



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

# **Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria Comune di Verona**

**Piazza Bernardi**

**Periodo di attuazione:**

**27/02/2015 – 16/04/2015 (periodo invernale)**

**28/07/2015 – 10/09/2015 (periodo estivo)**

## RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

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

### Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Ing. Giancarlo Cunego

### Servizio Controlli Ambientali

Dottorssa Francesca Predicatori

Dottorssa Simona De Zolt Sappadina

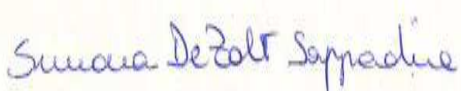

### Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

### Commento sulla situazione meteorologica

Massimo Enrico Ferrario

*NOTA: La presente Relazione tecnica può essere riprodotta solo integralmente. L'utilizzo parziale richiede l'approvazione scritta del Dipartimento ARPAV Provinciale di Verona e la citazione della fonte stessa.*

<b>Relazione tecnica n. 1/2016</b>		<b>Data : 27/01/2016</b>
F.to Il Tecnico Unità Operativa Fisica dell'Ambiente Dr.ssa Simona De Zolt Sappadina 	F.to Il Dirigente Servizio Controlli Ambientali Dr.ssa Francesca Predicatori 	

## INDICE

1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna .....	4
2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione .....	4
3. Contestualizzazione meteo climatica.....	6
4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento .....	11
5. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi .....	12
6. Efficienza di campionamento .....	13
7. Analisi dei dati rilevati .....	15
8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria) .....	27
9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse .....	30
10. Conclusioni .....	33

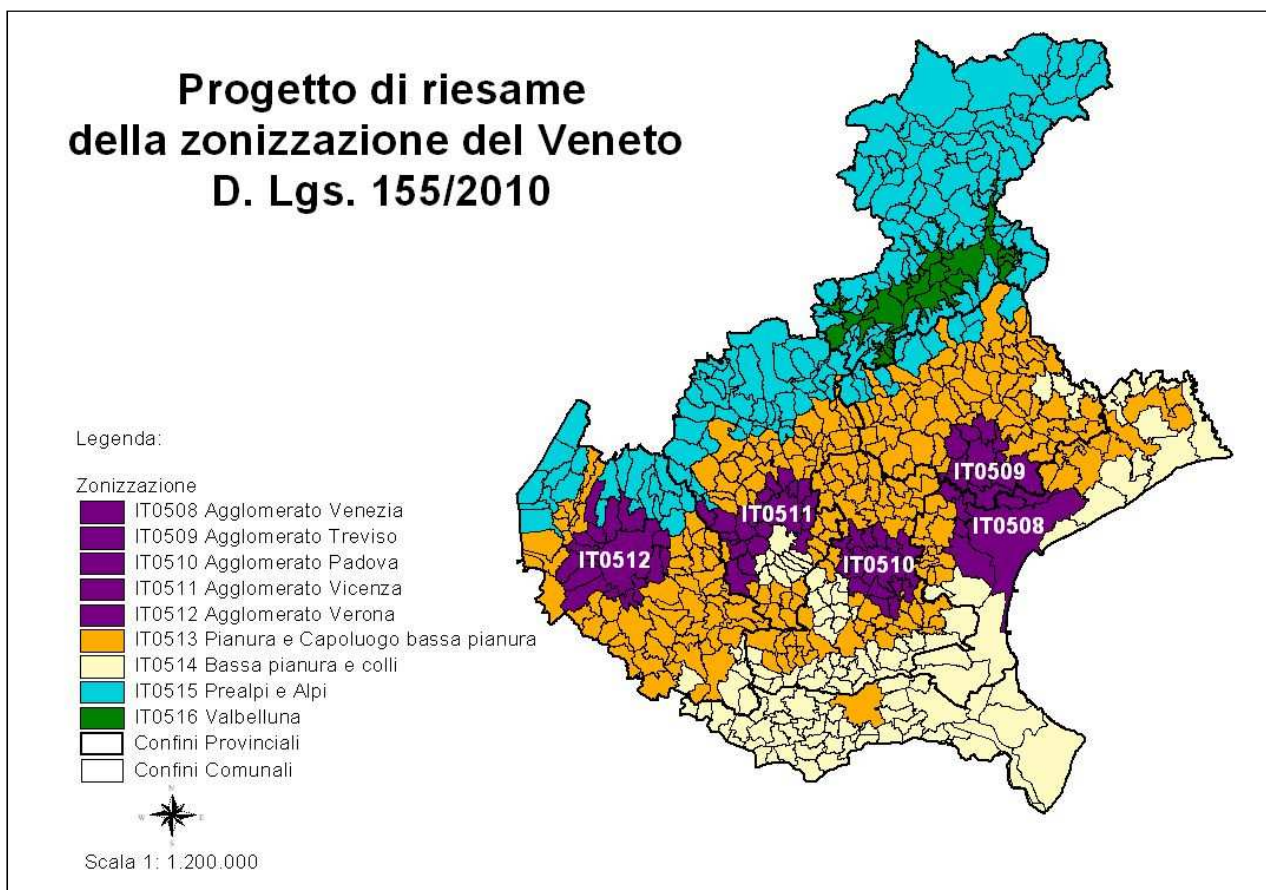
## 1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna

La campagna è stata richiesta dal Comune di Verona e rientra nell'ambito delle *Attività in convenzione per il triennio 2013 -2015* (DDg n. 53 del 28/02/2013).

Il monitoraggio permette di fornire informazioni sulla qualità dell'aria nel centro della città di Verona, su una delle arterie di collegamento fra centro e periferia. I dati di monitoraggio integrano, inoltre, i dati forniti dalla rete di qualità dell'aria del Comune di Verona.

## 2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione

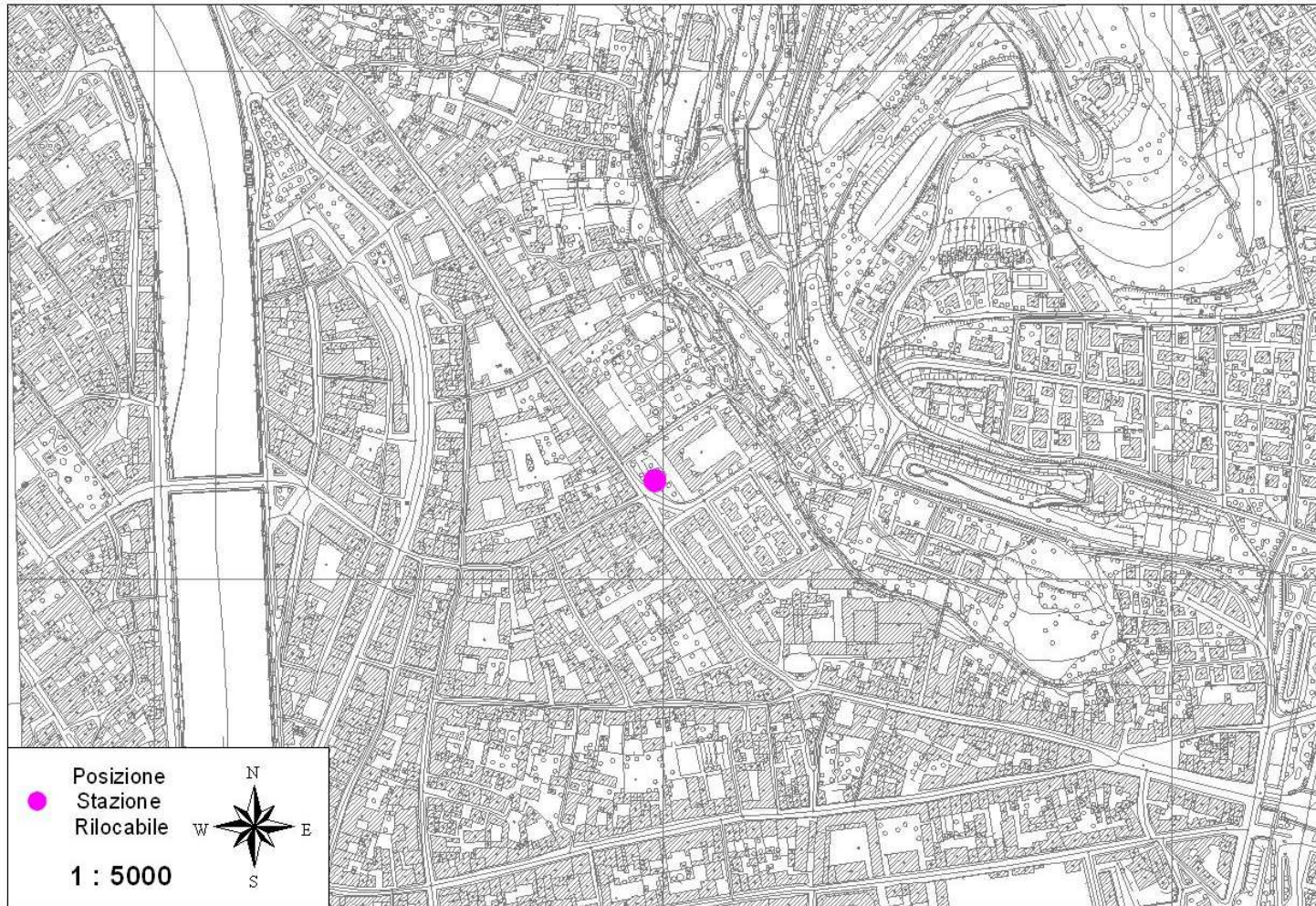
Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile sono state svolte dal 28/07/2015 al 10/09/2015 nel semestre estivo e dal 27/02/2015 al 16/04/2015 nel semestre invernale. L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Verona ed è di tipologia "traffico urbano". Il comune di Verona ricade nella zona "Agglomerato Verona", ai sensi della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 2130/2012 e rappresentata in Figura 1. In Figura 2 è indicata la posizione del mezzo mobile durante la campagna di monitoraggio. Il mezzo è stato posizionato in Piazza Bernardi, a est del centro della città.



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



## Posizione stazione rilocabile Piazza Enrico Bernardi, 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 28 luglio, in un momento di elevata instabilità ed elevate temperature, raggiunte nei giorni precedenti, con presenza di temporali diffusi su tutta la regione. Dopo il 2 agosto, fino al 13, il tempo migliora, divenendo molto soleggiato, stabile e sempre più caldo. Successivamente, il passaggio di una saccatura determina tempo variabile e calo delle temperature fino al 20 agosto. Dal 21 al 23 il tempo si ristabilisce, per poi peggiorare nuovamente il 24 e 25 agosto. Dal 26 in poi torna l'alta pressione di matrice africana, la quale riporta tempo molto soleggiato e via via più caldo, fino a fine mese. A settembre, il passaggio di una saccatura determina tempo variabile fino al giorno 6. In seguito tornano belle giornate fino al 12 settembre. Dal 13 fino alla fine della campagna estiva, il 16, il tempo torna variabile.

