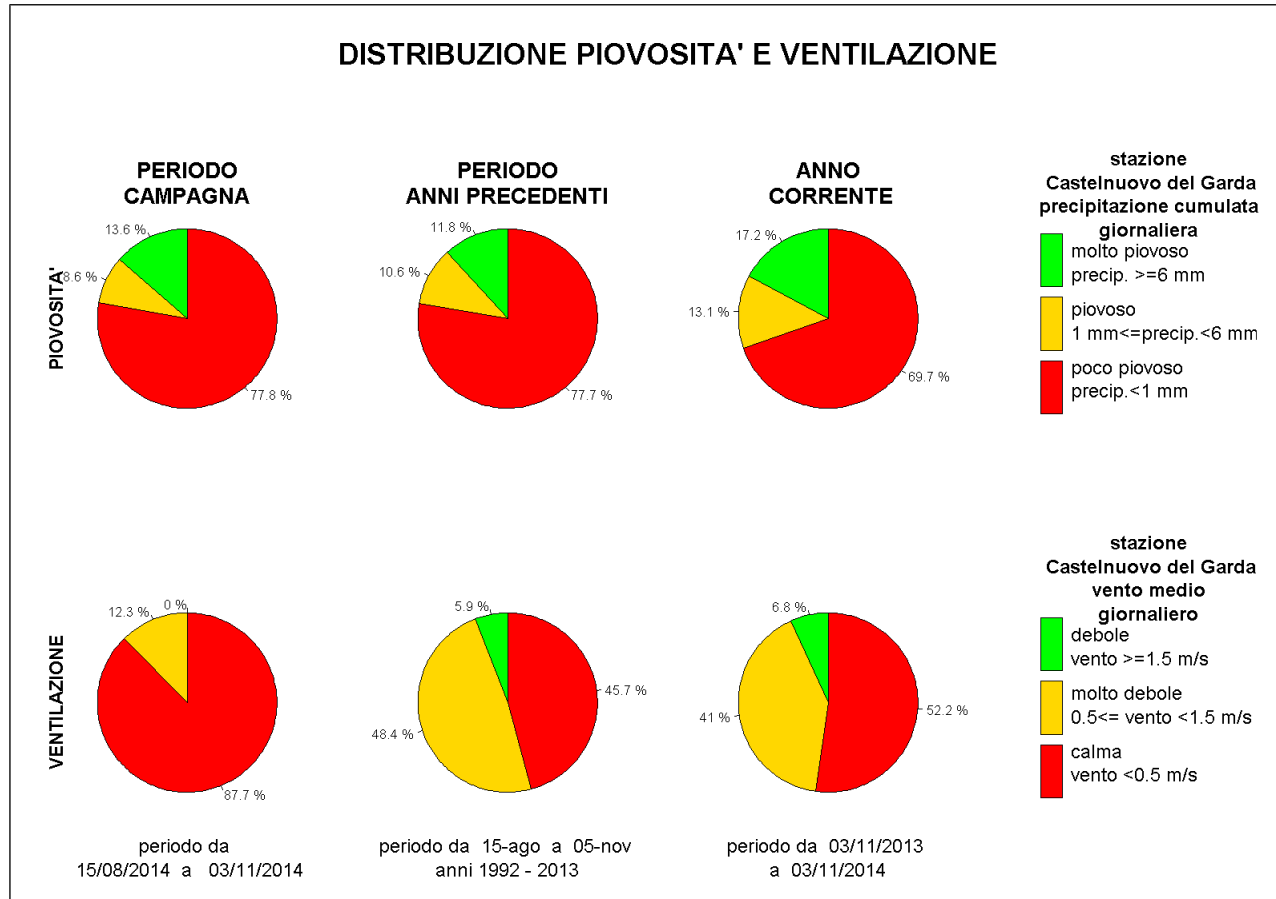


Figura 3. Campagna ESTIVA. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente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

DISTRIBUZIONE PIOVOSITA' E VENTILAZIONE

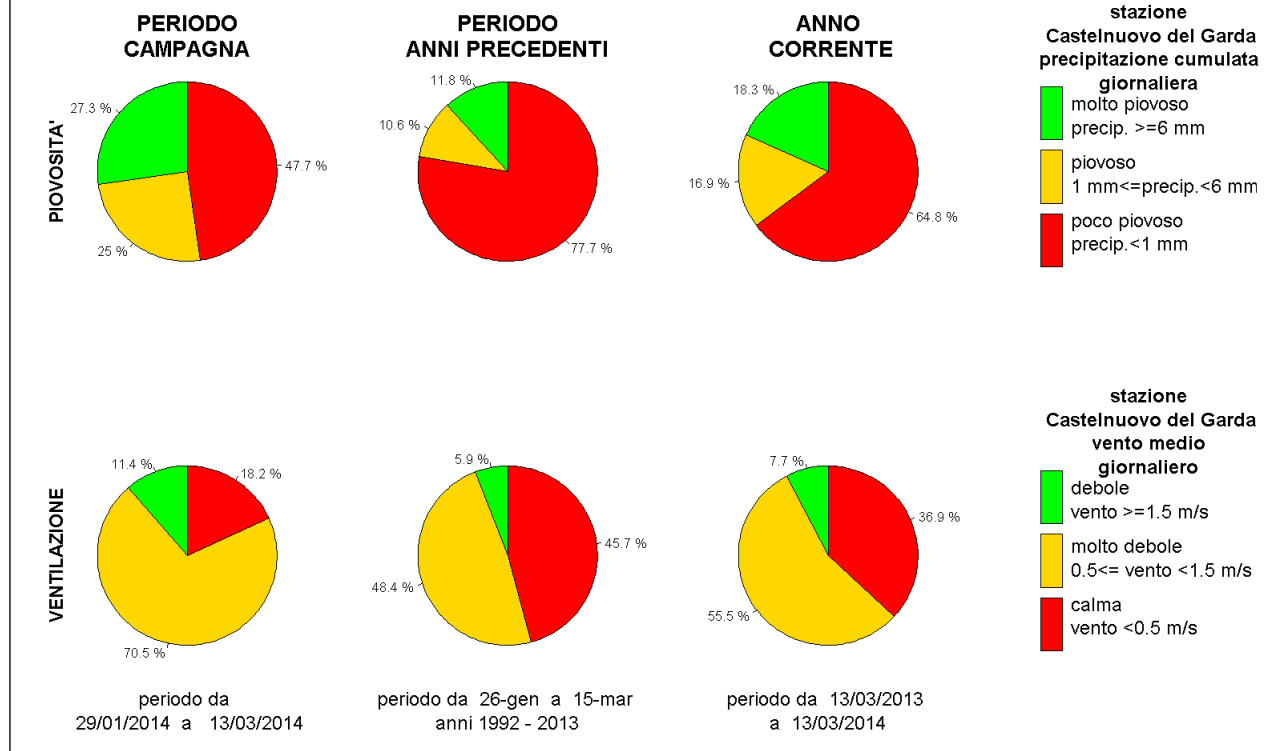
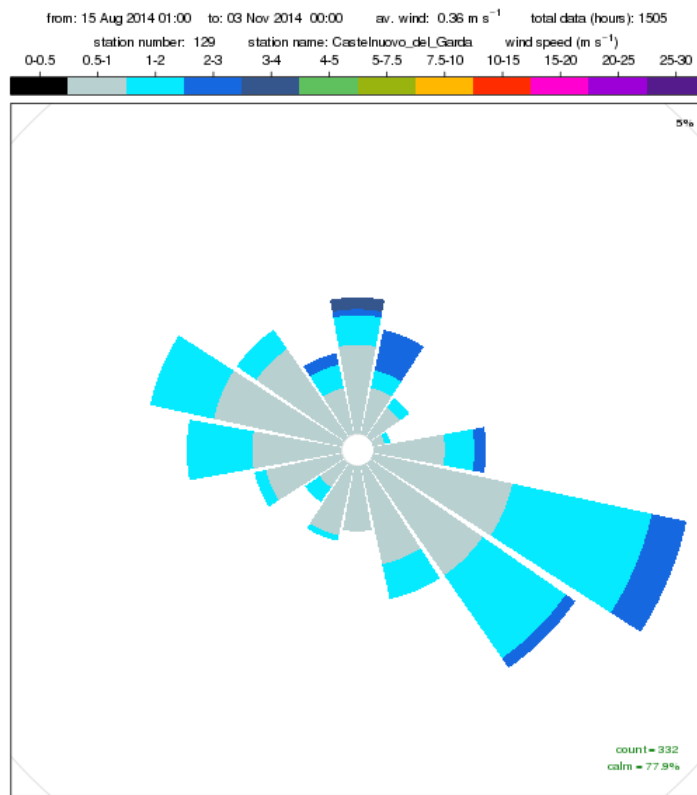
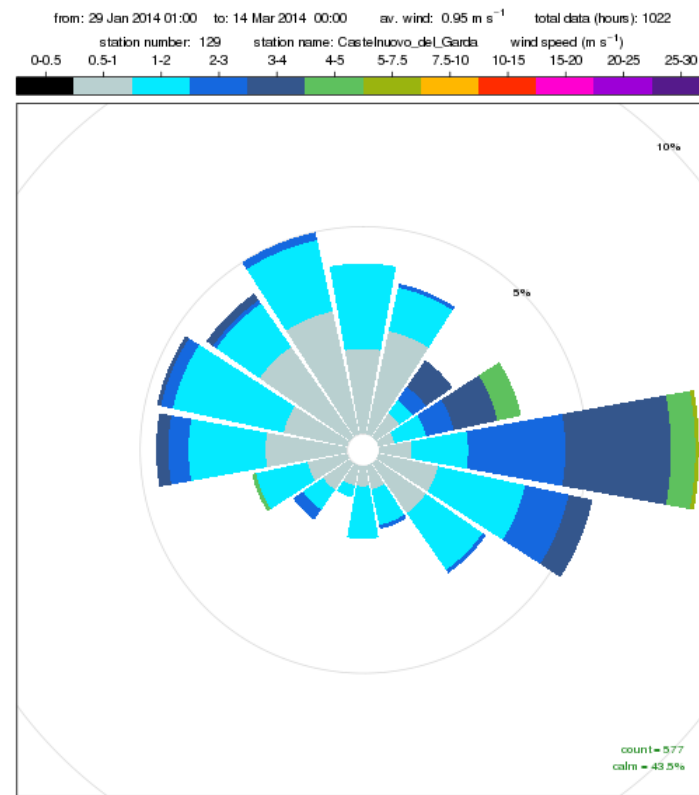


Figura 4. Campagna INVERNALE. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente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



Frequency of counts by wind direction (%)



Frequency of counts by wind direction (%)

Figura 5. Rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Buttapietra nel periodo ESTIVO (1 luglio 2014 – 13 agosto 2014) nel pannello a sinistra ed INVERNALE (28 febbraio 2014 – 13 maggio 2014) 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 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 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 inverno (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 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	92	93	93	95	96	78	22	126	79
Periodo di copertura (%)	25	26	26	26	26	21	6	35	22
Periodo minimo di copertura (%)	14	14	14	10	14	14	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 (%)	92	94	94	95	96	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 (%)	23	24	24	25	25	21	6	35	22
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 Cason e quella di Borgo Milano, entrambe 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 Borgo Milano invece, essendo situata presso 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 Castelnuovo. I parametri sono descritti in modo esteso in Tabella 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 8, esplicitiva del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

Monossido di carbonio (CO)

La Tabella 9, Figura 6 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 stagioni, sia a Castelnuovo sia a Borgo Milano, i valori medi sono stati molto vicini al limite di rilevabilità dello strumento, pari a 0,1 µg/m³. A Castelnuovo, la concentrazione media è leggermente più bassa rispetto a Borgo Milano, mentre il valore massimo estivo è più elevato. 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.

CO (mg/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE+INVERNO	
	Campagna	Bgo Milano	Campagna	Bgo Milano	Campagna	Bgo Milano
media	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4
sd	0.2	0.1	0.2	0.2		
min	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1
max	2.1	1.3	1.3	1.5	2.1	1.5
mediana	0.2	0.3	0.3	0.4		
N	1944	1944	1056	1056	3000	3000
dati mancanti	180	85	68	61	248	146
data.capture	91	96	94	94	92	95
max giornaliero	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7
max.rolling.8	1.3	1.0	0.7	1.0	1.3	1.0
95°percentile	0.7	0.6	0.7	0.8		
99°percentile	1.0	0.9	1.0	1.1		
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 Castelnuovo e confronto con la centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano nello stesso periodo.

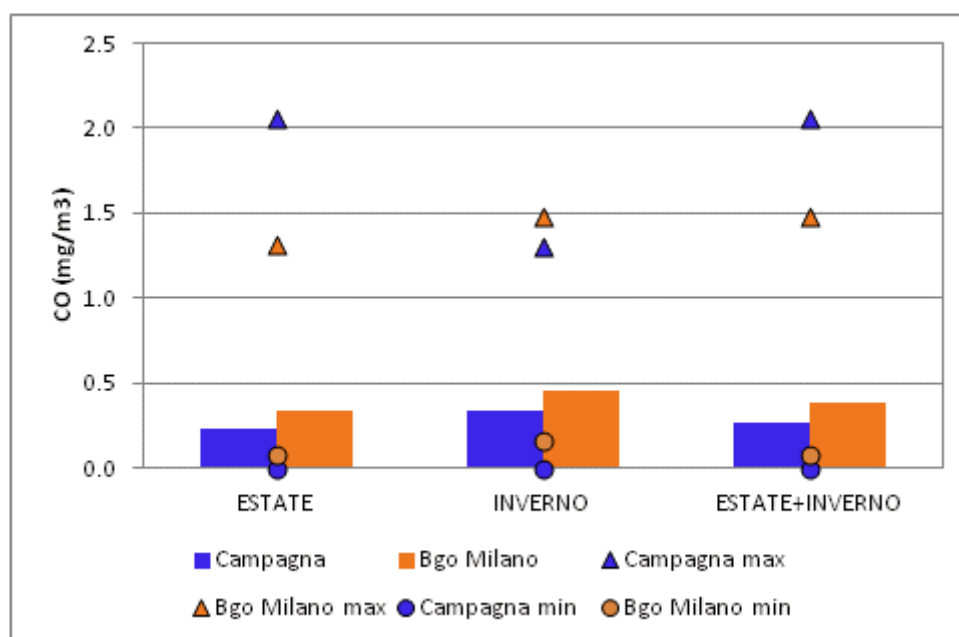


Figura 6. Concentrazione di CO: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Castelnuovo e alla centralina di riferimento di Borgo Milano.

Biossido di azoto (NO₂) – 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/m³. Nello stesso periodo, anche nelle stazioni di riferimento di Cason e Borgo Milano non sono stati rilevati dei superamenti. Relativamente all'esposizione cronica (Tabella 10 e Figura 7) la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 34 µg/m³, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³. Invece, il valore medio di NO_x, pari a 59 µg/m³ (Tabella 11), supera il limite annuale per la protezione della vegetazione di 30 µg/m³ (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. 155/10¹). Il valore medio relativo alla postazione di Castelnuovo è superiore a quello relativo alle due postazioni di riferimento di Borgo Milano e Cason, come anche i valori massimi, in entrambe le campagne.

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.

Nel grafico 8 in Allegato, è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO₂, calcolato per i due periodi di campagna. Si nota la presenza di due picchi, il primo tra le 7 e le 9 del mattino e il secondo tra le 19 e le 20: si può ipotizzare che corrispondano alle ore di traffico stradale più intenso. Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportate in Grafico 9 in Allegato e mostrano che le giornate in cui la concentrazione di NO₂ è maggiore sono quelle tra il martedì e il venerdì, mentre nel fine settimana, quando il traffico stradale è meno intenso, si trovano i valori più bassi. Lo stesso andamento si trova anche nelle stazioni di riferimento del comune di Verona.

NO ₂ (µg/m ³)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason
media	30	26	20	43	38	36	34	30	26
sd	17	16	11	18	16	18			
min	0	2	0	6	6	4	0	2	0
max	109	91	81	113	103	90	113	103	90
mediana	27	22	18	43	39	37			
N	1944	1944	1944	1056	1056	1056	3000	3000	3000
dati mancanti	107	92	129	97	52	55	204	144	184
data.capture	94	95	93	91	95	95	94	95	94
max giornaliero	47	51	37	57	56	54	57	56	54
95°percentile	61	56	40	73	65	65			
99°percentile	76	73	52	91	79	77			
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 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.

¹ L'Allegato III, punto 3.2, del citato decreto stabilisce che i siti di campionamento in cui si valuta la qualità dell'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.

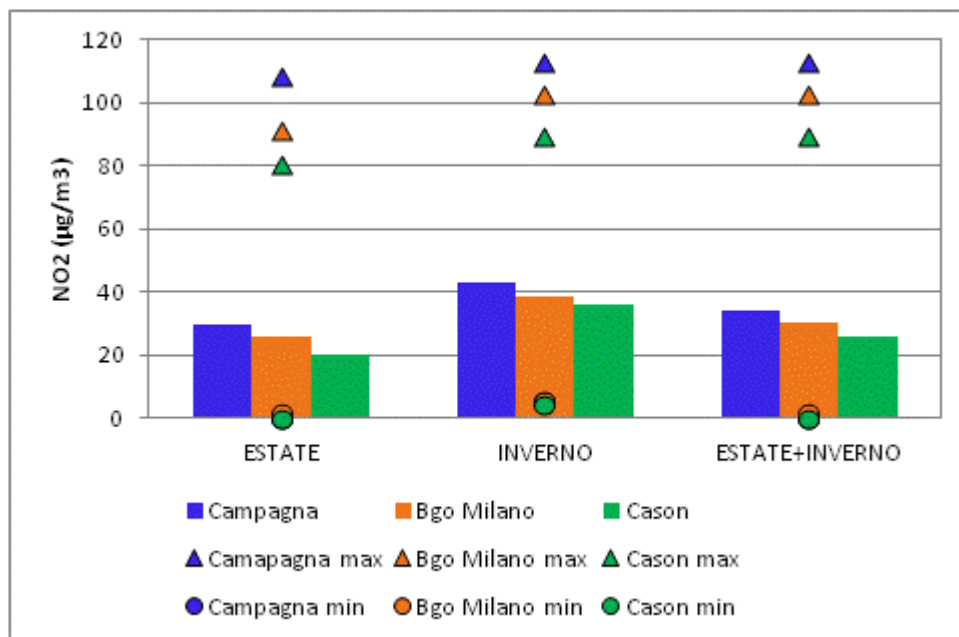


Figura 7. Concentrazione di NO₂: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Castelnuovo e alle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason.

NOx (µg/m ³)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason
media	49	49	30	78	70	54	59	56	38
sd	45	36	29	57	45	40			
min	1	9	0	7	8	4	1	8	0
max	486	302	363	370	310	361	486	310	363
mediana	36	37	22	63	59	46			
N	1944	1944	1944	1056	1056	1056	3000	3000	3000
dati mancanti	107	92	129	97	52	55	204	144	184
data.capture	94	95	93	91	95	95	94	95	94
max giornaliero	134	132	86	188	112	86	188	132	86
95°percentile	139	123	79	189	159	123			
99°percentile	206	184	146	272	220	188			

Tabella 11. Concentrazione di NOx: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Cason.

Biossido di zolfo (SO₂)

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 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 valore limite di rivelabilità strumentale analitica (5 µg/m³), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 µg/m³). Il confronto con le concentrazioni misurate presso la centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano mostra che i valori medi registrati sono simili, leggermente superiori a Castelnuovo in entrambi i periodi, e i valori massimi sono più elevati a Castelnuovo.

SO ₂ (µg/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Campagna	Bgo Milano	Campagna	Bgo Milano	Campagna	Bgo Milano
media	2	1	2	2	2	2
sd	3	1	1	1		
min	0	0	0	0	0	0
max	17	9	8	5	17	9
mediana	1	1	2	2		
N	1944	1944	1056	1056	3000	3000
dati mancanti	176	85	83	49	259	134
data.capture	91	96	92	95	92	96
max giornaliero	8	7	4	3	8	7
95°percentile	8	3	4	3		
99°percentile	13	7	6	4		
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 SO₂: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano.

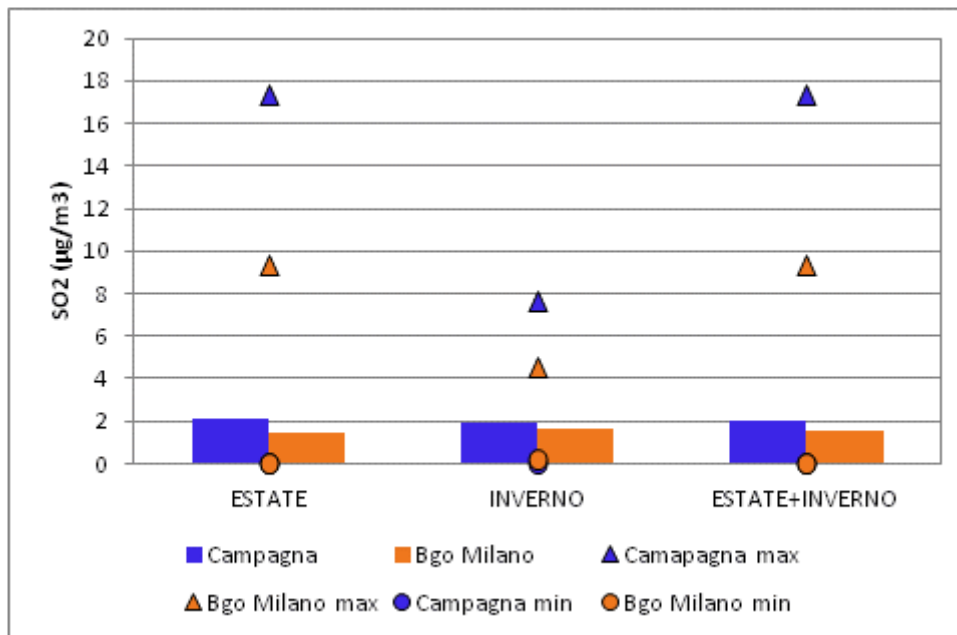


Figura 8. Concentrazione di SO₂: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Castelnuovo e alla centralina di riferimento di Borgo Milano.

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.

La campagna estiva di Castelnuovo è stata condotta in un periodo in cui radiazione e temperatura atmosferica non hanno avuto valori elevati tipici dei mesi estivi: pertanto non si sono verificate criticità e i valori registrati sono sempre stati ampiamente inferiori ai limiti normativi di 240 µg/m³ e 180 µg/m³ (Tabella 13 e Allegato-grafici 4 e 5); anche la media oraria su 8 ore è stata sempre inferiore al valore obiettivo di 120 µg/m³. In Allegato - Grafico 10 si può vedere il grafico del giorno-tipo, che mostra come le concentrazioni più elevate siano raggiunte nelle ore centrali della giornata. Le concentrazioni medie registrate a Castelnuovo sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Cason, leggermente inferiori in estate, come anche i valori massimi.

O ₃ (µg/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Campagna	Cason	Campagna	Cason	Campagna	Cason
media	37	37	22	31	32	35
sd	28	30	21	26		
min	4	5	1	5	1	5
max	130	143	88	107	130	143
mediana	33	27	12	20		
N	1944	1944	1056	1056		
dati mancanti	98	95	81	56		
data.capture	95	95	92	95		
max giornaliero	70	71	63	80		
max.rolling.8	120	128	78	95		
95°percentile	91	95	65	81		
99°percentile	109	113	81	96		
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 13. Concentrazione di O₃: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina di fondo urbano di Cason.

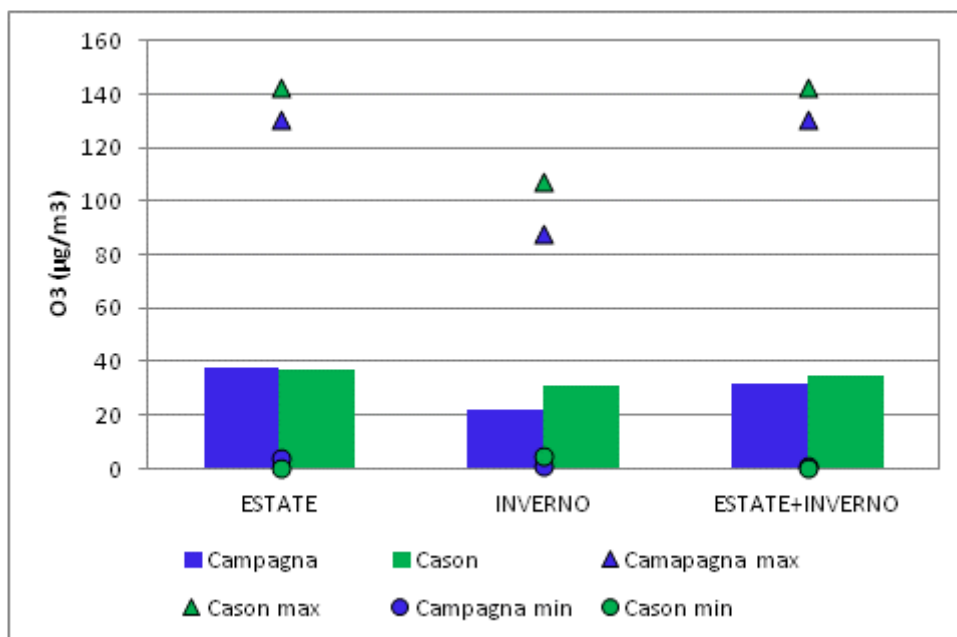


Figura 9. Concentrazione di O₃ : media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Castelnuovo e alla centralina di riferimento di Cason.

Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

In Tabella 14, sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM10, misurate con metodo gravimetrico a Castelnuovo durante le campagne di misura. Nei 78 giorni di misurazione, sono stati registrati 15 superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m³ (che non deve essere superato più di 35 volte all'anno), corrispondenti al 19% del periodo monitorato. Contrariamente a quanto accade in genere, i valori medi e il numero di superamenti del limite di 50 µg/m³ relativi al periodo invernale sono stati inferiori ai corrispondenti relativi al periodo estivo. Si consideri tuttavia che la campagna "estiva" è stata condotta prevalentemente in periodo autunnale: i superamenti del limite normativo sono avvenuti da fine settembre in poi, in corrispondenza di situazioni di alta pressione che hanno favorito l'inversione termica e il ristagno degli inquinanti nello strato atmosferico più vicino alla superficie (dal 24 al 30 settembre, dal 19 al 20 ottobre e dal 24 ottobre fino alla fine della campagna, il 3 novembre; vedasi Grafico 6 in Allegato). Si può quindi dire che il periodo di campagna "estiva" ha in realtà avuto, nella seconda parte, caratteristiche meteorologiche più tipicamente invernali, mentre durante la campagna "invernale" non si sono presentate le condizioni meteorologiche critiche per le polveri sottili, che si presentano tipicamente in inverno.

In Tabella 15 i dati relativi a Castelnuovo sono stati confrontati con quelli delle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason. Si consideri che mentre le misure della campagna di Castelnuovo 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 10. Si può vedere che nel periodo di campagna "estiva", i valori medi di PM10, così come il numero di superamenti dei limiti normativi, a Castelnuovo sono superiori a quelli di Borgo Milano e di Cason. Nel periodo invernale, in cui, i valori medi sono stati più bassi rispetto alla campagna estiva, la situazione nelle tre postazioni di misura è molto simile, sia per quanto riguarda le medie sia per i massimi e il numero di superamenti del limite normativo.

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/m³ e del Valore Limite annuale di 40

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto detto, il sito di Castelnuovo è stato confrontato con la stazione fissa di riferimento di traffico urbano di Borgo Milano. La metodologia di calcolo stima per il sito sporadico di Castelnuovo il valore medio annuale di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (inferiore al valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ed il 90° percentile di $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (superiore al valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE	INVERNO	ESTATE + INVERNO
media	38	28	33
N	39	39	78
sd	21	13	
max	84	55	84
min	12	6	6
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	12	3	15

Tabella 14. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), misurata con metodo gravimetrico a Castelnuovo. Sono stati utilizzati tutti i dati raccolti nei due periodi di campagna di misura.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Campagna	Borgo Milano	Cason	Campagna	Borgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason
media	39	29	33	28	30	27	33	30	30
N	35	35	35	37	37	37	72	72	72
sd	21	17	19	13	15	13			
max	84	62	76	55	59	56	84	62	76
min	12	7	0	6	1	5	6	1	0
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	12	8	6	3	4	2	15	12	8

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.