La campagna invernale inizia il 27 febbraio con correnti settentrionali che portano tempo variabile. Dal 6 al 15 marzo il tempo è generalmente stabile, soleggiato e relativamente mite per la stagione. Il transito di una saccatura tra il 16 marzo e la notte del 17 marzo determina un episodio perturbato con abbassamento delle temperature. Subito dopo un'alta pressione di matrice atlantica riporta tempo prevalentemente soleggiato, ma un po' più fresco per la stagione. I giorni 25 e 26 marzo, una saccatura atlantica transita sull'Italia portando abbondanti precipitazioni. Dal 27-28 marzo il tempo cambia radicalmente per l'affermarsi di un anticiclone dinamico di matrice atlantica, il quale determina un periodo di bel tempo con caratteristiche quasi primaverili in pianura fino a fine mese. Successivamente, il passaggio di una saccatura in quota porta a un abbassamento delle temperature e correnti settentrionali, fino al 7 aprile. Dal giorno 8, fino alla fine della campagna, a metà mese, una fase anticiclonica riporta condizioni di bel tempo con temperature in netto rialzo.

Per la descrizione della situazione meteorologica si è scelto di utilizzare i dati della stazione di Buttapietra (con anemometro a 2 m) che è la più vicina della rete ARPAV (distanza inferiore a 15 km). Si fa presente che a causa della quota di misura, l'intensità del vento è sottostimata rispetto a misure effettuate a 5 o 10 m di altezza, per questo motivo nel grafico con i diagrammi circolari si utilizza una scala di intensità del vento che permetta di apprezzare eventuali differenze fra valori di bassa intensità del vento.

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

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

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

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

- 28 luglio - 10 settembre 2015, periodo di svolgimento della campagna di misura ESTIVA;
- 26 luglio - 10 settembre dall'anno 1992 all'anno 2014 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 10 settembre 2014 – 10 settembre 2015 (ANNO CORRENTE).

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

- 27 febbraio - 16 aprile 2015, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 26 febbraio - 20 aprile dall'anno 1992 all'anno 2014 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);

- 16 aprile 2014 - 16 aprile 2015 (ANNO CORRENTE).

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

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

Durante la campagna di misura INVERNALE:

- i giorni poco 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 stati meno numerosi rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti e molto meno frequenti rispetto all'anno corrente, mentre i giorni con vento debole sono stati più frequenti rispetto all'anno in corso, ma meno frequenti rispetto alla climatologia del periodo.

In Figura 5 è riportata la rosa dei venti registrati presso la stazione di Buttapietra durante lo svolgimento della campagna di misura. Da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento durante il periodo ESTIVO è est-nordest (circa 10%), seguita da nord-est, est e ovest-sudovest (tutte e tre circa 6%), e da est-sudest (5%); la frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 44%; la velocità media pari a circa 0.9 m/s. Invece, nel periodo INVERNALE, la direzione prevalente di provenienza del vento è est-nordest (9%) seguita da est-sudest, nord-est ed est (tutte e tre circa 7%), e da ovest-sudovest (6%); la frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 44%; la velocità media pari a circa 1 m/s.

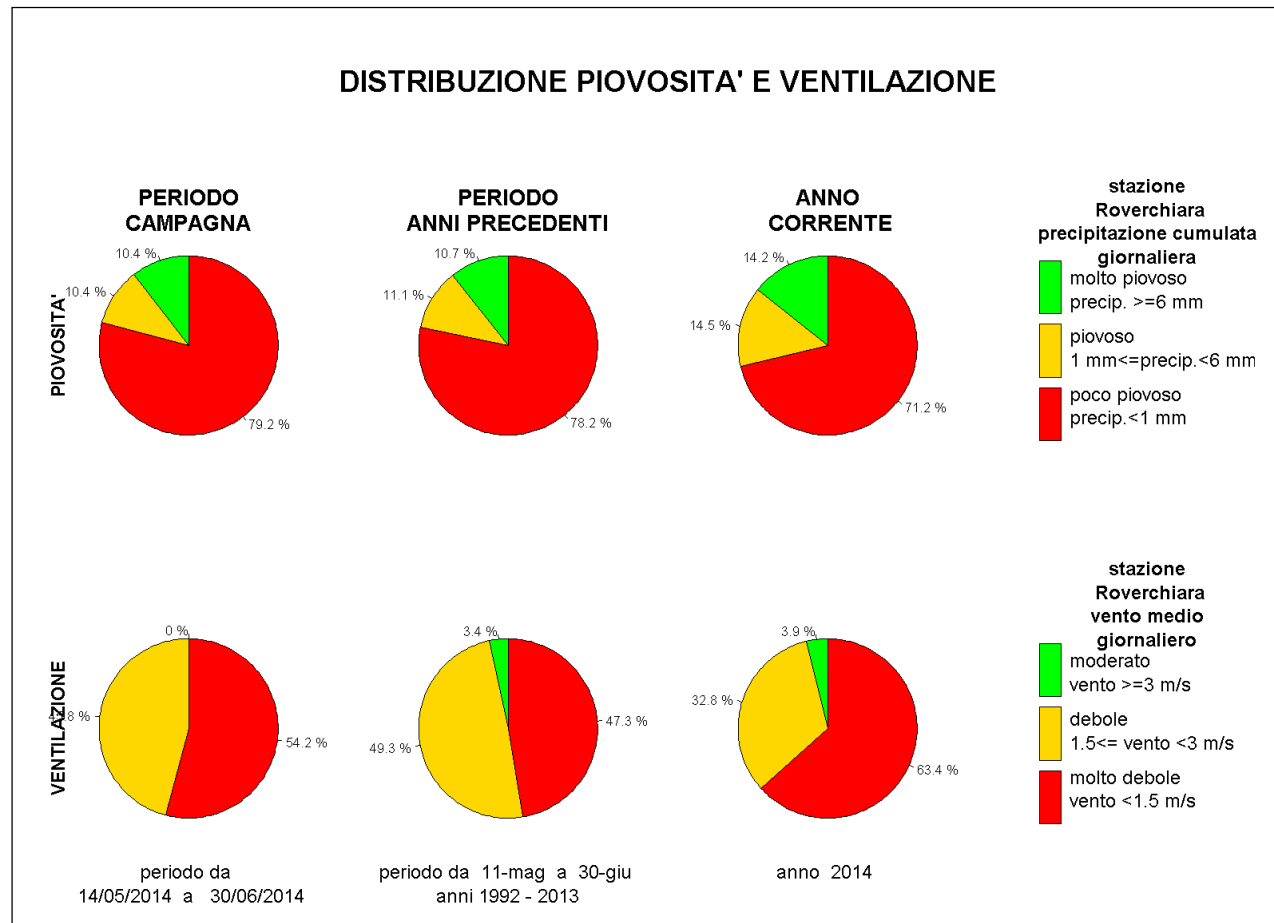


Figura 3. Campagna ESTIVA. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente 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.



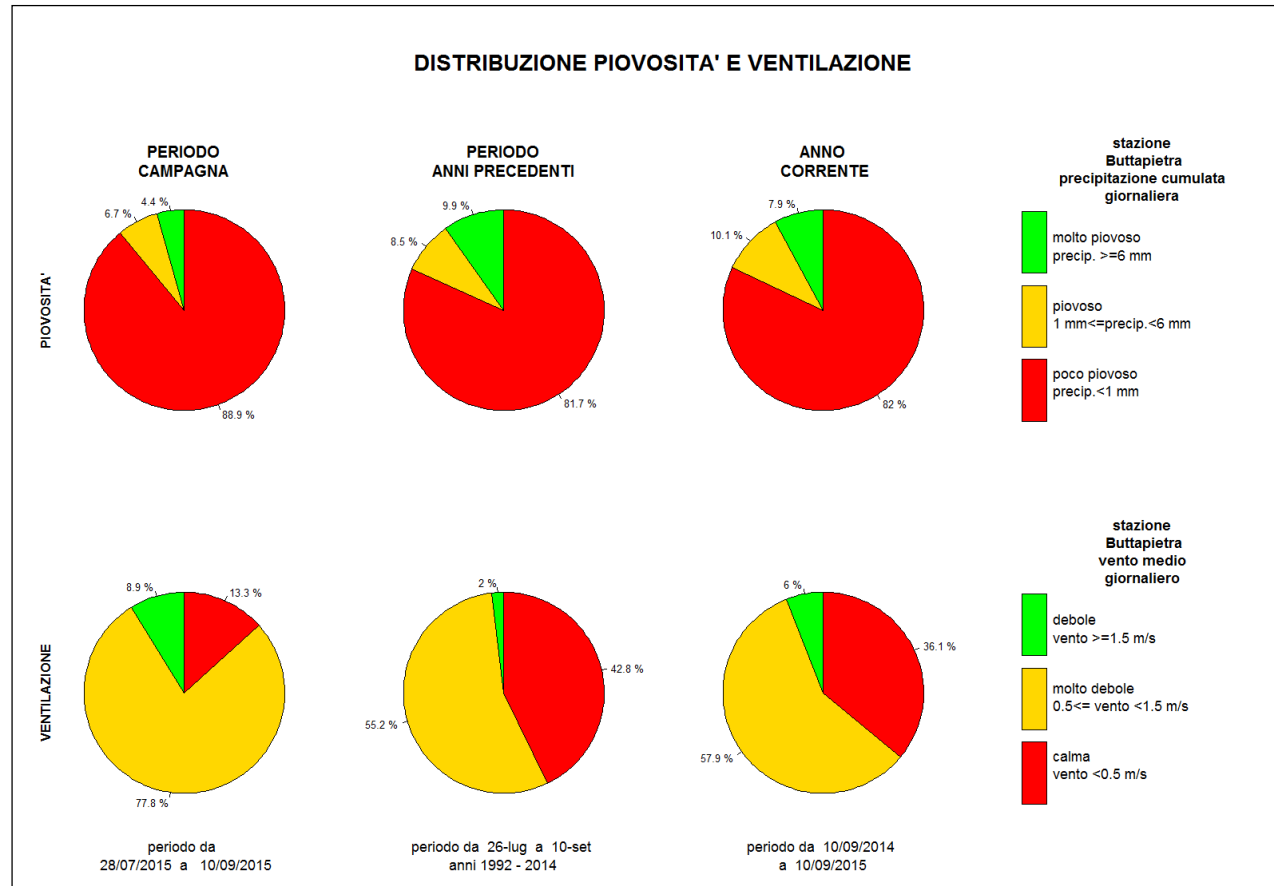
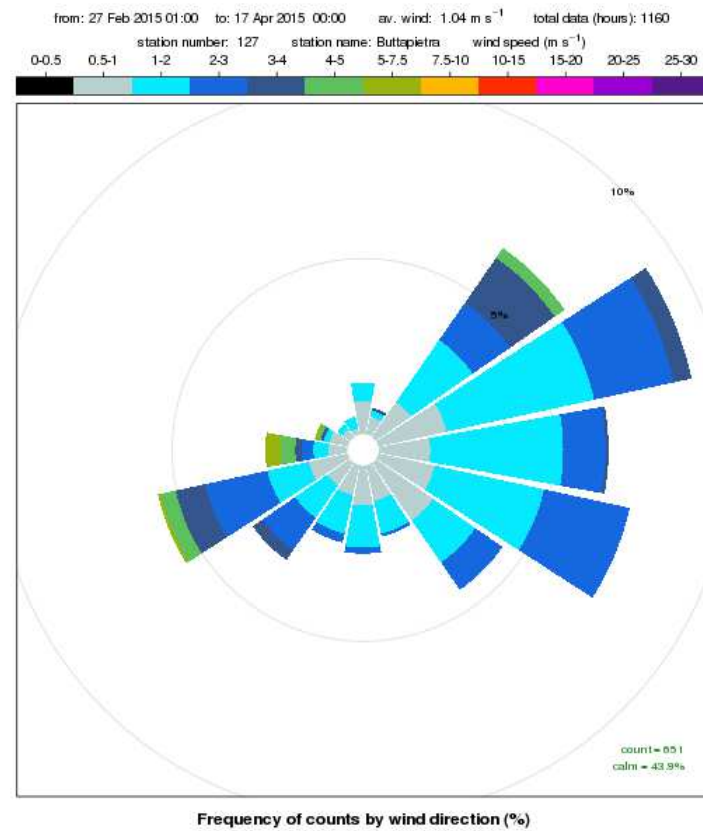
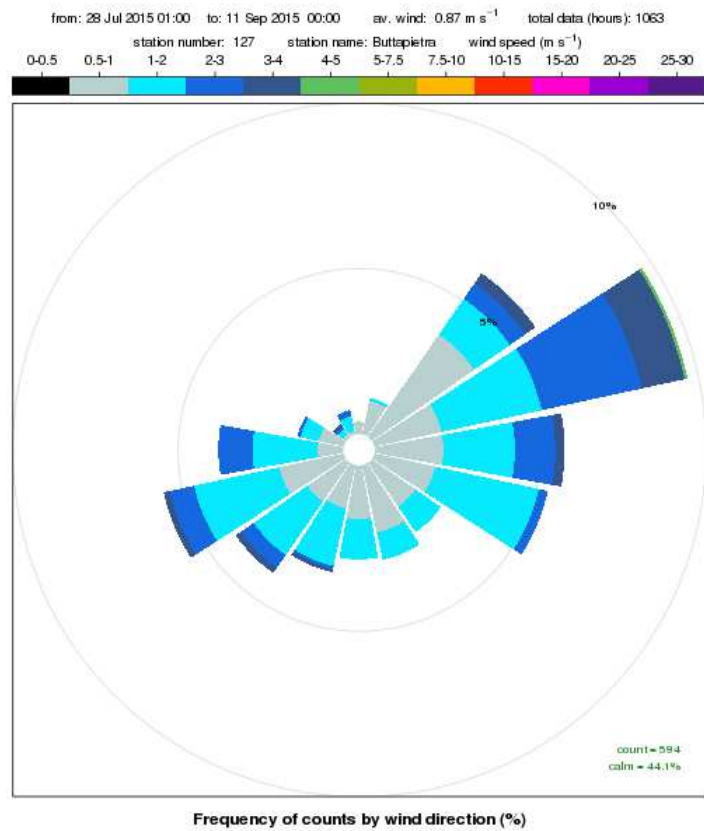