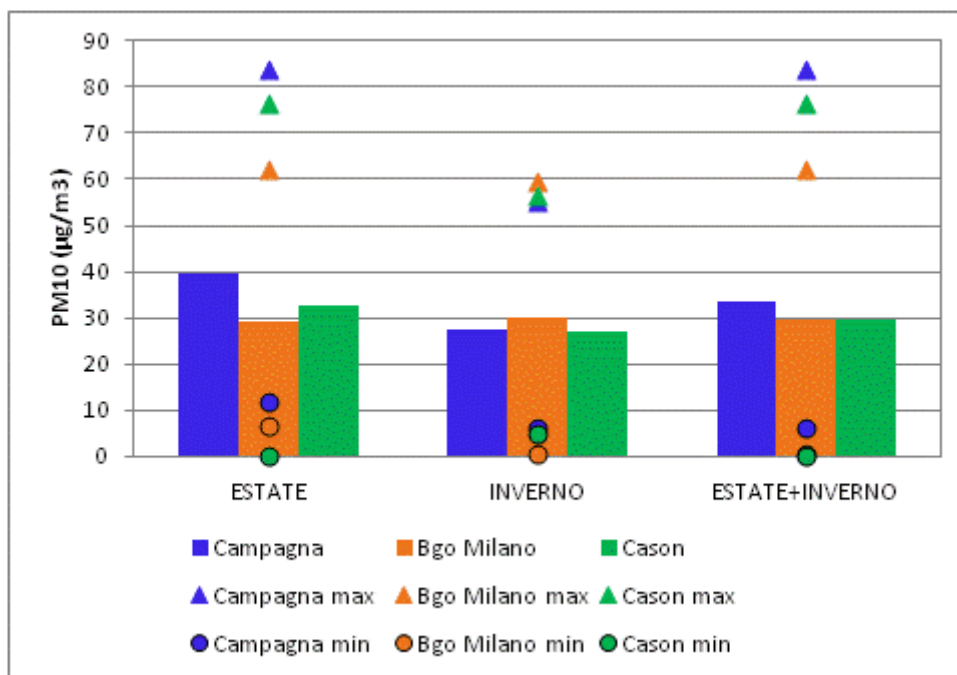


Figura 10. Concentrazione di PM10: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Castelnuovo e alle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason.

Benzene (C₆H₆)

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 Castelnuovo e nelle stazioni fisse di riferimento di Borgo Milano, Corso Milano e 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 11. Si può vedere che i valori medi delle concentrazioni di benzene misurate a Castelnuovo sono inferiori a quelli relativi alle altre postazioni in estate, mentre in inverno sono leggermente superiori a quelle di Corso Milano e inferiori a quelle di Borgo Milano e Cason. La media pesata delle concentrazioni estive e invernali è 1.3 µg/m³, inferiore al limite annuale di 5 µg/m³.

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.

benzene (µg/m ³)	ESTATE				INVERNO				ESTATE + INVERNO			
	Bgo Milano	Cason	Castelnuovo	Cso Milano	Bgo Milano	Cason	Castelnuovo	Cso Milano	Bgo Milano	Cason	Castelnuovo	Cso Milano
Media	1.1	0.6	0.5	0.9	2.8	2.2	2.0	1.8	1.8	1.3	1.3	1.3
N giorni	33	33	33	43	27	27	44	27	60	60	87	60
sd	0.6	0.5	0.2	0.9	1.6	1.5	0.6	1.0				
max	1.5	1.0	0.7	1.5	4.5	3.9	2.4	2.9	4.5	3.9	2.4	2.9
min	0.6	0.3	0.3	0.3	1.4	1.0	1.3	1.1	0.6	0.3	0.3	0.3

Tabella 16. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene: dati della campagna di misura di Castelnuovo, 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.

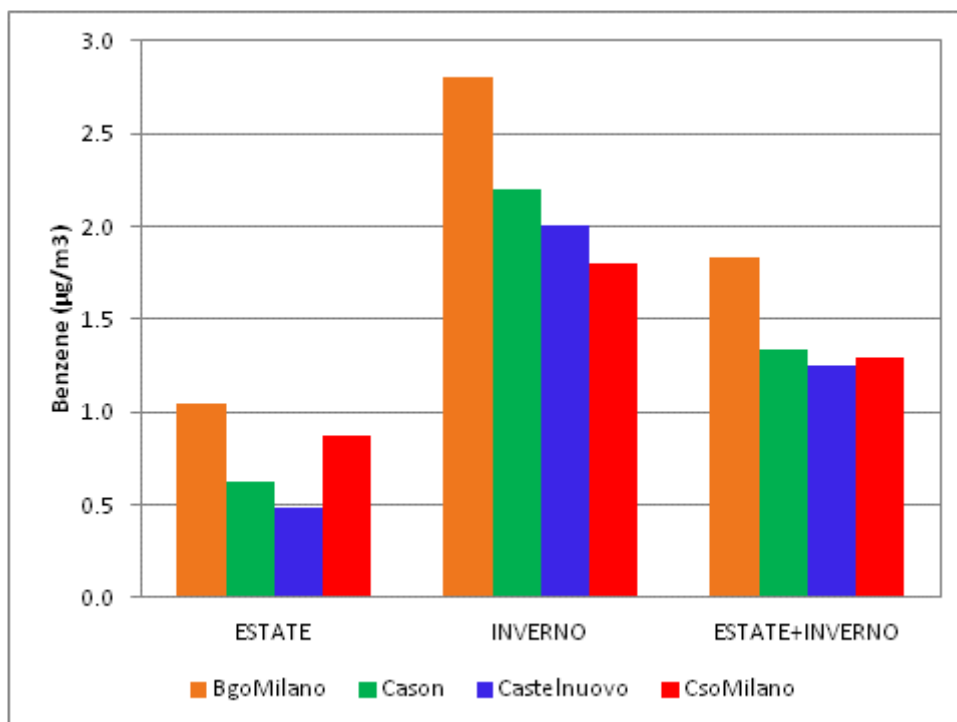


Figura 11. Concentrazione di benzene misurata durante i periodi di campagna in diverse postazioni (Castelnuovo, Borgo Milano, Corso Milano e Cason) .

(µg/m ³)	ESTATE				INVERNO			
	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)
Borgo Milano	0.3	0.3	1.1	1.2	0.8	0.4	2.3	1.6
Cason	0.4	0.3	1.9	1.6	2.2	0.5	2.8	1.5
Castelnuovo	0.3	0.7	3.5	3.9	2.0	0.5	3.4	1.6
Corso Milano	0.6	0.6	2.9	2.8	1.8	0.7	7.8	1.7

Tabella 17. Concentrazione media delle varie specie di idrocarburi aromatici nelle diverse postazioni di misura.

Benzo(a)pirene (B(a)p)

In Tabella 18 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzoapirene per le due postazioni di Castelnuovo e della centralina fissa di 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 19, gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando tutti i dati disponibili per Castelnuovo, per tutte le specie di IPA misurati. La concentrazione media di benzo(a)pirene a Castelnuovo è più bassa di quella registrata a Cason in entrambi i periodi di campagna (Figura 12). Il valore medio riferito ai due periodi è $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e non supera il valore obiettivo, riferito alla media annuale, pari a $1.0 \text{ ng}/\text{m}^3$. I valori medi invernali sono superiori ai corrispondenti relativi alla campagna estiva.

Benzopirene (ng/m^3)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Castelnuovo	Cason	Castelnuovo	Cason	Castelnuovo	Cason
media	0.2	0.4	0.8	1.0	0.5	0.7
N	13	13	9	9	22	22
sd	0.5	0.8	0.4	0.4		
max	1.3	2.3	1.6	1.4	1.6	2.3
min	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0

Tabella 18. Concentrazione di Benzoapirene: dati della campagna di misura a Castelnuovo 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.

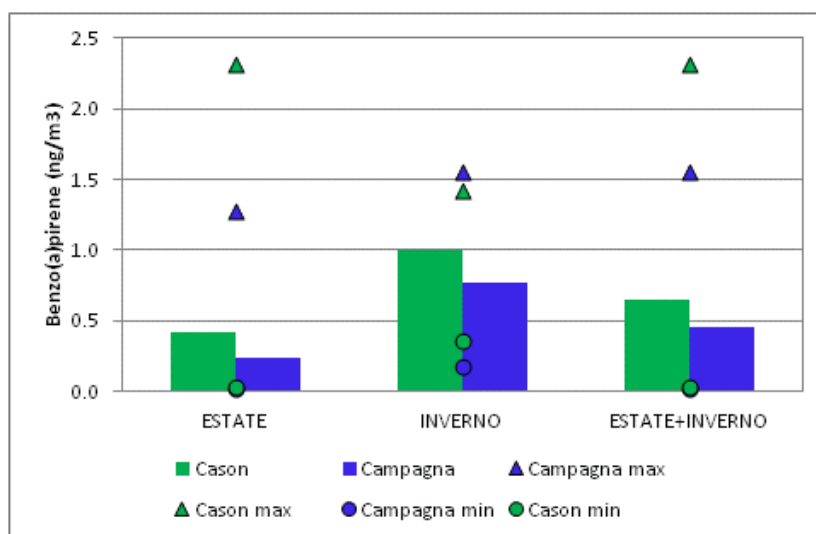


Figura 12. Concentrazione di benzopirene a Castelnuovo e Cason, nel periodo di campionamento comune alle due località: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne.

(ng/m³)	ESTATE					INVERNO					ESTATE + INVERNO			
	media	N	sd	max	min	media	N	sd	max	min	media pesata	N	max	min
Benzoaantracene	0.1	51	0.3	0.9	0.0	0.4	28	0.2	0.8	0.1	0.2	79	0.9	0.0
Benzoapirene	0.2	51	0.4	1.3	0.0	0.8	28	0.4	1.6	0.2	0.4	79	1.6	0.0
Benzobfluorantene	0.2	51	0.3	1.1	0.0	1.0	28	0.4	1.8	0.3	0.5	79	1.8	0.0
Benzoghiperilene	0.2	51	0.4	1.3	0.0	0.8	28	0.3	1.4	0.3	0.4	79	1.4	0.0
Benzokfluorantene	0.1	51	0.2	0.6	0.0	0.4	28	0.2	0.8	0.1	0.2	79	0.8	0.0
Dibenzoahantracene	0.0	51	0.0	0.1	0.0	0.1	28	0.0	0.1	0.0	0.0	79	0.1	0.0
Indeno123cdpirene	0.1	51	0.3	1.0	0.0	0.7	28	0.3	1.3	0.2	0.3	79	1.3	0.0

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

Metalli (Pb, As, Cd, Ni)

In Tabella 20 sono riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di metalli misurata a Castelnuovo. 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 Cason. I dati sono rappresentati graficamente in Figura 13. I valori medi di concentrazione di tutti i metalli a Castelnuovo sono molto simili a quelli di Cason. Per nichel e piombo, si nota che i valori medi a Castelnuovo sono maggiori di quelli di Cason in estate, minori in inverno.

Metallo	media	N. campioni	max	min	Limite esposizione cronica	Superamento del limite	Livello di fondo	Aree urbane
	ng/m ³							
As	0.5	22	0.5	0.5	6.0	NO	1 - 3	20-30
Cd	0.1	22	0.3	0.1	5.0	NO	1 - 3	20-30
Ni	1.7	22	2.8	1.0	20.0	NO	1 - 3	20-30
Pb	7.7	22	11.2	5.3	500.0	NO	1 - 3	20-30

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

Metallo		ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
		Castelnuovo (ng/m ³)	Cason (ng/m ³)	Castelnuovo (ng/m ³)	Cason (ng/m ³)	Castelnuovo (ng/m ³)	Cason (ng/m ³)
Arsenico	media	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	n° dati	9	9	4	4	13	13
	max	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	min	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cadmio	media	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
	n° dati	9	9	4	4	13	13
	max	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.3
	min	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Nichel	media	2.3	1.8	1.0	2.6	1.9	2.1
	n° dati	9	9	4	4	13	13
	max	2.8	2.8	1.0	2.6	2.8	2.8
	min	1.0	1.0	1.0	2.5	1.0	1.0
Piombo	media	7.2	6.1	6.3	6.6	6.9	6.2
	n° dati	9	9	4	4	13	13
	max	8.3	8.5	6.6	9.4	8.3	9.4
	min	5.3	3.8	6.2	5.7	5.3	3.8

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

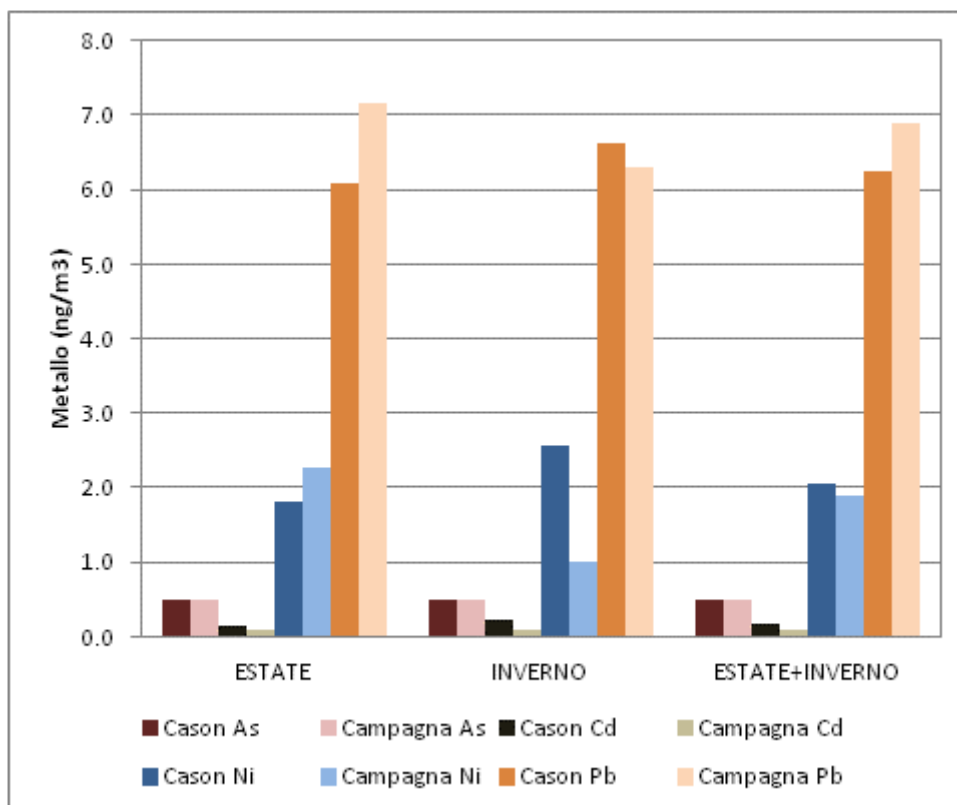


Figura 13. Concentrazione media di metalli nei due periodi di campagna, nelle postazioni di Castelnuovo (campagna) e di Cason.

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 come riportato nella tabella seguente.

Cromatismi	Qualità dell'aria
	Buona
	Accettabile
	Mediocre
	Scadente
	Pessima

Il calcolo dell'indice, che può essere effettuato per ogni giorno di campagna, è basato sull'andamento delle concentrazioni di 3 inquinanti: PM10, biossido di azoto e ozono.

Le prime due classi (buona e accettabile) informano che per nessuno dei tre inquinanti vi sono stati superamenti dei relativi indicatori di legge e che quindi non vi sono criticità legate alla qualità dell'aria in una data stazione.

Le altre tre classi (mediocre, scadente e pessima) indicano invece che almeno uno dei tre inquinanti considerati ha superato il relativo indicatore di legge. In questo caso la gravità del superamento è determinata dal relativo giudizio assegnato ed è possibile quindi distinguere situazioni di moderato superamento da altre significativamente più critiche.

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

In Figura 14 e Figura 15 è riportato il numero di giorni ricadenti in ciascuna classe dell'IQA, per le due campagne di misura, estiva e invernale, rispettivamente. Si vede che durante la campagna estiva la qualità dell'aria è stata prevalentemente accettabile, sia in estate sia in inverno (51% e 49% del periodo, rispettivamente nelle due stagioni). Non ci sono state giornate con qualità dell'aria scadente o pessima.

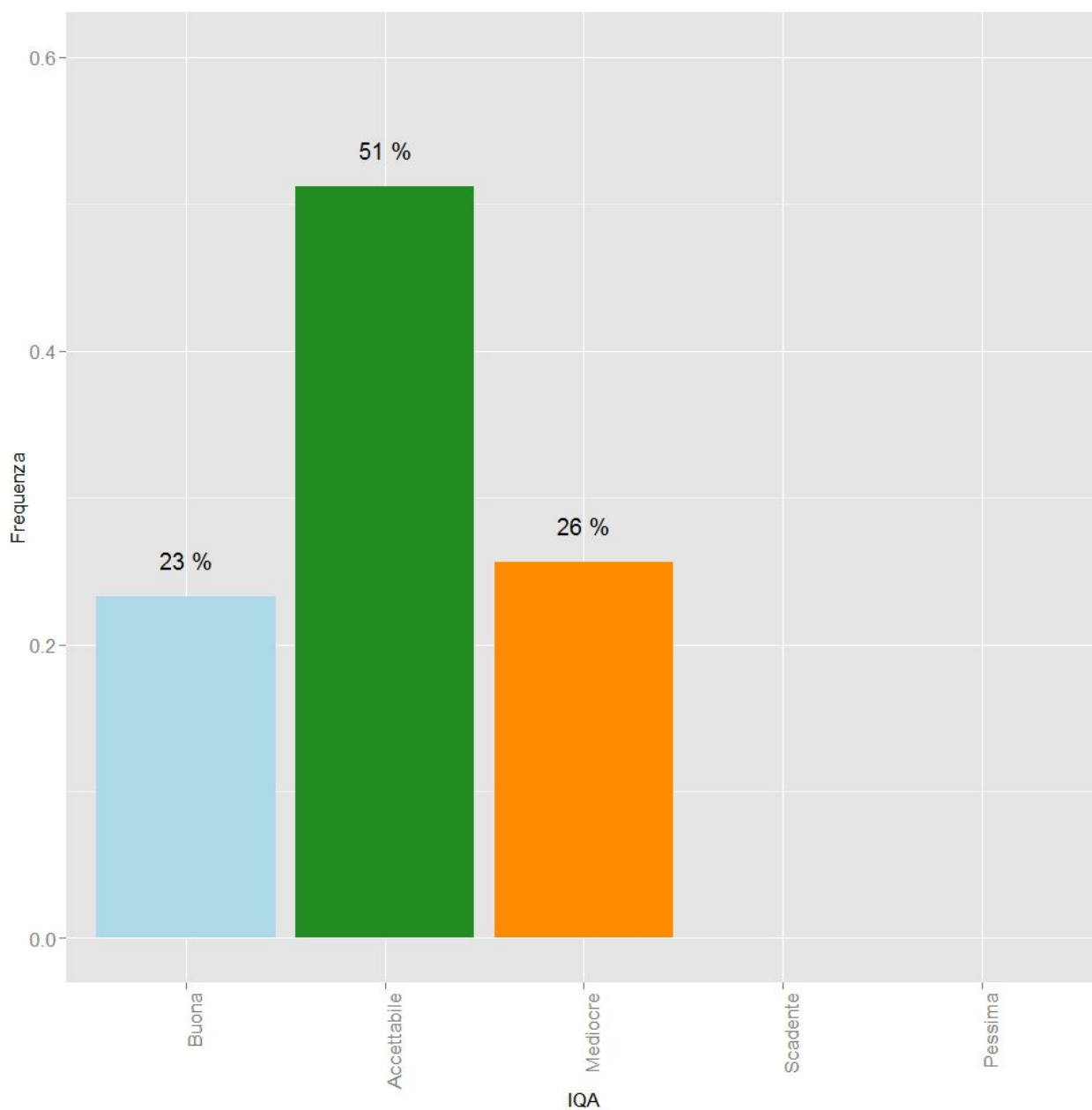


Figura 14. Indice sintetico di qualità dell'aria per la campagna estiva a Castelnuovo

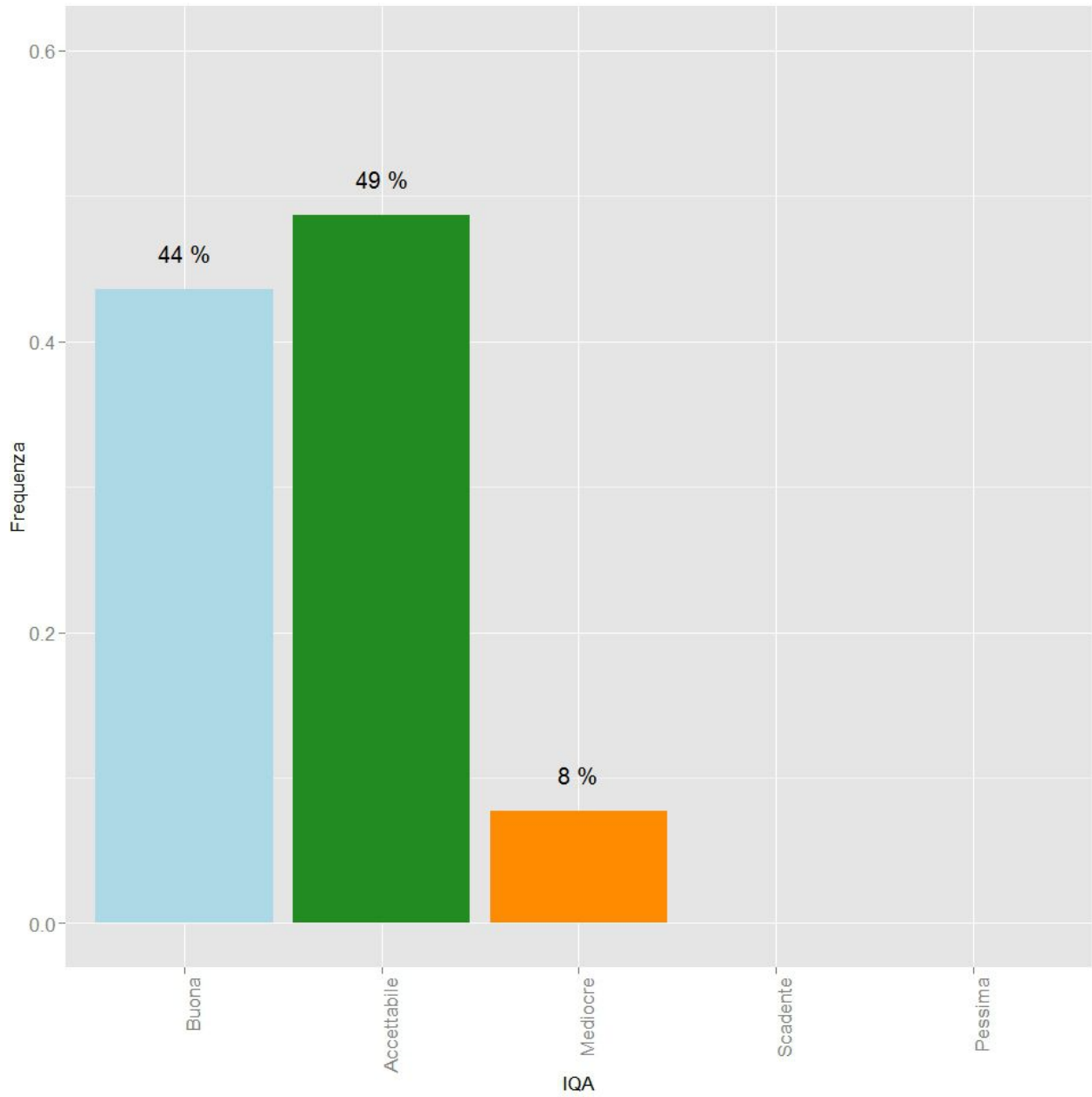


Figura 15. Indice sintetico di qualità dell'aria per la campagna invernale a Castelnuovo

Indice di qualità dell'aria



Figura 16. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria. Estate.

Indice di qualità dell'aria



Figura 17. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria. Inverno.

9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse

La stazione del comune di Verona di Borgo Milano, essendo di “traffico urbano”, posta a circa 15 km a est di Castelnuovo, può essere considerata rappresentativa anche dell’area di quest’ultima. Pertanto è stato effettuato un confronto, per gli inquinanti più significativi (NO₂, benzene e PM10), con le medie annuali registrate negli anni precedenti presso questa centralina fissa. I risultati sono riportati in forma grafica Figura 18, Figura 19 e Figura 20, dove sono riportati anche i valori relativi alla centralina fissa di riferimento di Cason.

Per quanto riguarda il biossido di azoto, si osserva una tendenza alla diminuzione della concentrazione di questo inquinante negli anni analizzati, sia a Borgo Milano sia a Cason. Il valore medio durante la campagna risulta molto vicino alle medie annuali registrate dalle stazioni fisse negli anni precedenti. I valori relativi alla stazione di background urbano di Cason sono inferiori a quelli della stazione di traffico di Borgo Milano, come ci si può attendere, essendo questo inquinante prevalentemente associato alle emissioni da traffico. I valori di NO₂ relativi a Castelnuovo, sono più bassi elevati di quelli di Borgo Milano e di Cason.

Il benzene, negli anni considerati, non mostra una tendenza definita. I valori medi di Borgo Milano sono leggermente superiori a quelli di Cason, tranne nel 2014, in cui sono leggermente superiori. Nei due periodi di campagna di misura, la concentrazione di benzene in Borgo Milano è stata superiore rispetto a Cason. I valori medi Castelnuovo sono inferiori, anche rispetto a Cason.

La concentrazione di PM10 mostra una tendenza alla diminuzione tra il 2007 e il 2014. I valori di Borgo Milano sono superiori a quelli di Cason, con eccezione del 2014, in cui sono leggermente inferiori. Nel periodo di campagna i valori medi di PM10 di Borgo Milano e Cason sono molto vicini, simili a quelli dell’anno 2014. La concentrazione media a Castelnuovo è superiore a quella delle centraline.