Figura 4. Campagna INVERNALE. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente 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.



**Figura 5. Rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Buttapietra nel periodo ESTIVO (28 luglio 2015 – 10 settembre 2015) nel pannello a sinistra ed INVERNALE (27 febbraio 2015 – 16 aprile 2015) nel pannello a destra.**

## 4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

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

Contestualmente alle misure eseguite in continuo, sono stati effettuati anche dei campionamenti sequenziali per la determinazione gravimetrica delle polveri inalabili PM<sub>10</sub>, per l'analisi in laboratorio del benzene, degli idrocarburi policiclici aromatici IPA (con riferimento al benzo(a)pirene) e dei metalli presenti nella frazione PM<sub>10</sub> (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<sub>2,5</sub>, 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 <sub>2</sub>	Soglia di allarme (*)	<b>500</b> µg/m <sup>3</sup>
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	<b>350</b> µg/m <sup>3</sup>
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	<b>125</b> µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Soglia di allarme (*)	<b>400</b> µg/m <sup>3</sup>
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	<b>200</b> µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	<b>50</b> µg/m <sup>3</sup>
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	<b>10</b> mg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	Soglia di informazione (Media 1 h)	<b>180</b> µg/m <sup>3</sup>
	Soglia di allarme (Media 1 h)	<b>240</b> µg/m <sup>3</sup>
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni (altrimenti su 1 anno) Media su 8 h massima giornaliera	<b>120</b> µg/m <sup>3</sup>
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Media su 8 h massima giornaliera	<b>120</b> µg/m <sup>3</sup>

**Tabella 1. Limiti di legge relativi all'esposizione acuta**

(\*) misurato per 3 ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria in un'area di almeno 100 Km<sup>2</sup>, oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

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

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

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

**Tabella 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 <sub>2</sub>	NOx	O <sub>3</sub> estate	SO <sub>2</sub>	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
N giorni di campionamento	98	95	95	96	97	74	22	89	53
Periodo di copertura (%)	27	26	26	26	27	20	6	24	15
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 <sub>2</sub>	NOx	O <sub>3</sub> estate	SO <sub>2</sub>	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
Resa di campionamento (%)	98	95	95	96	97	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 <sub>2</sub>	NOx	O <sub>3</sub> estate	SO <sub>2</sub>	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
Periodo valido campionato (%)	26	25	25	25	26	20	6	24	15
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 nel 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 nelle vicinanze di una strada ad alta intensità di traffico, è rappresentativa di situazioni urbane caratterizzate per lo più da emissioni legate al traffico veicolare e si definisce stazione di traffico urbano.

Nelle tabelle riportate, sono stati calcolati vari parametri statistici, che consentono una descrizione sintetica ed esaustiva della concentrazione di inquinanti misurata in Piazza Bernardi. I parametri sono descritti in modo esteso in Tabella 8.

<b>Grandezza statistica</b>	<b>Significato</b>
media	Media
sd	Deviazione Standard
min	Minimo
max	Massimo
mediana	Mediana
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
max giornaliero	Massimo calcolato sulle medie giornaliere
max.rolling.8	Massimo calcolato sulla media mobile su 8 ore
N superamenti limite	Numero di superamenti di un certo limite

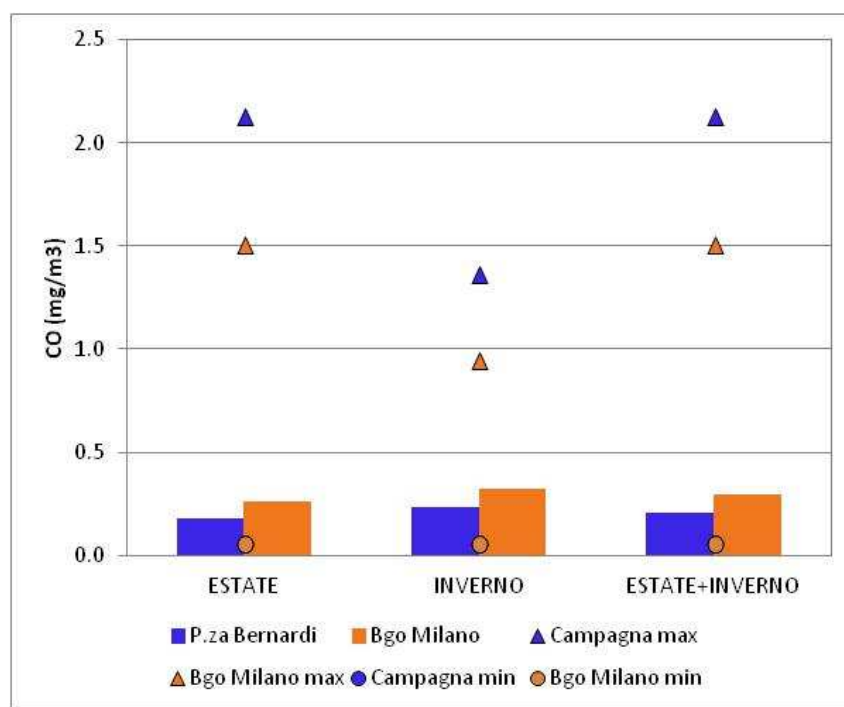
**Tabella 8, esplicitativa del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.**

## 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/m<sup>3</sup> (applicato alla media mobile di 8 ore), in linea con quanto si rileva presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona. In entrambe le stagioni, sia in Piazza Bernardi sia a Borgo Milano, i valori medi sono stati molto vicini al limite di rilevabilità dello strumento, pari a 0,1 mg/m<sup>3</sup>. In Piazza Bernardi la concentrazione massima è più elevata rispetto a Borgo Milano. I valori massimi sono più elevati in estate rispetto all'inverno in entrambe le postazioni.

CO (mg/m <sup>3</sup> )	ESTATE		INVERNO		ESTATE+INVERNO	
	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Piazza Bernardi	Bgo Milano
media	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
sd	0.1	0.1	0.2	0.2		
min	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
max	2.1	1.5	1.4	0.9	2.1	1.5
mediana	0.2	0.3	0.2	0.3		
N	1052	1032	1147	1128	2199	2160
dati mancanti	47	56	0	48	47	104
data.capture	96	95	100	96	98	95
max giornaliero	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5
max.rolling.8	0.4	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7
95°percentile	0.3	0.4	0.5	0.7		
99°percentile	0.4	0.5	0.7	0.8		
N superamenti 10 mg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0

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



**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 Piazza Bernardi e alla centralina di riferimento di Borgo Milano.**

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

Come si può vedere in Tabella 10, durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di biossido di azoto non ha superato il valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 µg/m<sup>3</sup>. 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 pari a 33 µg/m<sup>3</sup>, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m<sup>3</sup>. Invece, il valore medio di NO<sub>x</sub>, pari a 44 µg/m<sup>3</sup> (Tabella 11), supera il limite annuale per la protezione della vegetazione di 30 µg/m<sup>3</sup> (si ricorda tuttavia che il confronto con il valore limite di protezione degli ecosistemi rappresenta un riferimento puramente indicativo, in quanto il sito indagato non risponde esattamente alle caratteristiche previste dal D.Lgs. 155/10<sup>1</sup>). Il valore medio riferito alla postazione di Piazza Bernardi è superiore a quello relativo alle due postazioni di riferimento di Borgo Milano e Cason. Il valore massimo è molto vicino a quello delle centraline di riferimento. La media, come anche i massimi, relativi al periodo invernale sono superiori a quelli 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 NO<sub>2</sub>, calcolato per i due periodi di campagna. Si nota che l'andamento della concentrazione di NO<sub>2</sub> nel corso della giornata è molto simile in Piazza Bernardi e presso le centraline di Cason e Borgo Milano, con valori più elevati nel primo mattino e alla sera. E' durante le ore centrali della giornata che la concentrazione media di NO<sub>2</sub> in Piazza Bernardi assume valori più elevati rispetto alle centraline. Si può ipotizzare che i massimi di concentrazione corrispondano alle ore di traffico stradale più intenso. Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportate in Grafico 9 in Allegato e mostrano che la giornata in cui la concentrazione di NO<sub>2</sub> è maggiore è giovedì in estate, martedì in inverno; la domenica, invece, quando il traffico stradale è meno intenso, si trovano i valori più bassi. Lo stesso andamento si trova anche nelle stazioni di riferimento.