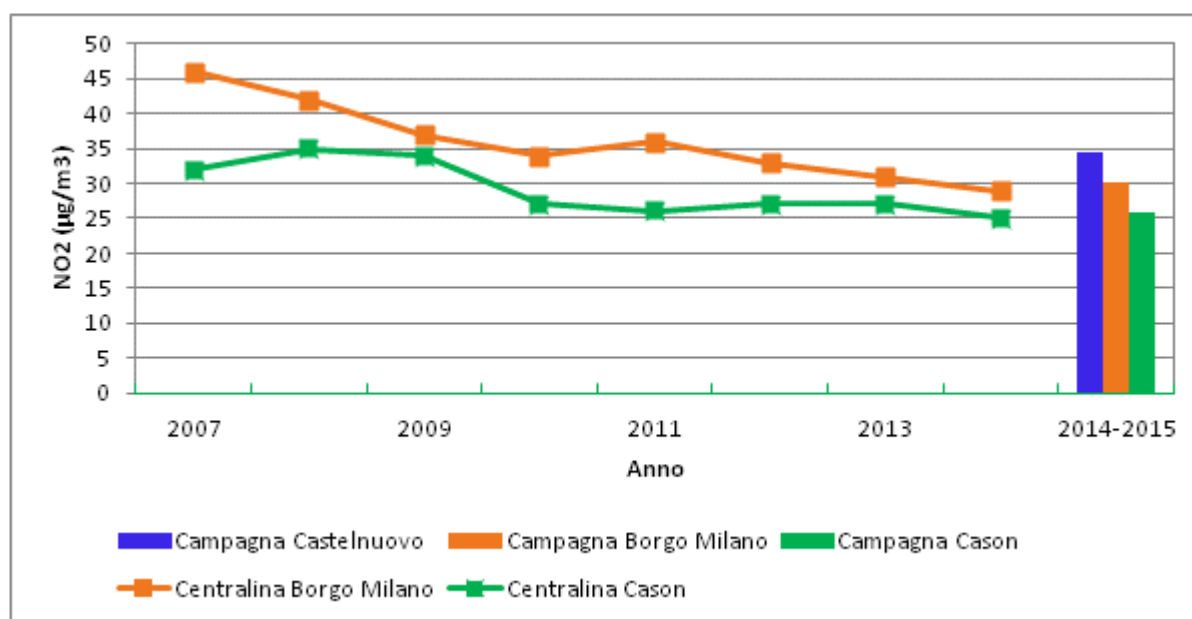


Figura 18. NO₂: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2013 – 2014 misurate dal mezzo mobile a Castelnuovo, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

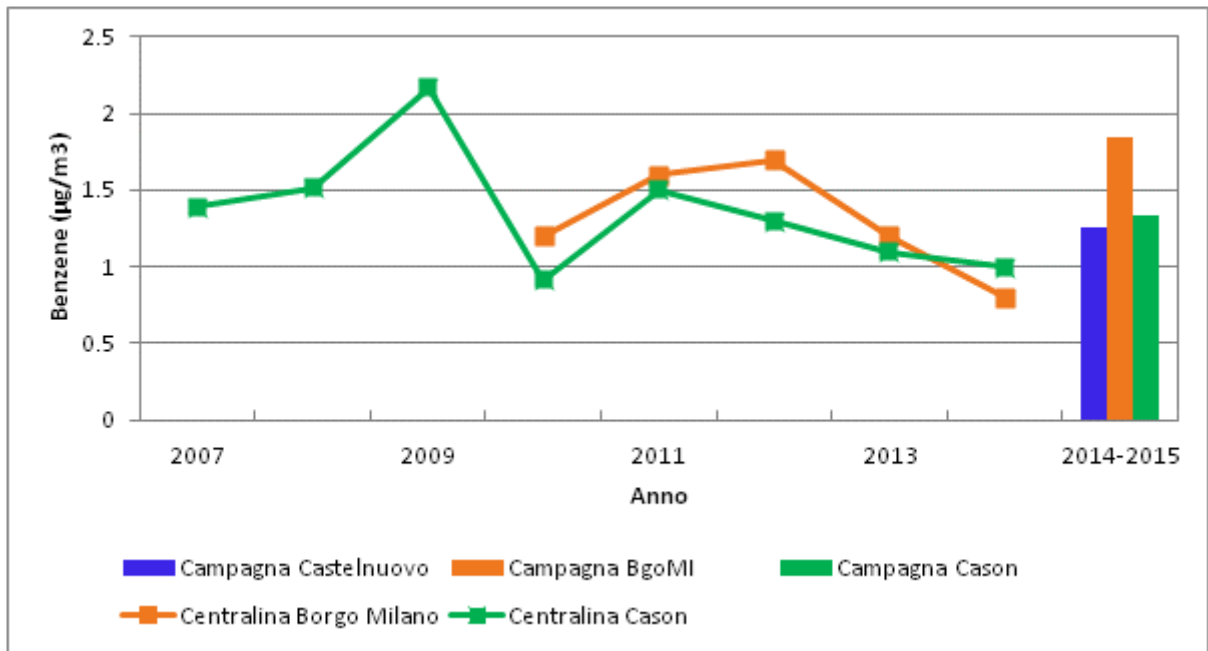


Figura 19. Benzene: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2013 – 2014 misurate dal mezzo mobile a Castelnuovo, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

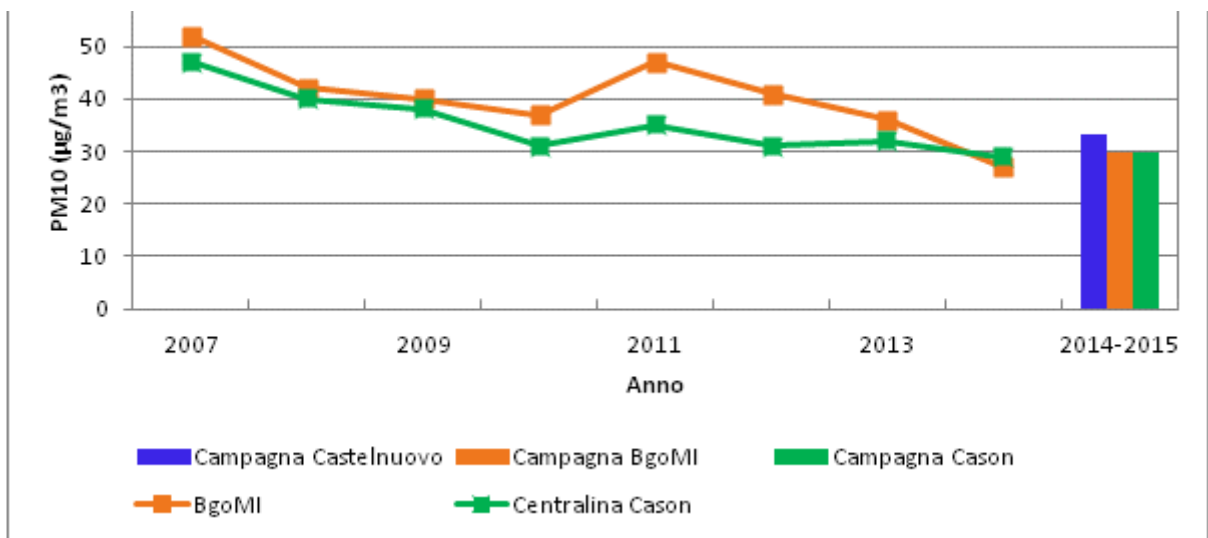


Figura 20. PM10: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2013 – 2014 misurate dal mezzo mobile a Castelnuovo, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

10. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Castelnuovo, in Piazza degli Alpini (la piazza principale del paese), 50 m a nord di Via Milano: questa è una strada di traffico intenso, soprattutto nel periodo estivo, costituendo una via di accesso alla zona del lago e ai parchi divertimenti di Peschiera del Garda. Il sito, per le caratteristiche descritte, può essere considerato di "traffico urbano".

Le campagne di misura sono state realizzate in due periodi dell'anno: il primo, che va dal 29 gennaio 2014 al 13 marzo 2014, il secondo, che va dal 15 agosto al 3 novembre 2014. La prima campagna ha avuto caratteristiche climatiche autunnali più che estive: in particolare, nella seconda parte, da fine settembre in poi, ci sono state alcune giornate caratterizzate da condizioni di alta pressione, con associata inversione termica, che rappresentano la situazione meteorologica tipica che favorisce l'accumulo degli inquinanti nello strato superficiale. Entrambi i periodi sono stati caratterizzati da condizioni meteorologiche molto variabili.

Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO₂, 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 del comune di Verona: quella di traffico urbano di Borgo Milano e quella di fondo urbano di Cason.

L'analisi dei dati ha evidenziato che la zona monitorata, a Castelnuovo, presenta le caratteristiche tipiche di un sito di traffico, essendo caratterizzata da valori medi di ossidi di azoto e di polveri sottili confrontabili o superiori a quelli della centralina di riferimento di fondo urbano di Borgo Milano, del comune di Verona.

Nel caso degli ossidi di azoto, inquinanti legati principalmente alle emissioni da traffico, i valori medi e massimi registrati a Castelnuovo sono superiori a quelli di Borgo Milano, come anche a quelli di Cason. Nel periodo di svolgimento delle campagne di misura non vi è stato alcun superamento dei limiti normativi relativi all'esposizione acuta, a Castelnuovo 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 34 µg/m³, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³; invece la stessa media relativa agli NO_x è 59 µg/m³, superiore al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 µg/m³.

I valori medi di PM10 relativi a Castelnuovo sono stati più elevati durante la campagna estiva rispetto a quella invernale: le concentrazioni più elevate si sono manifestate tra fine settembre e i primi di novembre, in condizioni di alta pressione, che favorisce il ristagno degli inquinanti in superficie. Tali condizioni meteorologiche, al contrario, non si sono verificate durante il periodo di campagna invernale. Durante la campagna estiva, i valori medi e massimi misurati a Castelnuovo sono stati superiori a quelli delle centraline del comune di Verona, mentre per quanto riguarda la campagna invernale, i valori sono confrontabili.

Il numero di superamenti del limite normativo (valore giornaliero di 50 µg/m³ da non superare per più di 35 volte l'anno) è pari al 19% del periodo monitorato. La stima del valore medio annuale per il sito di Castelnuovo, ottenuta dal confronto con i valori della centralina fissa più vicina e rappresentativa del sito stesso (Borgo Milano), è stata 30 µg/m³, che è inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³. In base alla stessa metodologia si stima il 90° percentile pari a 60 µg/m³, il che determina un superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m³ per un numero di volte superiore a 35.

Le concentrazioni medie di ozono registrate a Castelnuovo sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Cason, leggermente inferiori. Nei periodi di campagna non si sono verificati superamenti dei limiti normativi. Tuttavia si consideri che la campagna estiva è stata condotta in un periodo in cui non si sono verificate le condizioni meteorologiche critiche per questo inquinante.

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, e confrontabili con i corrispondenti relativi alla stazione fissa di riferimento di Borgo Milano.

Il benzene, misurato con campionatori passivi, presenta valori medi leggermente inferiori a quelli delle centraline di riferimento di Verona. La media pesata delle concentrazioni estive e invernali è $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore al limite annuale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

La concentrazione media di benzo(a)pirene a Castelnuovo è più bassa di quella registrata a Cason in entrambi i periodi di campagna. Il valor medio sui due periodi è pari a $0.5 \text{ ng}/\text{m}^3$, inferiore al valore obiettivo riferito alla media sull'anno civile di $1.0 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Le concentrazioni medie dei metalli misurate a Castelnuovo, 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 di tutti i metalli a Castelnuovo sono molto simili a quelli di Cason.

Mediamente, nei due periodi monitorati, la qualità dell'aria del comune di Castelnuovo è risultata accettabile, e non ci sono state giornate con qualità dell'aria scadente o pessima. Si consideri tuttavia che entrambe le campagne sono state svolte in periodi con condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti: durante la campagna estiva non si sono verificati periodi particolarmente caldi, che sono critici per la concentrazione di ozono, e durante la campagna invernale non ci sono stati periodi prolungati di inversione termica, che favoriscono il ristagno delle polveri sottili.

ALLEGATO

In questo allegato sono stati riportati anche alcuni grafici di tipo “box-whisker”, il cui significato è illustrato in Figura 21.

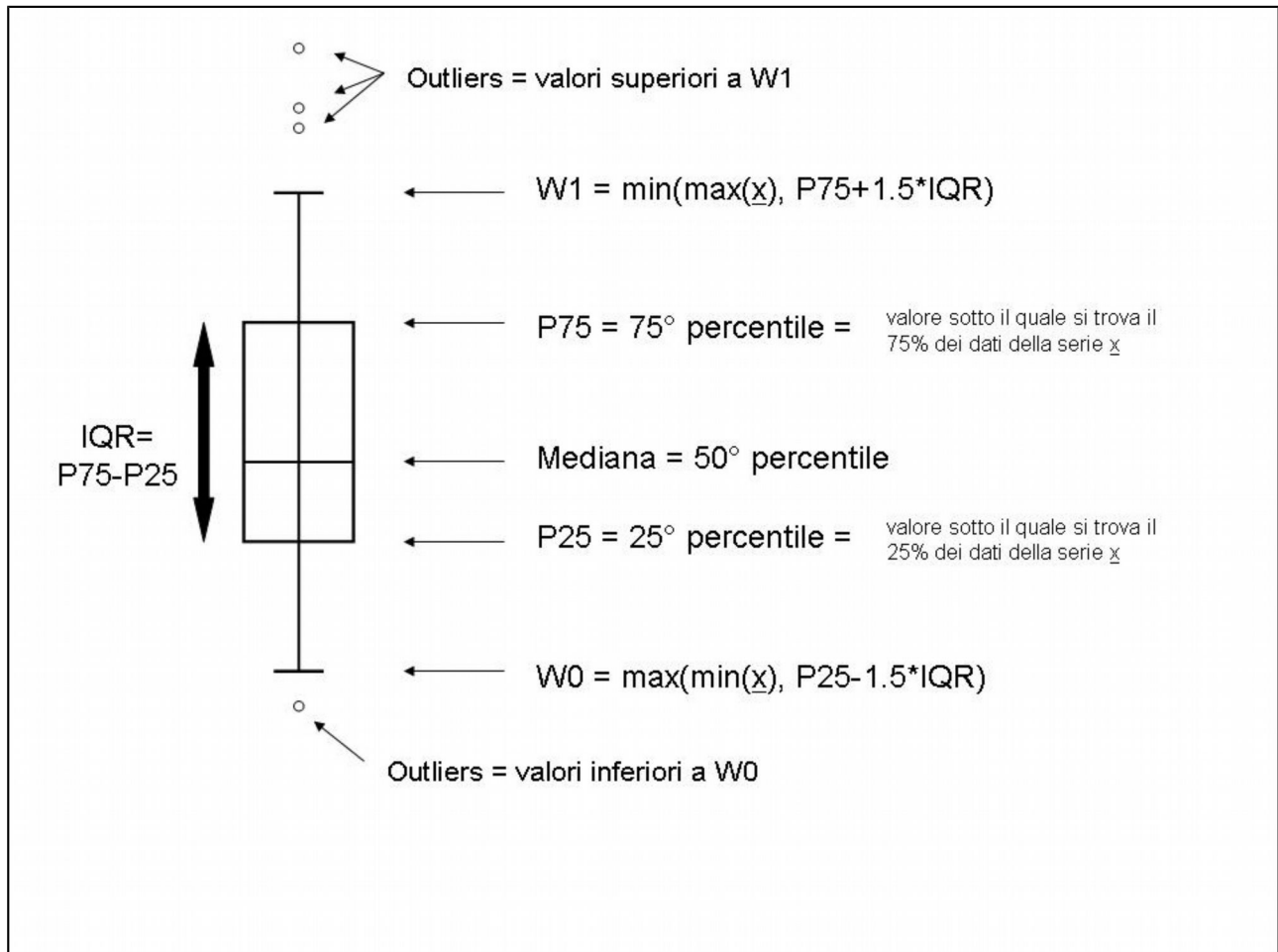
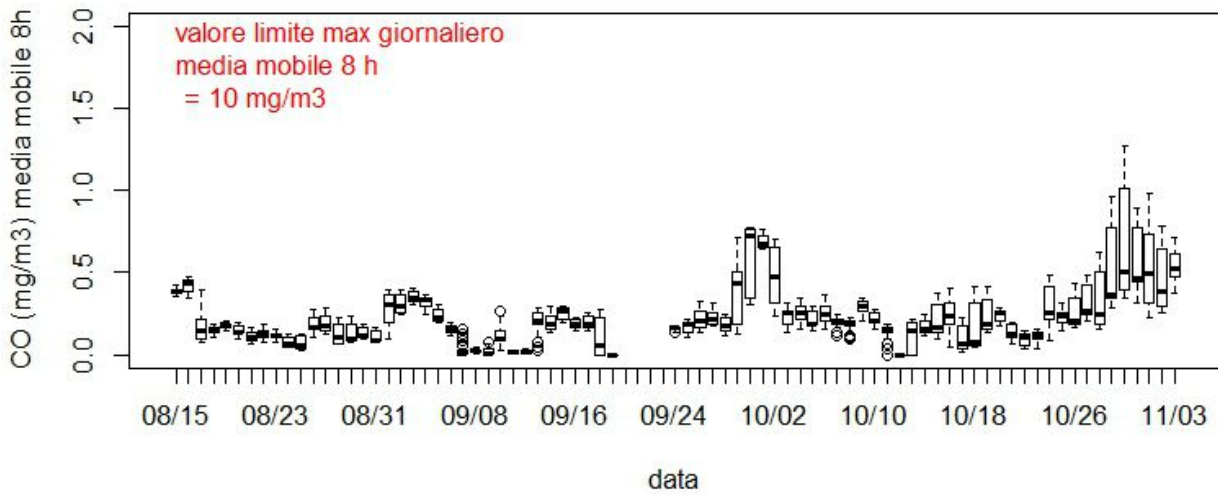


Figura 21. Schema esplicativo del box-Whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata 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.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

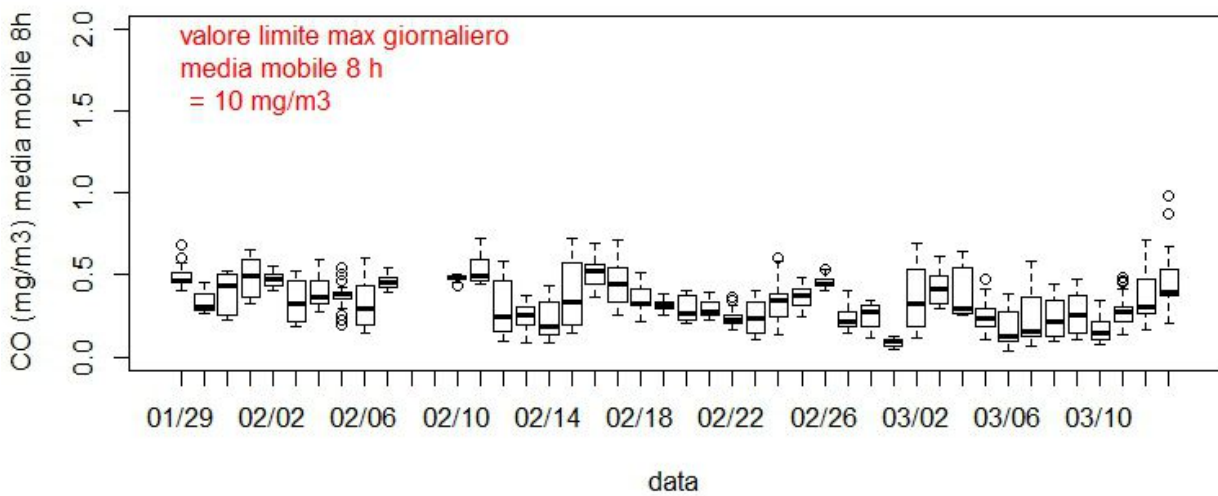
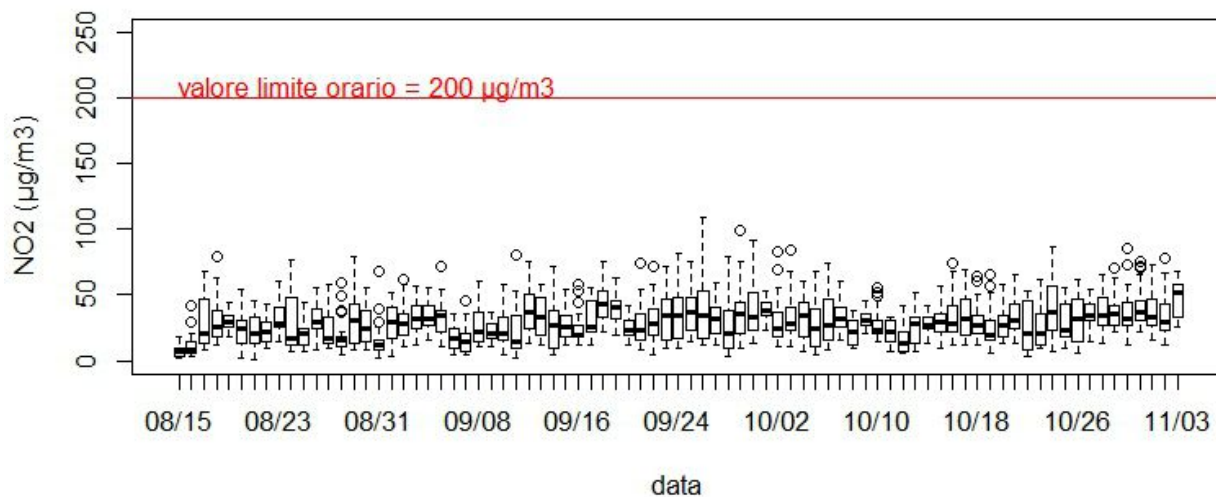


Grafico 2 – Concentrazione di NO₂ (µg/m³), box-wisker plot. “Esposizione acuta”.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

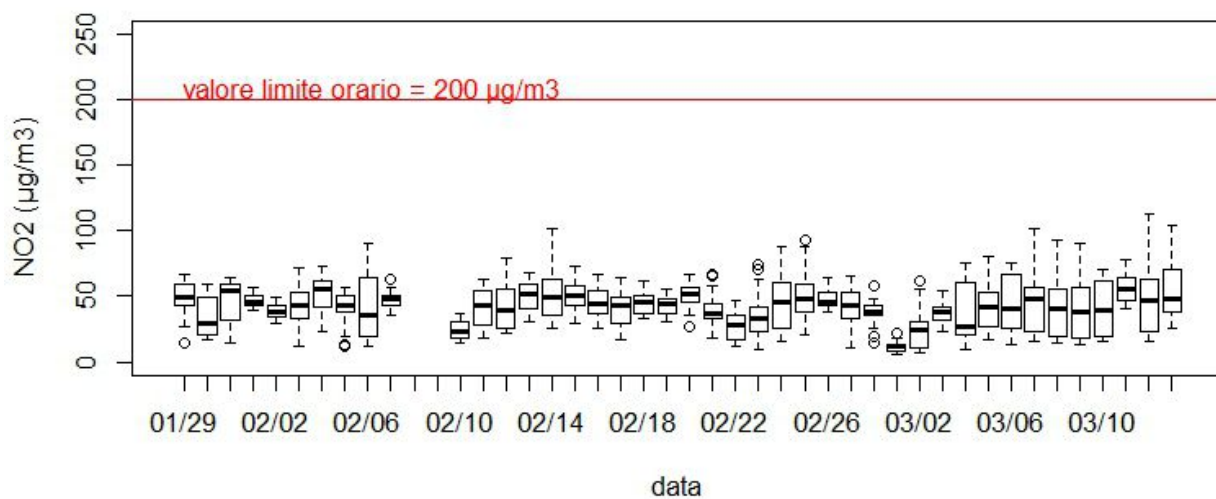
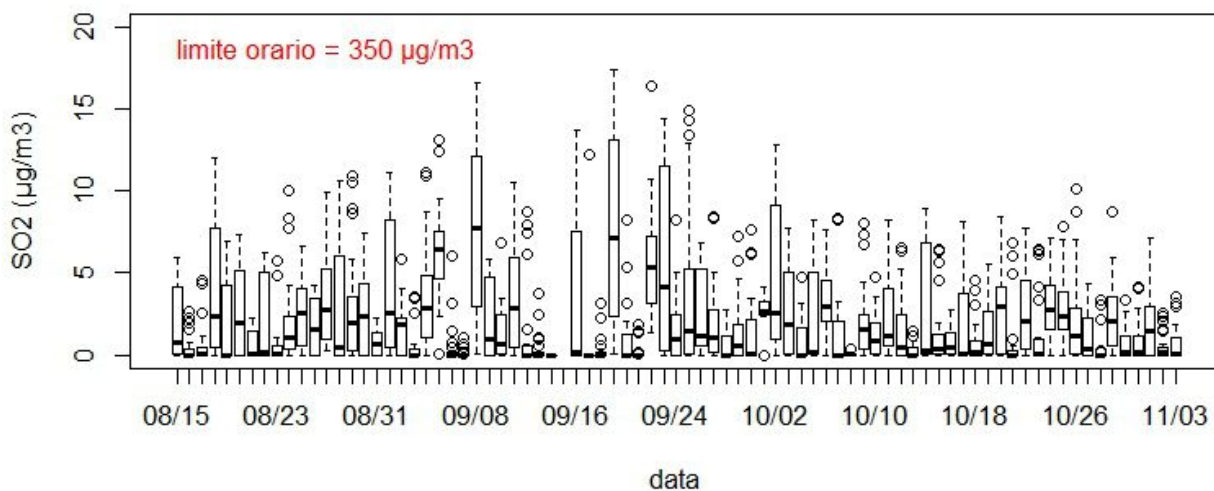


Grafico 3 – Concentrazione di SO₂ (µg/m³), box-wisker plot.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

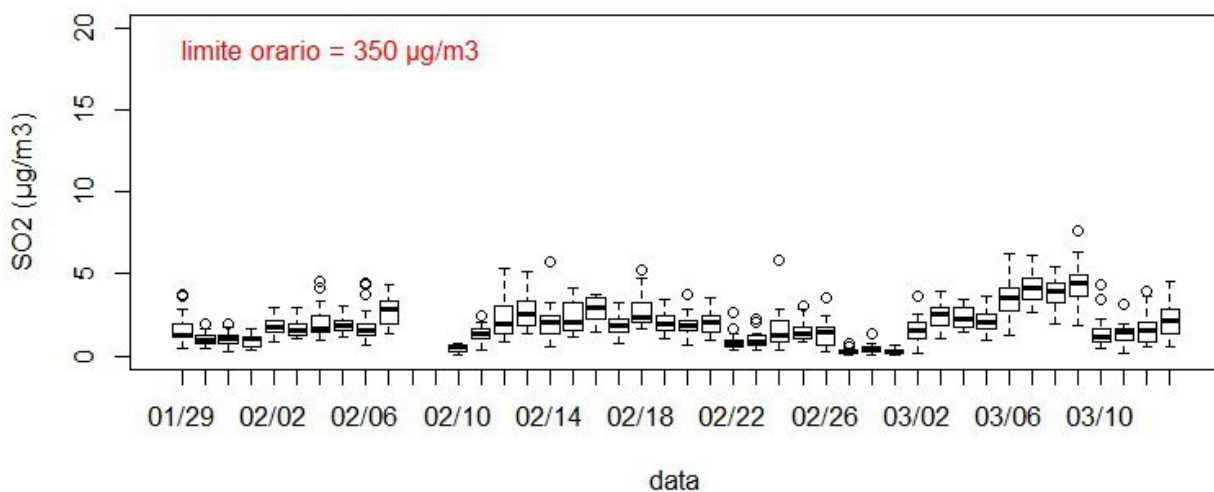
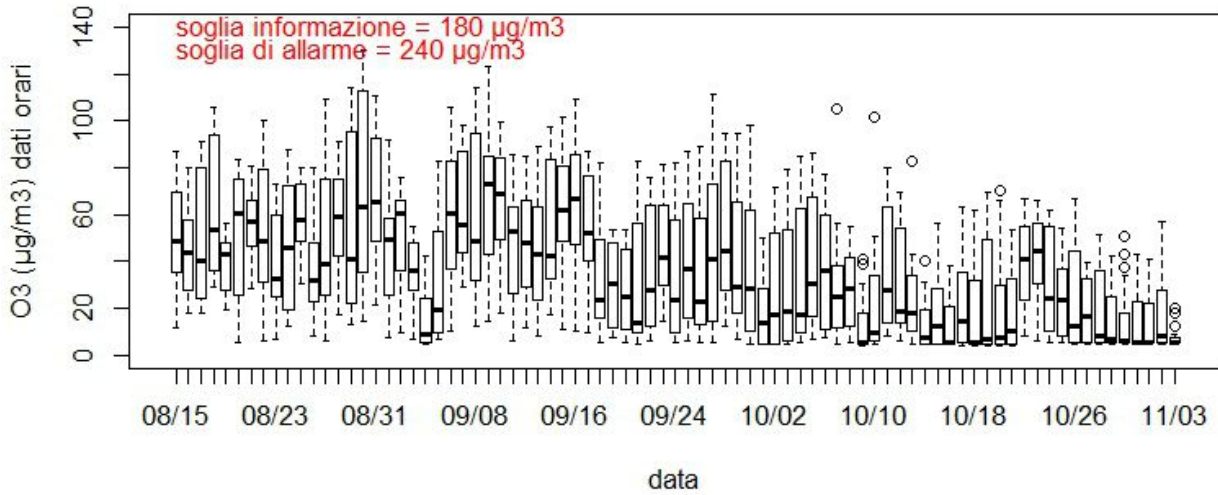


Grafico 4 – Concentrazione di O₃ (µg/m³), box-wisker plot.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