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason	Campagna	Bgo Milano	Cason
media	23	18	17	43	31	28	33	25	23
sd	12	11	10	18	19	17			
min	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4
max	82	85	87	101	98	98	101	98	98
mediana	21	16	15	41	27	24			
N	1052	1032	1032	1147	1128	1128	2199	2160	2160
dati mancanti	54	54	53	51	48	52	105	102	105
data.capture	95	95	95	96	96	95	95	95	95
max giornaliero	35	29	31	71	53	53	71	53	53
95°percentile	46	38	35	77	70	59			
99°percentile	62	55	58	93	84	77			
N superamenti 200 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N superamenti 400 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabella 10. Concentrazione di NO<sub>2</sub>: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Cason. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> 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.

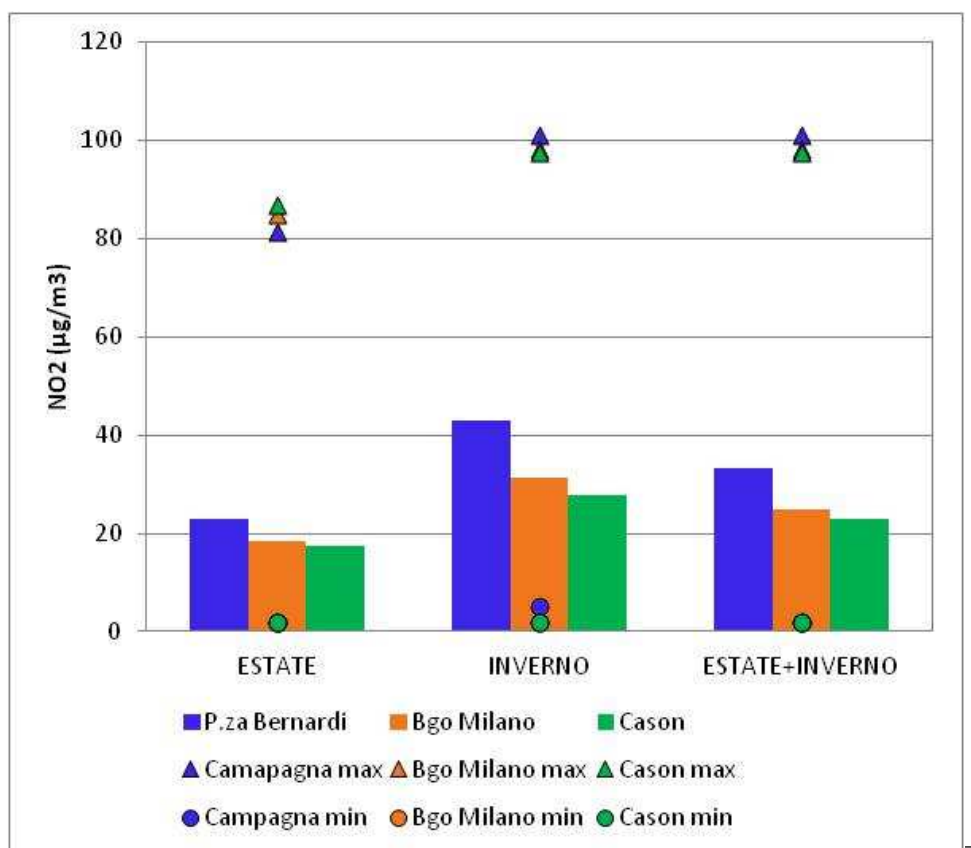


Figura 7. Concentrazione di NO<sub>2</sub>: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Piazza Bernardi e alle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason.

NOx (µg/m <sup>3</sup> )	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Cason	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Cason	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Cason
media	25	24	21	61	52	40	44	39	31
sd	14	14	16	38	37	31			
min	≤4	≤4	≤4	6	11	5	≤4	≤4	≤4
max	98	172	173	339	305	285	339	305	285
mediana	23	20	17	53	40	32			
N	1052	1032	1032	1147	1128	1128	2199	2160	2160
dati mancanti	54	54	53	51	48	52	105	102	105
data.capture	95	95	95	96	96	95	95	95	95
max giornaliero	38	40	42	117	94	86	117	94	86
95°percentile	53	48	46	134	129	89			
99°percentile	74	75	79	207	182	166			

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. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m<sup>3</sup>.

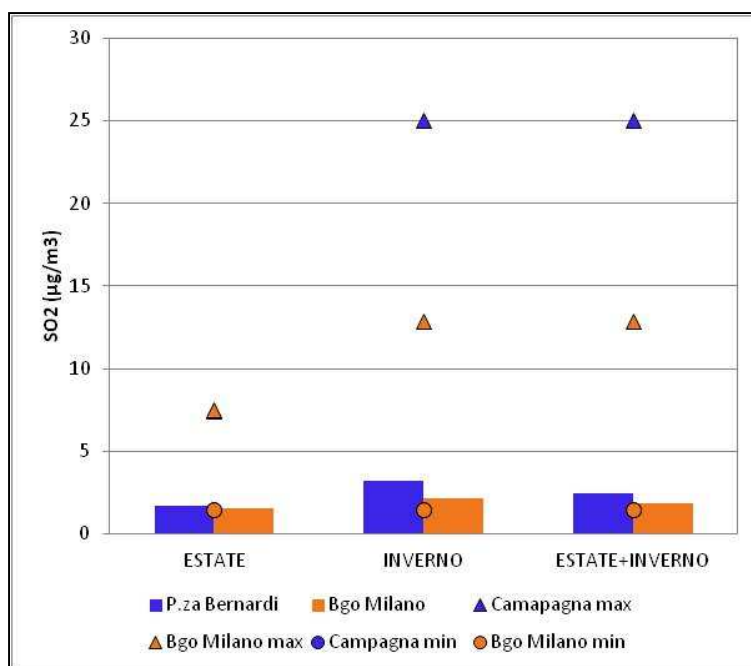


### Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

Durante le due campagne di monitoraggio, la concentrazione di biossido di zolfo è stata ampiamente inferiore ai valori limite di 350 e 500 µg/m<sup>3</sup> (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 o uguali al valore limite di rilevabilità strumentale analitica (3 µg/m<sup>3</sup>), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 µg/m<sup>3</sup>). Il confronto con le concentrazioni misurate presso la centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano mostra che i valori massimi, per quanto modesti, in inverno sono più elevati in Piazza Bernardi.

SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Piazza Bernardi	Bgo Milano	Piazza Bernardi	Bgo Milano
media	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
sd	1	0	2	2		
min	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
max	7	8	25	13	25	13
mediana	2	2	3	2		
N	1052	1032	1147	1128	2199	2160
dati mancanti	45	44	15	187	60	231
data.capture	96	96	99	83	97	90
max giornaliero	4	2	7	10	7	10
95°percentile	3	2	6	7		
99°percentile	6	2	9	10		
N superamenti 350 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0
N superamenti 125 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0

**Tabella 12. Concentrazione di SO<sub>2</sub>: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano. Il limite di rilevabilità dello strumento di misura è 3 µg/m<sup>3</sup>.**



**Figura 8. Concentrazione di SO<sub>2</sub>: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Piazza Bernardi e alla centralina di riferimento di Borgo Milano.**

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

L'ozono è un inquinante che si forma a partire da precursori quali ossidi di azoto e composti organici volatili, in presenza di radiazione solare. Per questo motivo le sue concentrazioni sono particolarmente elevate durante il periodo estivo e nelle ore centrali della giornata, quando la radiazione solare è più intensa (vedasi Grafico 10 in Allegato).

Durante la campagna estiva di Piazza Bernardi sono stati registrati 17 superamenti del limite di 120 µg/m<sup>3</sup> sulla media mobile di 8 ore e 2 superamenti del limite di 180 µg/m<sup>3</sup> sulla media oraria. Essi sono avvenuti prevalentemente tra il 3 e il 14 agosto, in corrispondenza di un'ondata di calore. Il numero di superamenti è inferiore rispetto al corrispondente, relativo alla stazione di riferimento di Cason. I valori medi e massimi sono confrontabili con quelli di Cason.

O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Pza Bernardi	Cason	Pza Bernardi	Cason	Pza Bernardi	Cason
media	81	77	45	57	62	66
sd	34	43	28	34		
min	7	6	2	5	2	5
max	190	183	118	152	190	183
mediana	78	71	47	59		
N	1052	1032	1147	1128		
dati mancanti	46	49	19	54		
data.capture	96	95	98	95		
max giornaliero	115	105	74	89		
max.rolling.8	166	172	106	133		
95°percentile	142	157	89	104		
99°percentile	164	176	107	134		
N superamenti 120 µg/m <sup>3</sup> sulla media mobile di 8h	17	20	0	5	17	25
N superamenti 180 µg/m <sup>3</sup>	2	2	0	0	2	2
N superamenti 240 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0

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

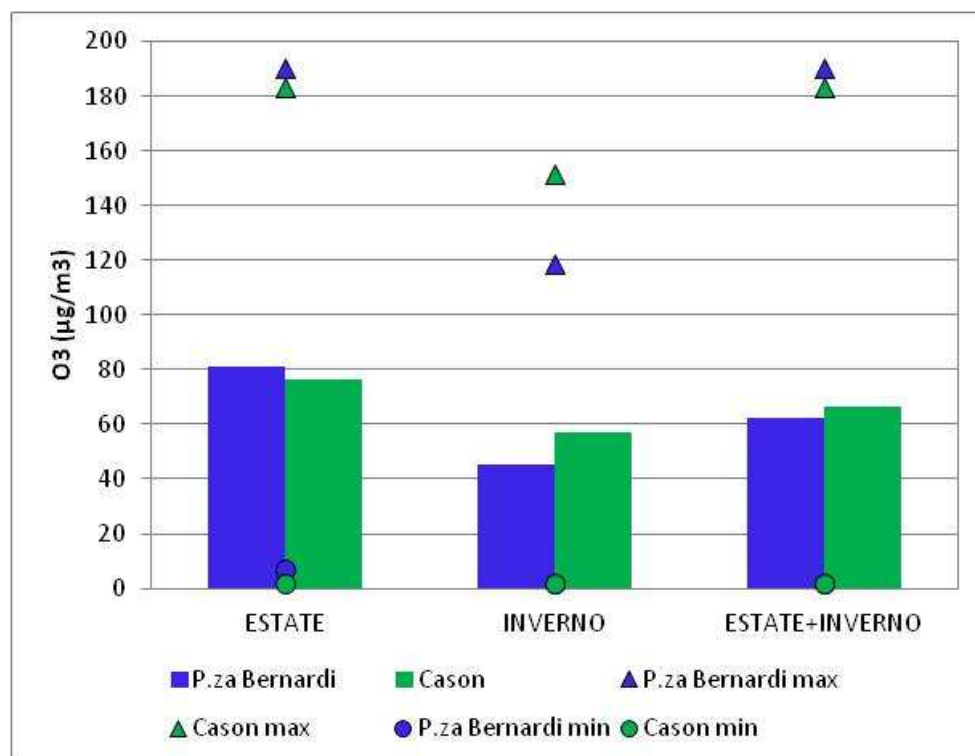


Figura 9. Concentrazione di O<sub>3</sub>: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Piazza Bernardi e alla centralina di riferimento di Cason.

### Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

In Tabella 14, sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM10, misurate con metodo gravimetrico in Piazza Bernardi durante le campagne di misura. Nei 74 giorni di misurazione, sono stati registrati 5 superamenti del limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (che non deve essere superato più di 35 volte all'anno), corrispondenti al 7% del periodo monitorato. Essi sono avvenuti nel periodo invernale, in corrispondenza di periodi di alta pressione che hanno determinato tempo stabile e inversioni termiche in superficie (Grafico 6 in Allegato).

In Tabella 15, i dati relativi a Piazza Bernardi sono stati confrontati con quelli delle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason. Per il calcolo dei parametri riportati in Tabella 15, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato è stato 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 e massimi di PM10 sono inferiori rispetto a quelli relativi al periodo invernale, presso tutte le postazioni di misura: questo è determinato dalle condizioni meteorologiche che in estate sono più favorevoli alla dispersione degli inquinanti. I valori medi di concentrazione di PM10 sono vicini a quelli della centraline di Borgo Milano, leggermente più bassi di quelli di Cason; i massimi sono maggiori rispetto a Borgo Milano e inferiori rispetto a Cason, ma comunque vicini a quelli delle centraline di riferimento. Lo stesso vale per il numero di superamenti del limite normativo di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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 Piazza Bernardi 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 Piazza Bernardi il valore medio annuale di  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (inferiore al valore limite annuale di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ed il 90° percentile di  $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (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	24	30	27
N	38	36	74
sd	9	17	
max	42	79	79
min	12	6	6
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	5	5

**Tabella 14. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), misurata con metodo gravimetrico in Piazza Bernardi. 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		
	P.za Bernardi	Borgo Milano	Cason	P.za Bernardi	Borgo Milano	Cason	P.za Bernardi	Bgo Milano	Cason
media	24	20	30	29	33	36	27	26	33
N	36	36	36	35	35	35	71	71	71
sd	9	7	12	17	17	22			
max	42	36	50	79	76	86	79	76	86
min	12	10	6	6	5	3	6	5	3
N superamenti 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	5	5	9	5	5	9

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.

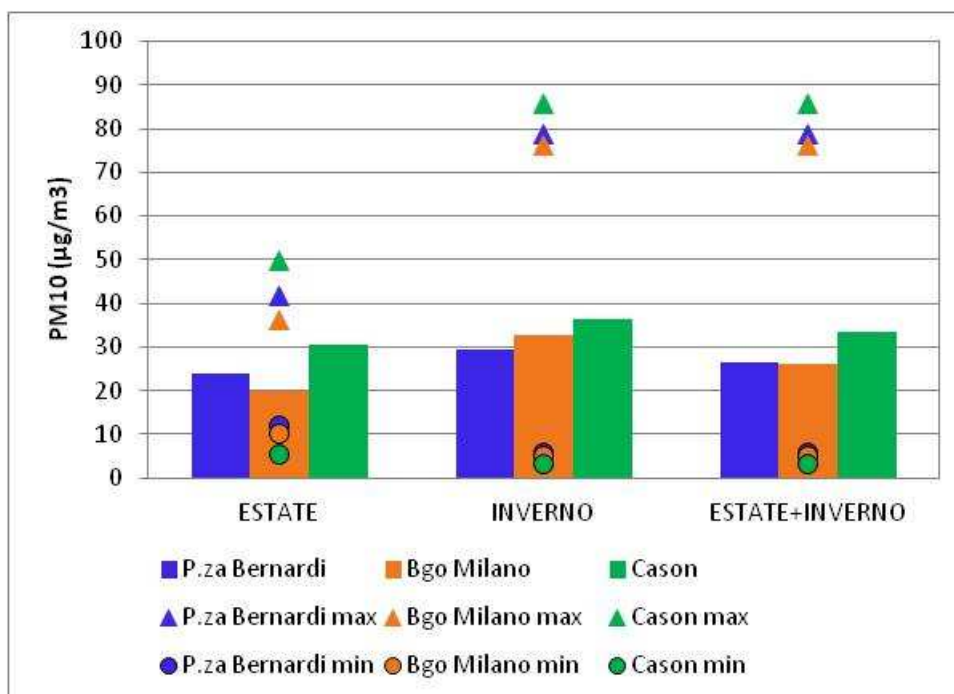


Figura 10. Concentrazione di PM10: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Dati relativi a Piazza Bernardi e alle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Cason.

### Benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )

In Tabella 16 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene misurata con campionatori passivi nei due periodi di campagna in Piazza Bernardi e nelle stazioni fisse di riferimento di Borgo 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 Piazza Bernardi sono uguali a quelli relativi alle altre postazioni in estate, mentre in inverno sono inferiori a quelle di Borgo Milano e superiori a quelle di Cason. In estate i valori misurati sono inferiori al limite di rivelabilità strumentale, mentre in inverno sono di poco più elevati.



La media pesata delle concentrazioni estive e invernali è  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiore al limite annuale di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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.

	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	P.za Bernardi	Borgo Milano	Cason	P.za Bernardi	Borgo Milano	Cason	P.za Bernardi	Borgo Milano	Cason
benzene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
Media	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	0.7	0.9	0.6	0.5	0.6	$\leq 0.5$
N giorni	44	35	35	45	49	3	89	84	38
sd	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.7			
max	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	0.8	1.4	1.4	0.8	1.4	1.4
min	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	0.6	0.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$

Tabella 16. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene: dati della campagna di misura di Piazza Bernardi, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina fissa di fondo urbano di Cason. I dati delle tre postazioni non si riferiscono esattamente agli stessi giorni di campionamento, pertanto il confronto è solamente indicativo. Il limite di rilevabilità dello strumento è  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

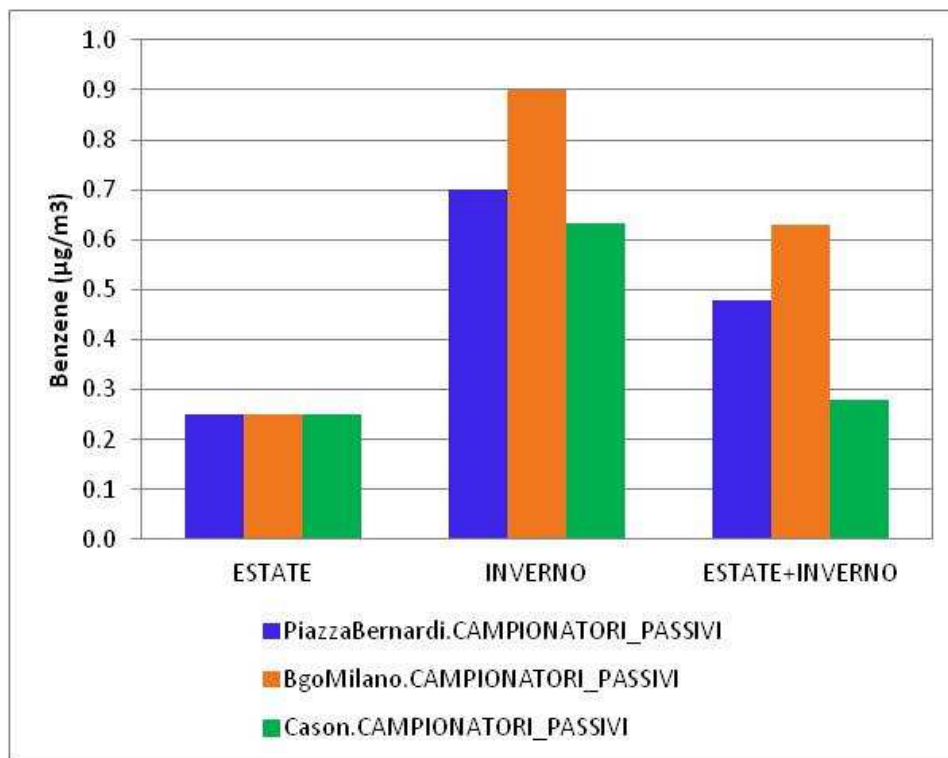


Figura 11. Concentrazione di benzene misurata durante i periodi di campagna in diverse postazioni (Piazza Bernardi, Borgo Milano e Cason).

$(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	ESTATE				INVERNO			
	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)
PiazzaBernardi	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	2.5	1.9	0.7	0.8	3.9	3.3
BgoMilano	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	2.2	2.0	0.9	0.5	2.8	1.8
Cason	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	1.3	$\leq 0.5$	0.6	$\leq 0.5$	1.6	0.8

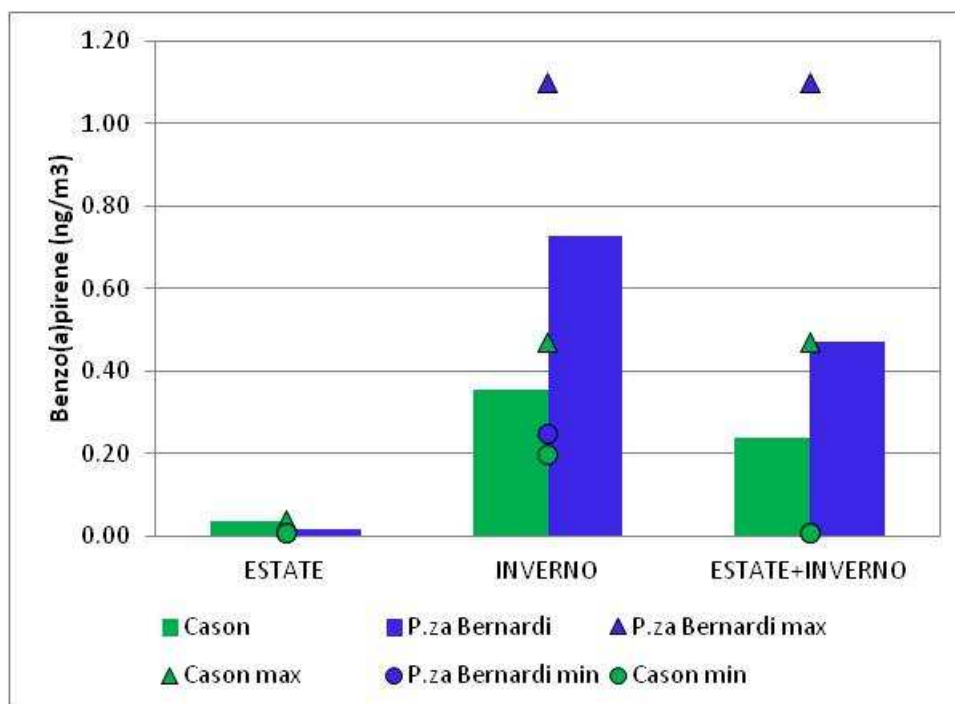
Tabella 17. Concentrazione media delle varie specie di idrocarburi aromatici nelle diverse postazioni di misura. Il limite di rilevabilità dello strumento di misura per tutti gli inquinanti è  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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

In Tabella 18 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzo(a)pirene per le due postazioni di Piazza Bernardi 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 Piazza Bernardi, per tutte le specie di IPA misurati. La concentrazione media di benzo(a)pirene in Piazza Bernardi è più elevata rispetto a Cason in inverno, mentre in estate è molto bassa per entrambe le località (Figura 12). Il valore medio riferito ai due periodi di campagna è  $0.17 \text{ ng/m}^3$  (Tabella 19), ampiamente inferiore al valore obiettivo, riferito alla media annuale, di  $1.0 \text{ ng/m}^3$ .