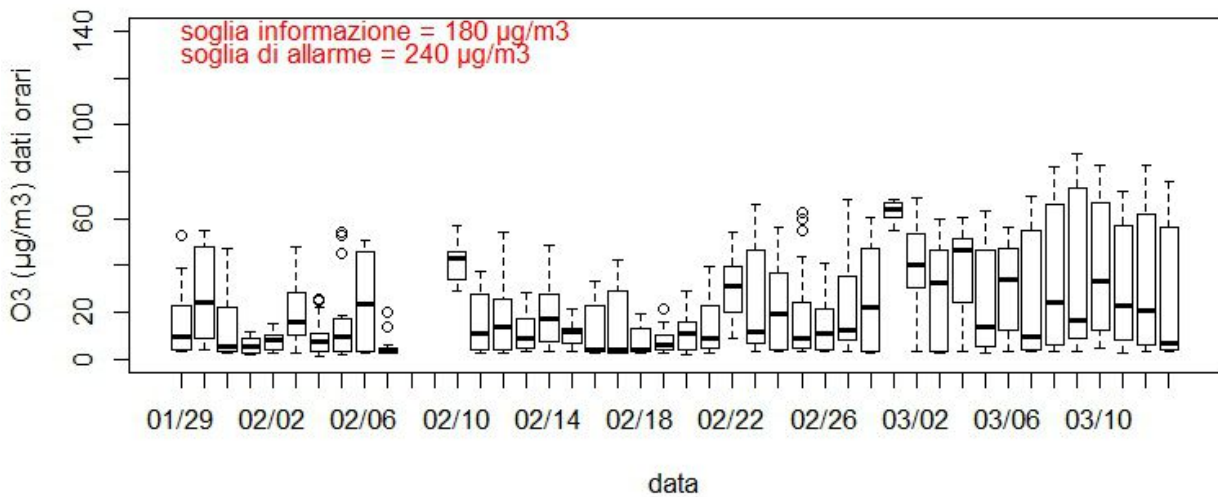
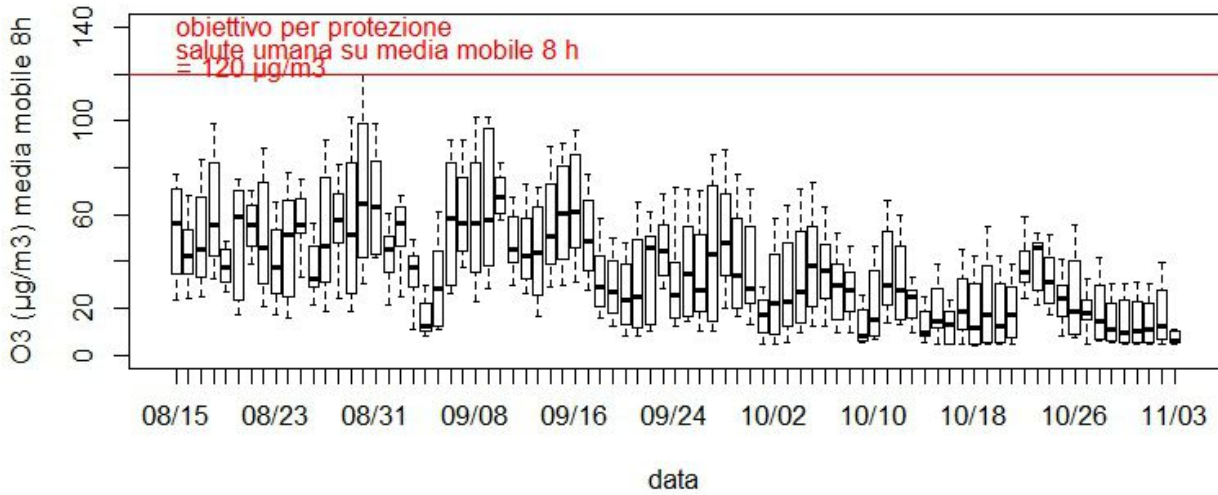


Grafico 5 – Concentrazione di O₃ (µg/m³), media mobile di 8 ore, box-wisker plot.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

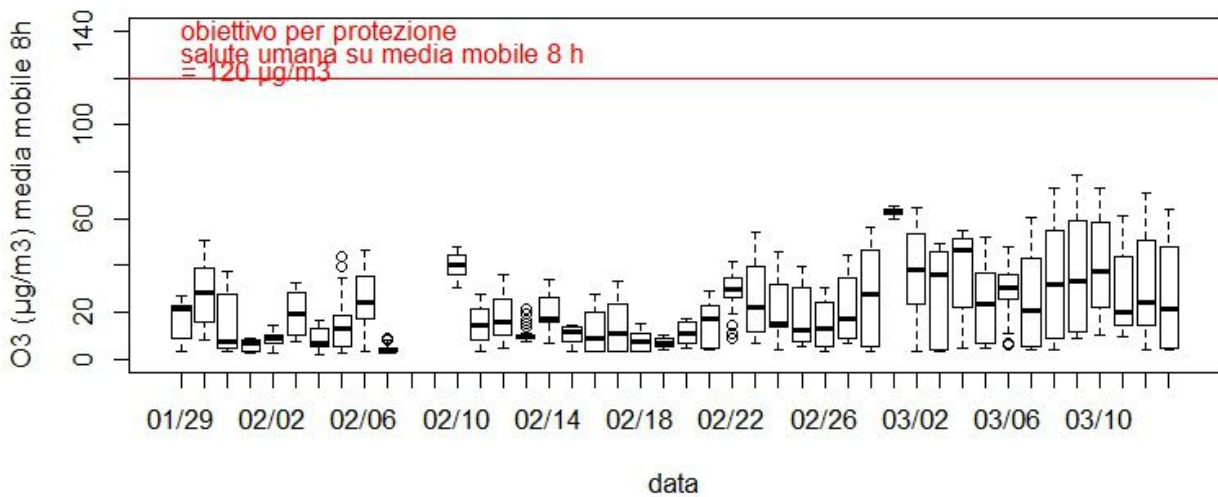
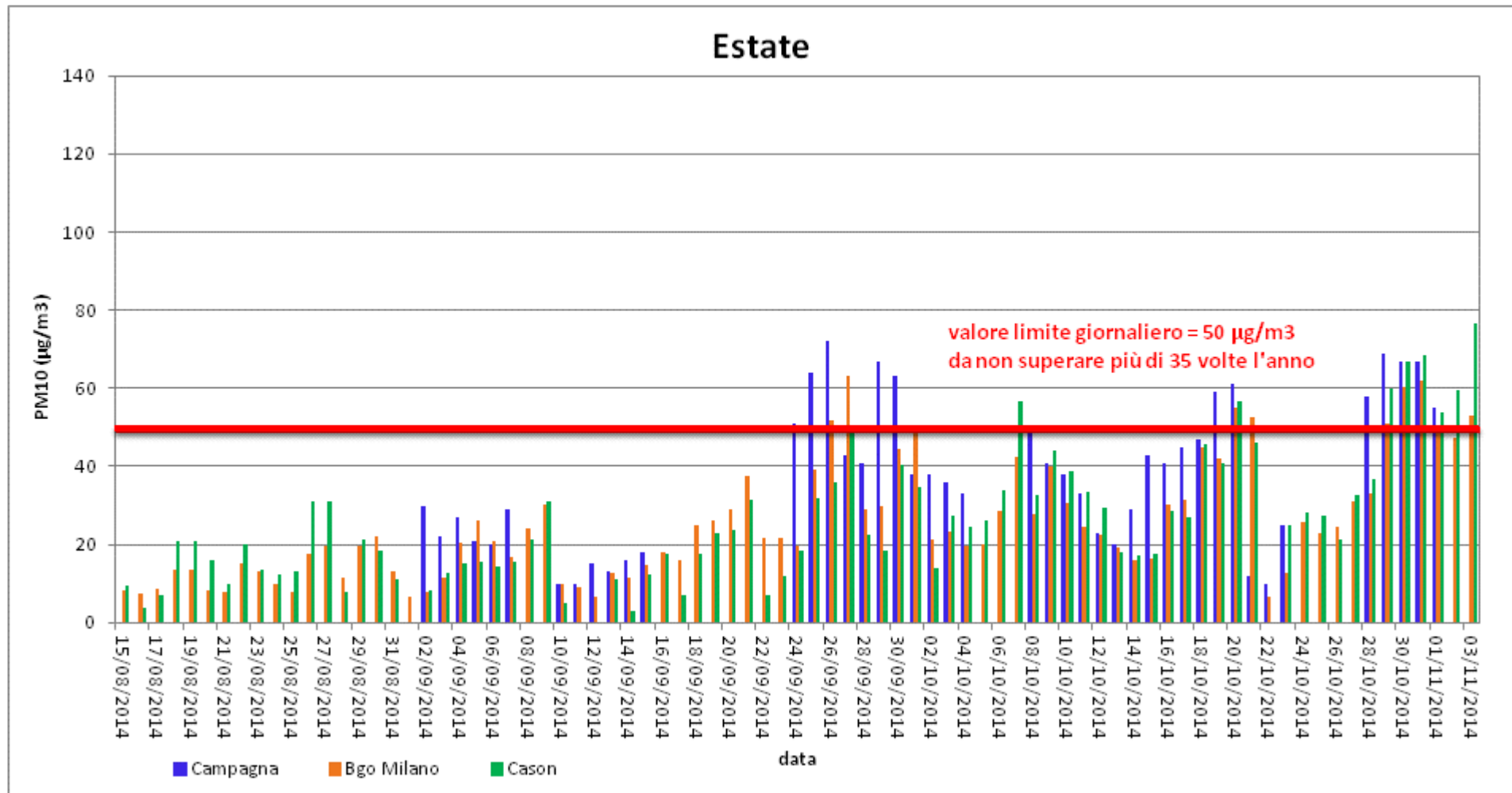


Grafico 6 – Concentrazione Giornaliera di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Inverno

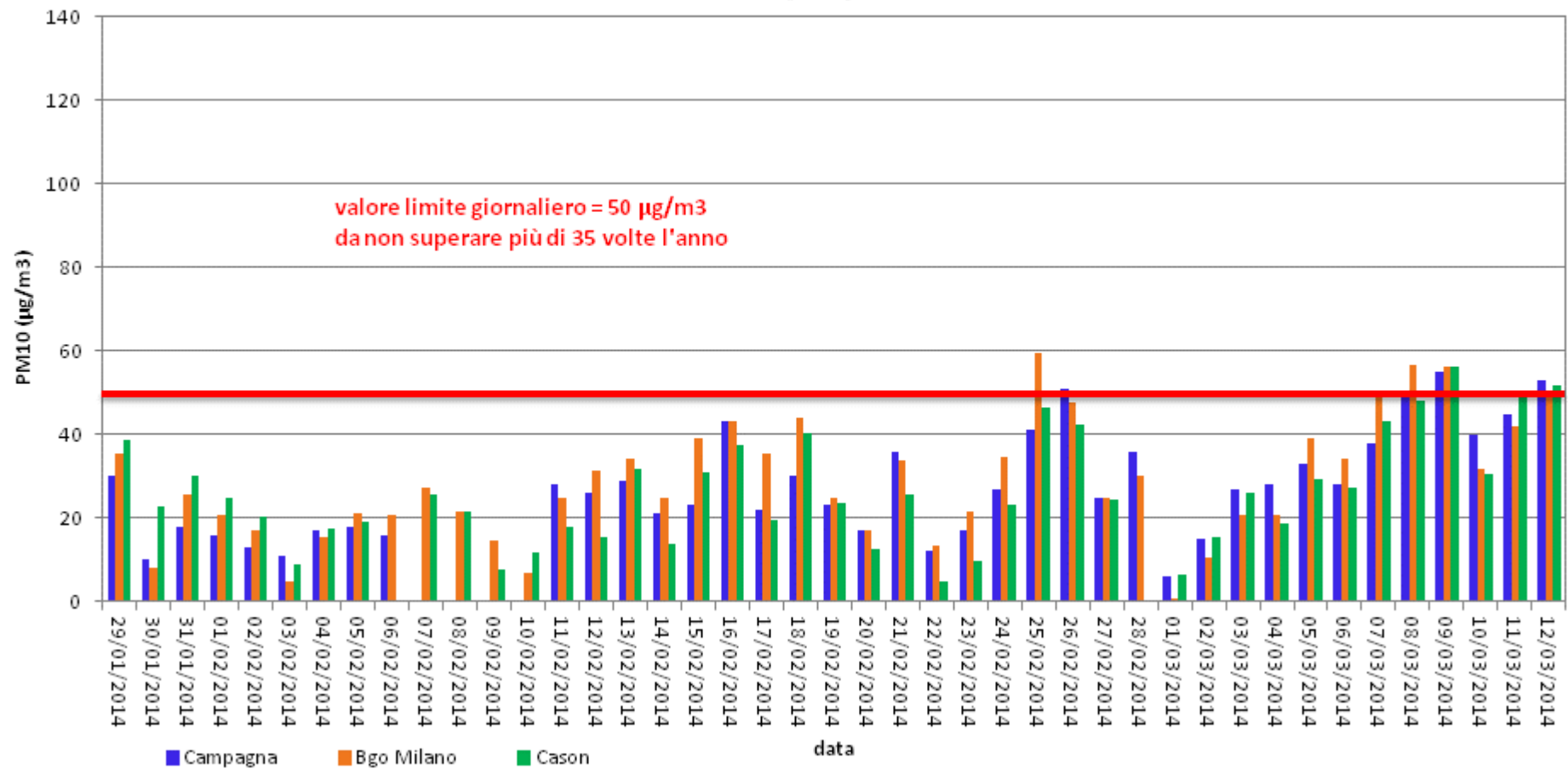
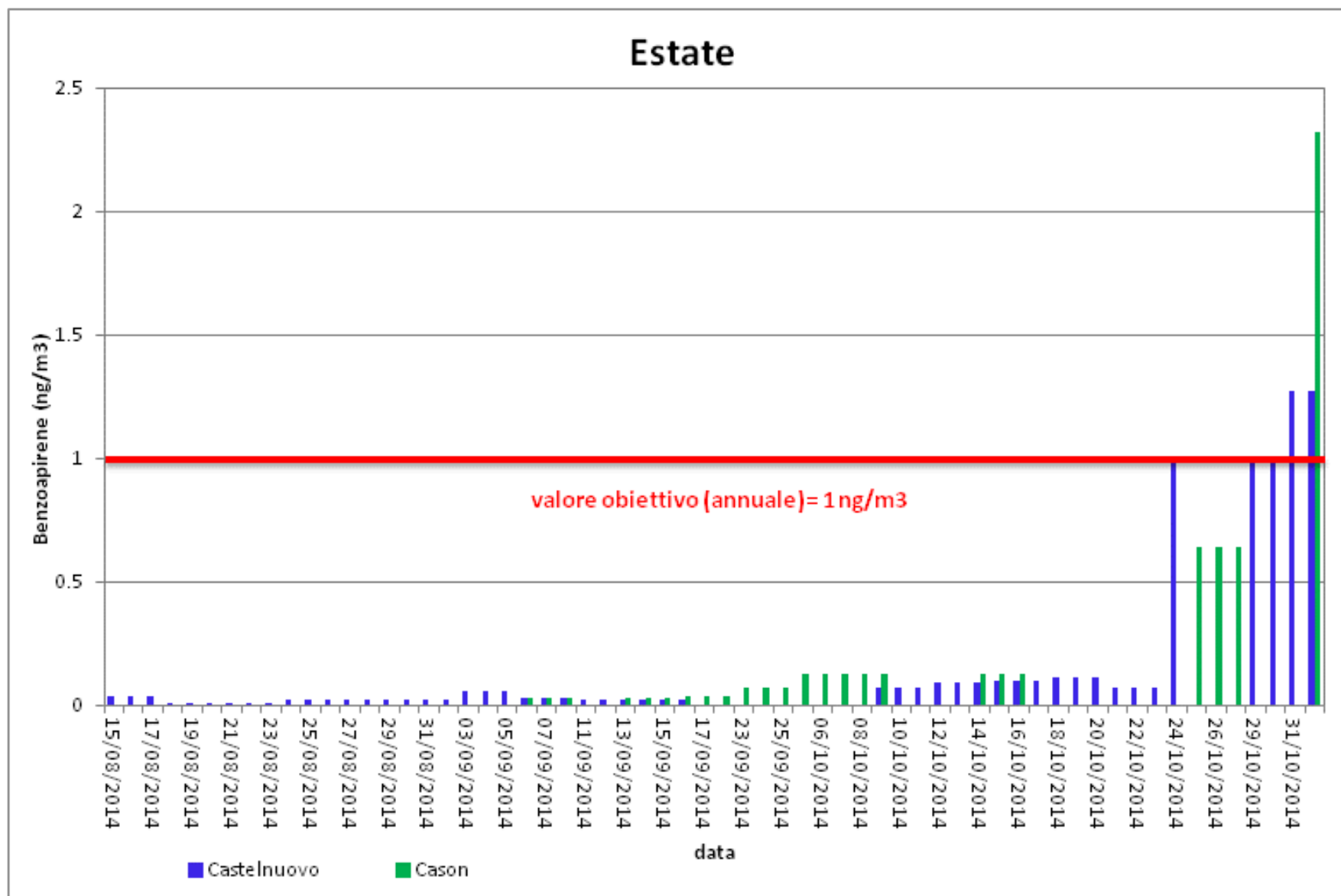