Benzoapirene ( $\text{ng/m}^3$ )	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	PiazzaBernardi	Cason	PiazzaBernardi	Cason	PiazzaBernardi	Cason
media	$\leq 0.02$	0.03	0.73	0.35	0.47	0.24
N	8	8	14	14	22	22
sd	$\leq 0.02$	$\leq 0.02$	0.26	$\leq 0.02$		
max	0.03	0.04	1.10	0.47	1.10	0.47
min	$\leq 0.02$	$\leq 0.02$	0.25	0.20	$\leq 0.02$	$\leq 0.02$

**Tabella 18. Concentrazione di benzo(a)pirene: dati della campagna di misura in Piazza Bernardi 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  $0.02 \text{ ng/m}^3$ .**



**Figura 8. Concentrazione di benzopirene a Piazza Bernardi 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/m <sup>3</sup> )	ESTATE					INVERNO					ESTATE + INVERNO			
	media	N	sd	max	min	media	N	sd	max	min	media pesata	N	max	min
Benzoaantracene	≤0.02	27	0.00	≤0.02	≤0.02	0.20	26	0.05	0.26	0.12	0.10	53	0.26	≤0.02
Benzoapirene	≤0.02	27	0.01	0.03	≤0.02	0.34	26	0.08	0.47	0.20	0.17	53	0.47	≤0.02
Benzobfluorantene	0.03	27	0.01	0.04	≤0.02	0.42	26	0.11	0.58	0.25	0.22	53	0.58	≤0.02
Benzoghiperilene	0.04	27	0.01	0.05	≤0.02	0.47	26	0.13	0.75	0.27	0.25	53	0.75	≤0.02
Benzokfluorantene	≤0.02	27	0.01	≤0.02	≤0.02	0.21	26	0.05	0.30	0.13	0.11	53	0.30	≤0.02
Dibenzoahantracene	≤0.02	27	0.00	≤0.02	≤0.02	≤0.02	26	0.01	0.04	0.01	≤0.02	53	0.04	≤0.02
Indeno123cdpirene	≤0.02	27	0.00	≤0.02	≤0.02	0.31	26	0.15	0.56	0.09	0.16	53	0.56	≤0.02

**Tabella 19. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di diverse specie di IPA, misurata a Piazza Bernardi, 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 in Piazza Bernardi. 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 in Piazza Bernardi sono inferiori a quelli di Cason, ma comunque molto vicini.

Metallo	media	N	max	min	Limite esposizione cronica	Superamento del limite	Livello di fondo	Aree urbane
	ng/m <sup>3</sup>							
As	≤1	22	≤1	≤1	6.0	NO	1 - 3	20-30
Cd	≤0.2	22	≤0.2	≤0.2	5.0	NO	0.1	1 - 10
Ni	≤2.0	22	2.9	≤2.0	20.0	NO	1	9 - 60
Pb	4.6	22	6.0	2.0	500.0	NO	0.6	5-500

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

Metallo		ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
		Cason (ng/m <sup>3</sup> )	Piazza Bernardi (ng/m <sup>3</sup> )	Cason (ng/m <sup>3</sup> )	Piazza Bernardi (ng/m <sup>3</sup> )	Cason (ng/m <sup>3</sup> )	Piazza Bernardi (ng/m <sup>3</sup> )
Arsenico	media	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
LDR:1 ng/m <sup>3</sup>	n° dati	4	4	1	1	5	5
	max	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
	min	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Cadmio	media	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
LDR:0.2 ng/m <sup>3</sup>	n° dati	4	4	1	1	5	5
	max	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
	min	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
Nichel	media	≤2.0	≤2.0	≤2.0	2.4	≤2.0	≤2.0
LDR:2 ng/m <sup>3</sup>	n° dati	4	4	1	1	5	5
	max	≤2.0	2.9	≤2.0	2.4	≤2.0	2.9
	min	≤2.0	≤2.0	≤2.0	2.4	≤2.0	≤2.0
Piombo	media	4.7	4.6	4.9	5.8	4.8	4.8
LDR:1 ng/m <sup>3</sup>	n° dati	4	4	1	1	5	5
	max	5.1	6.0	4.9	5.8	5.1	6.0
	min	4.6	3.2	4.9	5.8	4.6	3.2

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

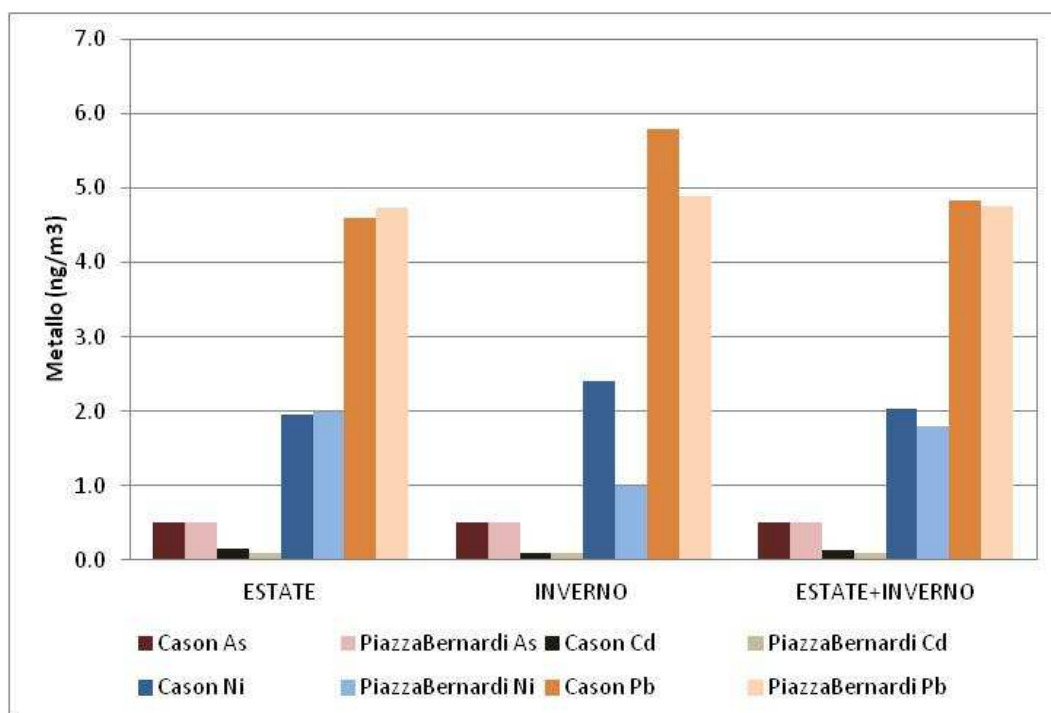


Figura 13. Concentrazione media di metalli nei due periodi di campagna, nelle postazioni di Piazza Bernardi e di Cason.

## 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 a una scala di 5 giudizi sulla qualità dell'aria: buona, accettabile, mediocre, scadente, pessima.

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

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

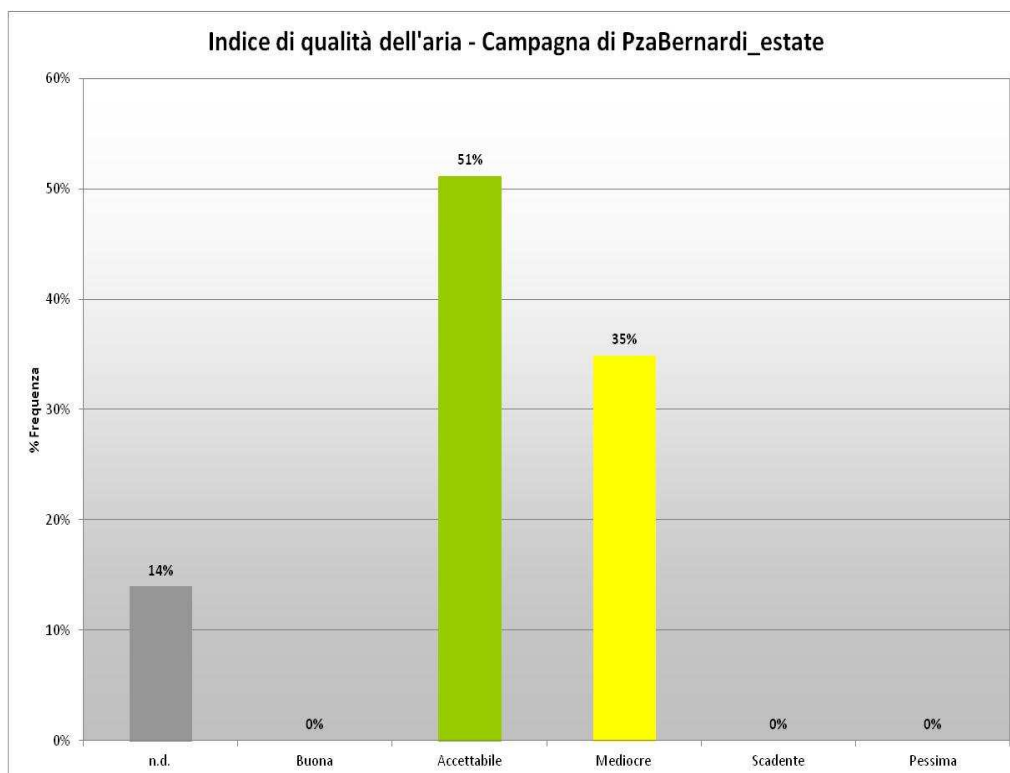
Le altre tre classi (mediocre, scadente e pessima) indicano invece che almeno uno dei tre inquinanti considerati ha superato il relativo indicatore di legge. In questo caso la gravità del superamento è determinata dal relativo giudizio assegnato ed è possibile quindi distinguere situazioni di moderato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

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

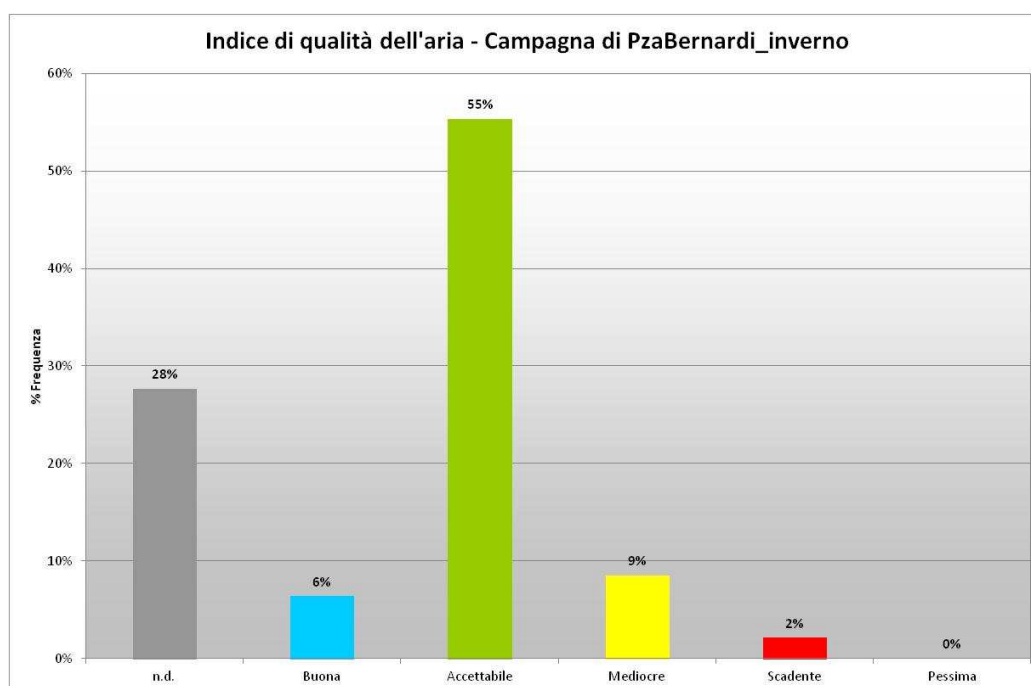
In Figura 14 e figura 15 è riportato il numero di giorni ricadenti in ciascuna classe dell'IQA, per le due campagne di misura, estiva e invernale, rispettivamente. In entrambe le campagne prevalgono le giornate in cui la qualità dell'aria è stata "accettabile".

È utile confrontare il periodo di circa due mesi, in cui sono state svolte le campagne di misura in Piazza Bernardi, con l'intera stagione di cui esse sono rappresentative. A tal fine, sono stati utilizzati i dati della centralina di Cason. I dati di Cason relativi a tutta l'estate 2015 sono stati confrontati con quelli di Cason relativi al periodo in cui è stata svolta la campagna di misura estiva in Piazza Bernardi; la stessa analisi è stata ripetuta per il periodo invernale. In tal modo, da un lato si può capire come è stato il periodo di campagna rispetto all'intera stagione, dall'altro si possono confrontare le due postazioni di Piazza Bernardi e di Cason. In Figura 16 sono riportati l'indice IQA relativo al periodo di campagna estiva per Piazza Bernardi e Cason e quello relativo a tutta la stagione estiva per Cason. La Figura 17 è analoga, ma relativa all'inverno.

Il confronto conferma che la qualità dell'aria in Piazza Bernardi è simile a quella di Cason, leggermente migliore in entrambe le stagioni. Inoltre, la campagna estiva è stata svolta in un periodo in cui la qualità dell'aria a Cason è stata molto simile a quella media di tutta l'estate 2015 (periodo da aprile a settembre). Anche durante la campagna invernale, la qualità dell'aria è stata simile a quella che si è avuta mediamente nell'inverno 2014-2015.



**Figura 14. Indice di Qualità dell'aria in Piazza Bernardi, campagna ESTIVA: frequenza delle diverse "classi" di qualità dell'aria. Elaborazione eseguita a partire da tutti i dati disponibili per Piazza Bernardi. NA indica i giorni in cui non è possibile calcolare l'indice, per mancanza dei dati necessari.**



**Figura 15. Indice di Qualità dell'aria a Piazza Bernardi, campagna INVERNALE: frequenza delle diverse "classi" di qualità dell'aria. Elaborazione eseguita a partire da tutti i dati disponibili per Piazza Bernardi. NA indica i giorni in cui non è possibile calcolare l'indice, per mancanza dei dati necessari.**

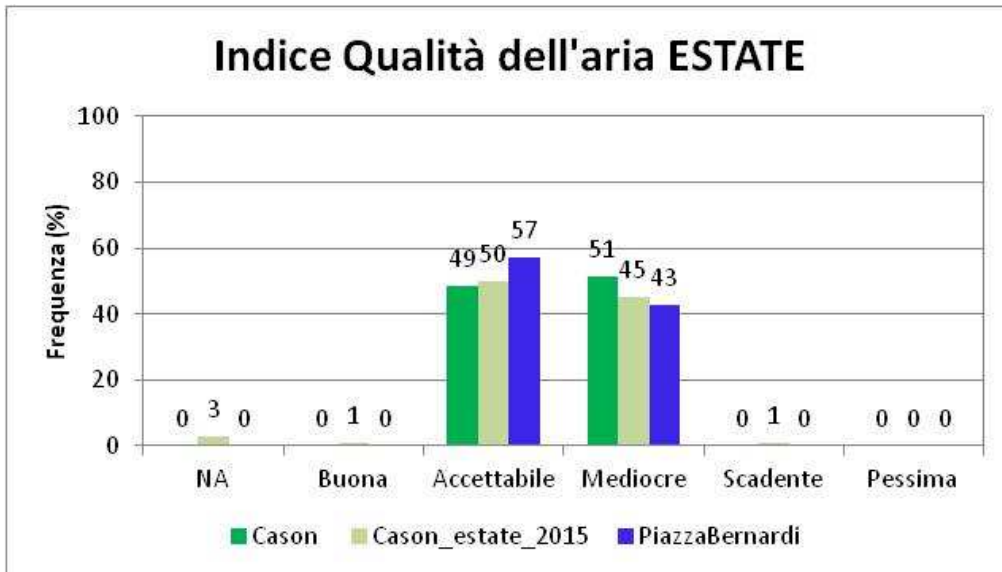


Figura 16. Indice sintetico di qualità dell'aria, stagione estiva. Le tre serie si riferiscono ai dati di Cason nel periodo in cui è stata svolta la campagna di misura a Piazza Bernardi ("Cason", verde scuro), ai dati di Cason in tutto il periodo estivo dell'anno 2015 ("Cason\_estate\_2015", dati da aprile a settembre, verde chiaro), e infine ai dati della campagna di Piazza Bernardi ("Piazza Bernardi", blu). Per la serie "Cason" e la serie "Piazza Bernardi" sono stati considerati solo i giorni in cui è disponibile il dato in entrambe le postazioni, al fine di effettuare un confronto sullo stesso periodo.

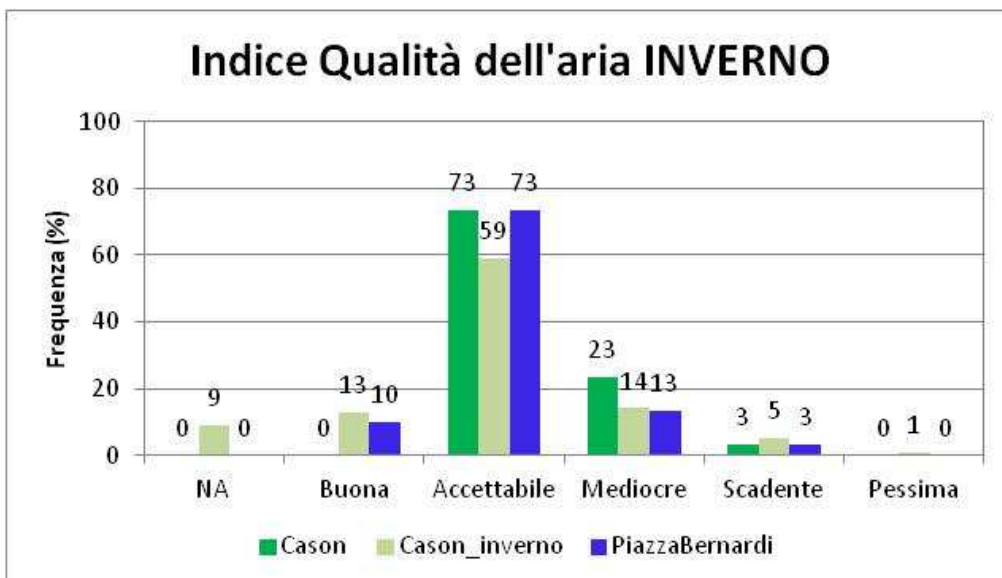


Figura 17. Indice sintetico di qualità dell'aria, stagione invernale. Le tre serie si riferiscono ai dati di Cason nel periodo in cui è stata svolta la campagna di misura a Piazza Bernardi ("Cason", verde scuro), ai dati di Cason in tutto l'inverno 2014-2015 ("Cason\_INVERNO\_2014", dati da ottobre 2014 a marzo 2015, verde chiaro), ai dati della campagna estiva a Piazza Bernardi ("Piazza Bernardi", blu). Per la serie "Cason" e la serie "Piazza Bernardi" sono stati considerati solo i giorni in cui è disponibile il dato in entrambe le postazioni, al fine di effettuare un confronto sullo stesso periodo.





Figura 18. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria, campagna di Piazza Bernardi, estate 2015.



Figura 19. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria, campagna di Piazza Bernardi, inverno 2015.

## 9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse

La stazione del comune di Borgo Milano, essendo di "traffico urbano", posta a circa 4 km a ovest di Piazza Bernardi, può essere considerata rappresentativa anche dell'area di quest'ultima. Pertanto è stato effettuato un confronto, per gli inquinanti più significativi (NO<sub>2</sub>, benzene e PM<sub>10</sub>), con le medie annuali registrate negli anni precedenti presso questa centralina fissa, e, per completezza, a Cason. Inoltre, fino al 2012, in Piazza Bernardi, è stata attiva anche una centralina fissa per la misura di alcuni inquinanti, tra cui ossidi di azoto e benzene, i cui dati sono stati utilizzati in questo confronto. I risultati sono riportati in forma grafica in Figura 20, Figura 21 e Figura 22.

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 leggermente inferiore 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 relativi a Piazza Bernardi sono superiori a quelli delle due centraline.

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 mediamente superiore rispetto a Cason. Durante la campagna di misura, i valori medi di Piazza Bernardi sono inferiori rispetto a Borgo Milano e a Cason.

La concentrazione di PM10 mostra una tendenza alla diminuzione tra il 2007 e il 2014. Nel periodo di campagna i valori medi di PM10 di Borgo Milano sono simili a quelli dell'anno 2014, mentre quelli di Cason sono superiori. La concentrazione media in Piazza Bernardi è inferiore a quella di Cason e di poco superiore a quella di Borgo Milano.