Grafico 7 – Concentrazione di benzoapirene (ng/m³).



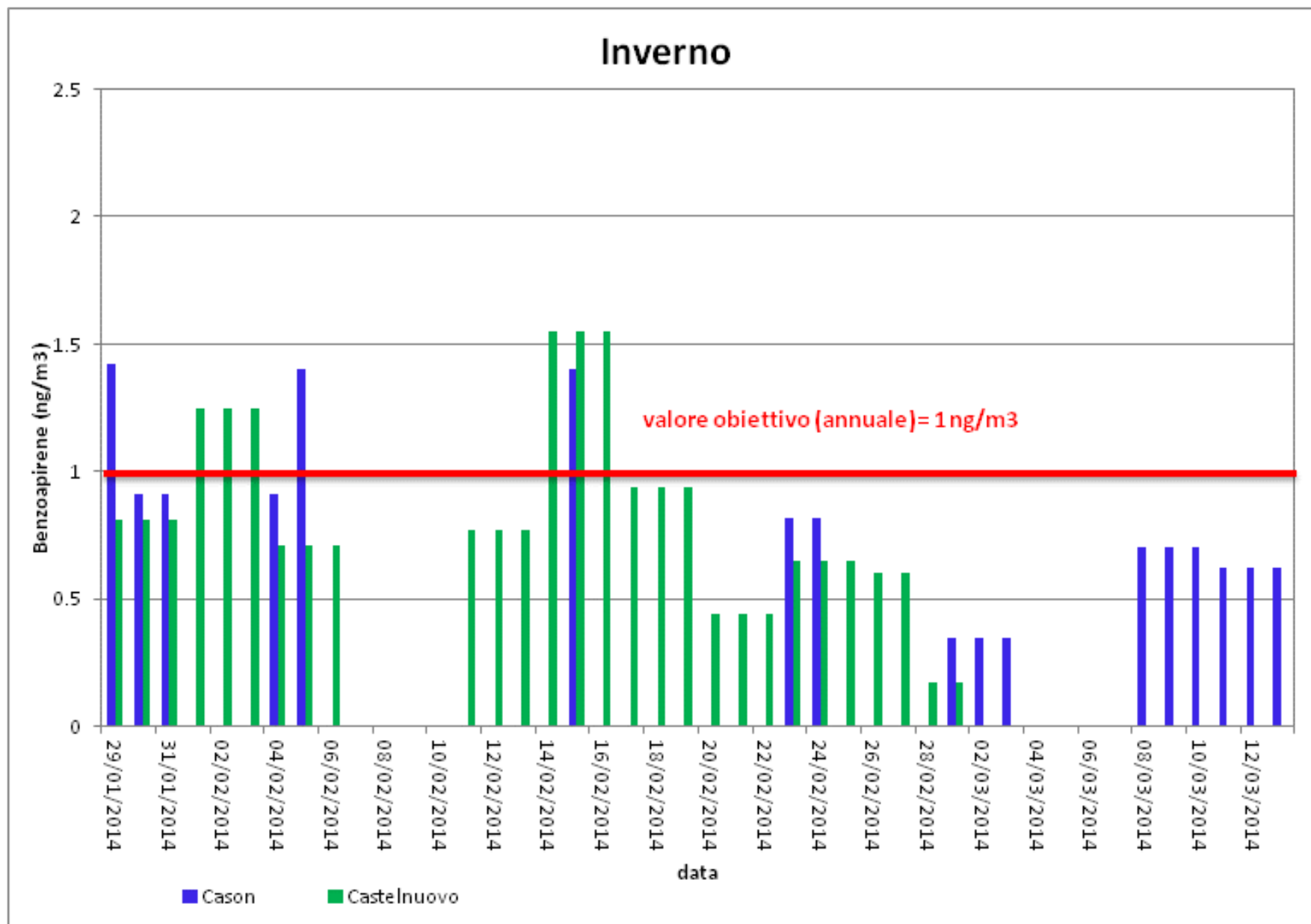


Grafico 8 – Giorno-tipo di NO₂ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%

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

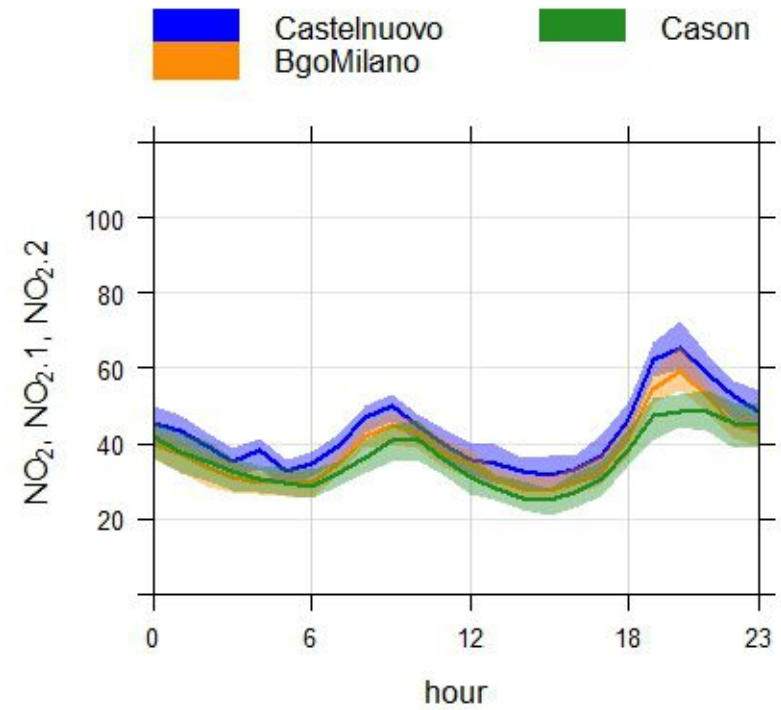
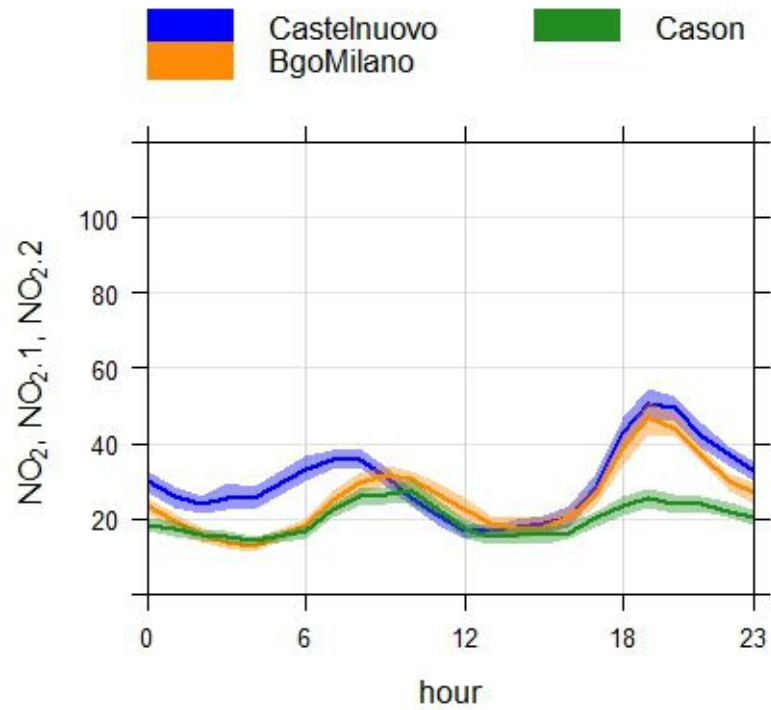


Grafico 9 – Settimana-tipo di NO₂ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%

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

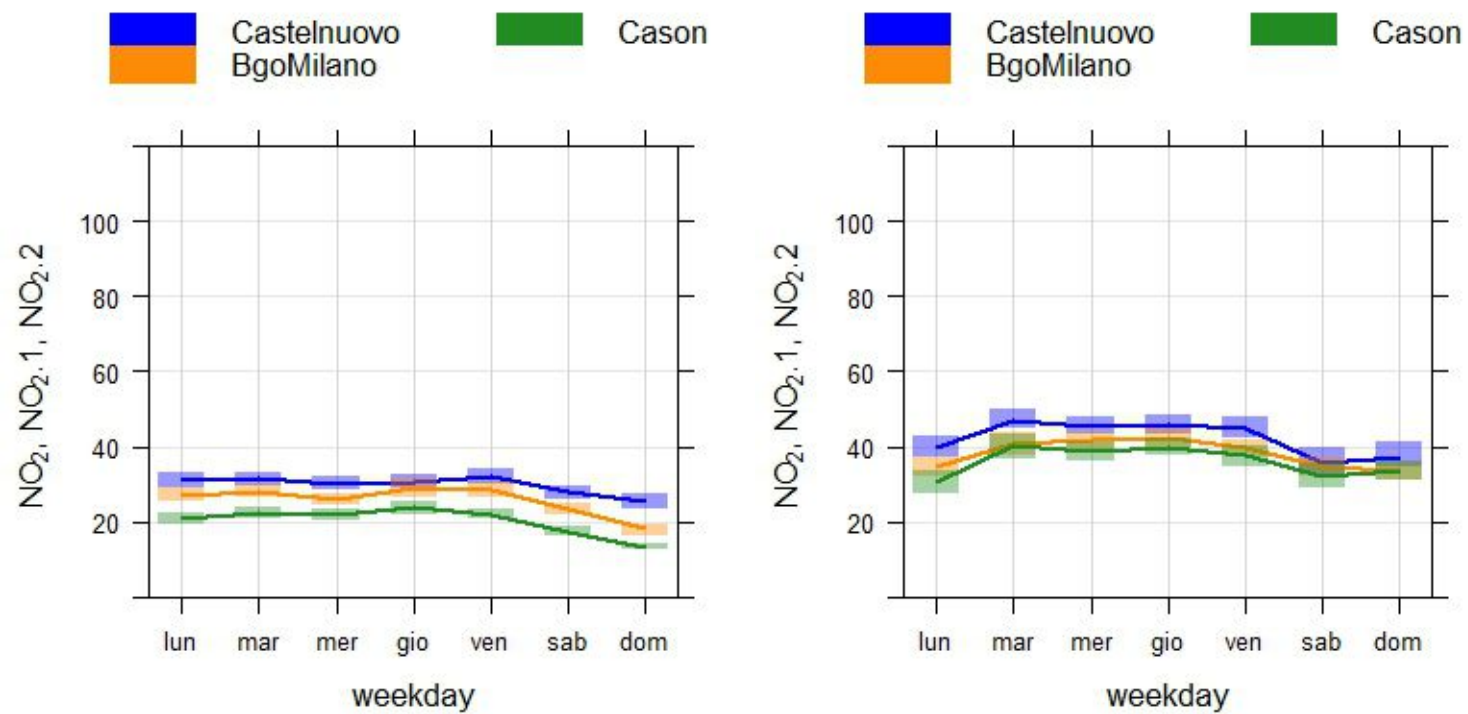


Grafico 10 – Giorno tipo O₃ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

Semestre “estivo” a sinistra, “invernale” a destra.