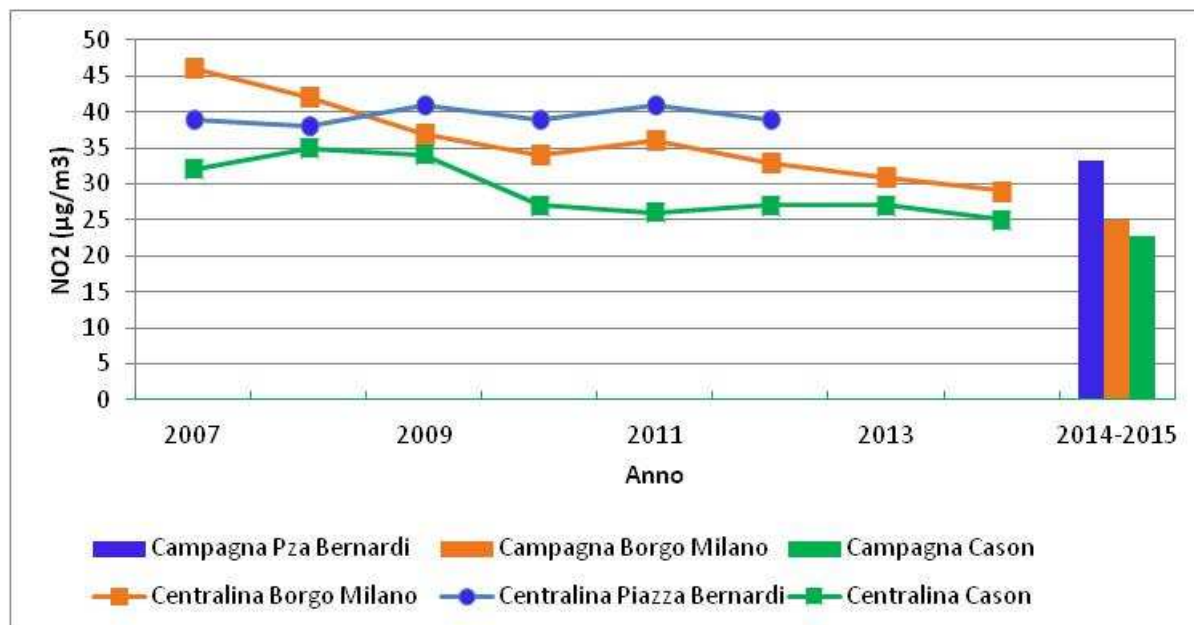


Figura 20. NO<sub>2</sub>: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Piazza Bernardi, Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015 misurate dal mezzo mobile in Piazza Bernardi, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

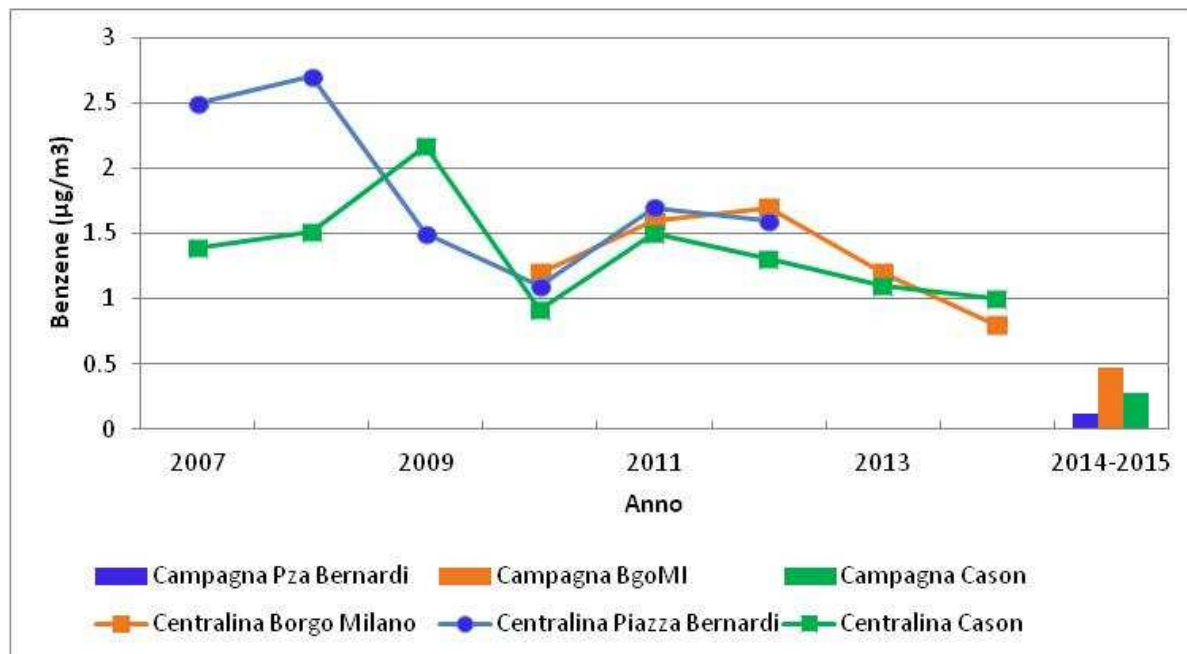


Figura 21. Benzene: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Piazza Bernardi, Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015 misurate dal mezzo mobile in Piazza Bernardi, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

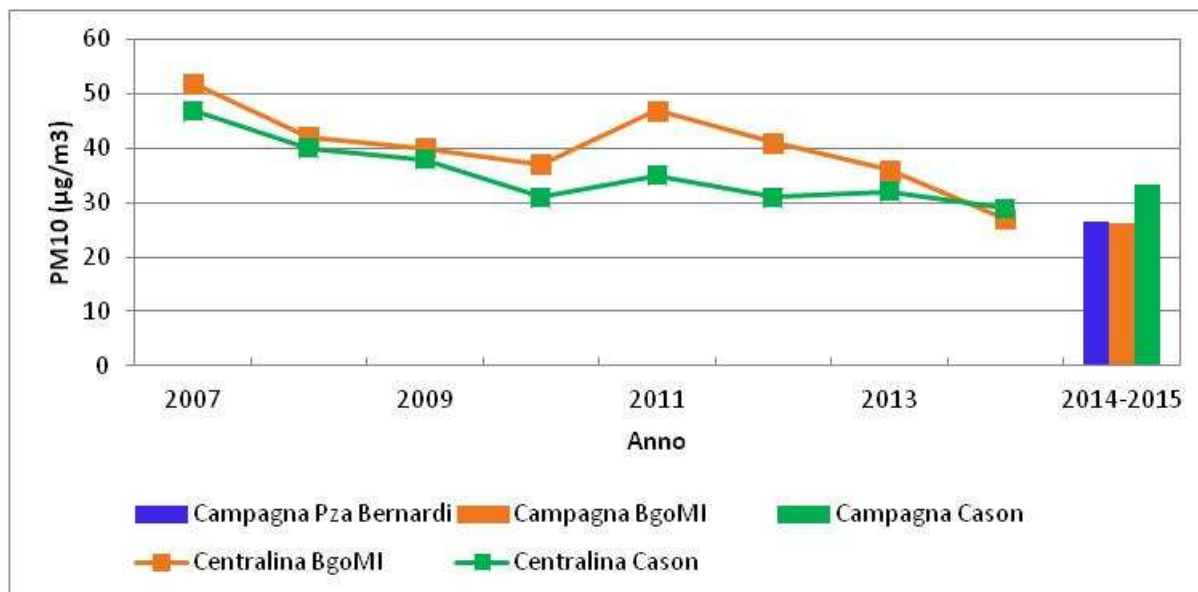


Figura 22. PM10: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015 misurata dal mezzo mobile in Piazza Bernardi, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

## 10. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Verona, in Piazza Bernardi. Il sito, per le caratteristiche descritte, può essere considerato di "traffico urbano".

Le campagne di misura sono state realizzate in due periodi dell'anno: dal 28/07/2015 al 10/09/2015 nel semestre estivo e dal 27/02/2015 al 16/04/2015 nel semestre invernale. Durante la campagna invernale, ci sono stati brevi periodi di tempo stabile, con associate inversioni termiche al suolo, durante i quali si sono verificati i superamenti relativi alle polveri sottili. Durante la campagna estiva ci sono stati due periodi di caldo intenso, all'inizio e alla fine del mese di agosto rispettivamente, che sono stati critici per la concentrazione di ozono. Entrambe le campagne sono state svolte in periodi caratterizzati da condizioni meteorologiche variabili.

Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, 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 alcune stazioni fisse di riferimento: quella di traffico urbano di Borgo Milano, quella di fondo urbano di Cason e quella che è stata attiva in Piazza Bernardi stessa fino all'anno 2012.

Nel caso degli ossidi di azoto, inquinanti legati principalmente alle emissioni da traffico, i valori medi registrati in Piazza Bernardi sono superiori a quelli misurati a Borgo Milano e a Cason. L'andamento delle concentrazioni medie nel corso della giornata in Piazza Bernardi rispecchia quello di Cason e Borgo Milano. Nel periodo di svolgimento delle campagne di misura non vi è stato alcun superamento dei limiti normativi relativi all'esposizione acuta, in Piazza Bernardi come anche nelle stazioni di riferimento del comune di Verona. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie di NO<sub>2</sub> misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 33 µg/m<sup>3</sup>, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m<sup>3</sup>; invece la stessa media relativa agli NO<sub>x</sub> è 44 µg/m<sup>3</sup>, superiore al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 µg/m<sup>3</sup>.

I valori medi e massimi di PM10 relativi a Piazza Bernardi sono stati vicini a quelli delle centraline di Borgo Milano e Cason nello stesso periodo, leggermente inferiori a quelli di Cason. Essi sono più elevati durante la campagna invernale rispetto a quella estiva, a causa delle condizioni meteorologiche, che nel periodo estivo favoriscono la dispersione di questo inquinante.

Il numero di superamenti del limite normativo (valore giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup> da non superare per più di 35 volte l'anno) è pari al 7% del periodo monitorato. La stima del valore medio annuale per il sito di Piazza Bernardi, ottenuta dal confronto con i valori della centralina fissa più vicina e rappresentativa del sito stesso (Borgo Milano), è stata 33 µg/m<sup>3</sup>, che è inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m<sup>3</sup>. In base alla stessa metodologia si stima il 90° percentile pari a 62 µg/m<sup>3</sup>, il che determina un superamento del valore limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup> per un numero di volte superiore a 35.

Le concentrazioni medie di ozono registrate in Piazza Bernardi sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Cason. Nel periodo estivo, il limite di 120 µg/m<sup>3</sup> sulla media mobile di 8 ore, relativo all'esposizione cronica, è stato superato 17 volte, mentre quello di 180 µg/m<sup>3</sup>, relativo all'esposizione acuta per le fasce deboli della popolazione, è stato superato 2 volte. Il numero di superamenti è stato inferiore rispetto al corrispondente di Cason.

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

Il benzene, misurato con campionatori passivi, presenta valori medi inferiori al limite di rivelabilità in estate, come anche le centraline di riferimento; in inverno essi sono superiori a quelli di Cason e

inferiori a quelli di Borgo Milano. La media pesata delle concentrazioni estive e invernali è  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiore al limite annuale di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La concentrazione media di benzo(a)pirene in Piazza Bernardi è superiore a quella registrata a Cason in inverno, mentre in estate ha un valore inferiore al limite di rilevabilità strumentale. Il valor medio sui due periodi è pari a  $0.17 \text{ ng}/\text{m}^3$ , inferiore al valore obiettivo riferito alla media sull'anno civile di  $1.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

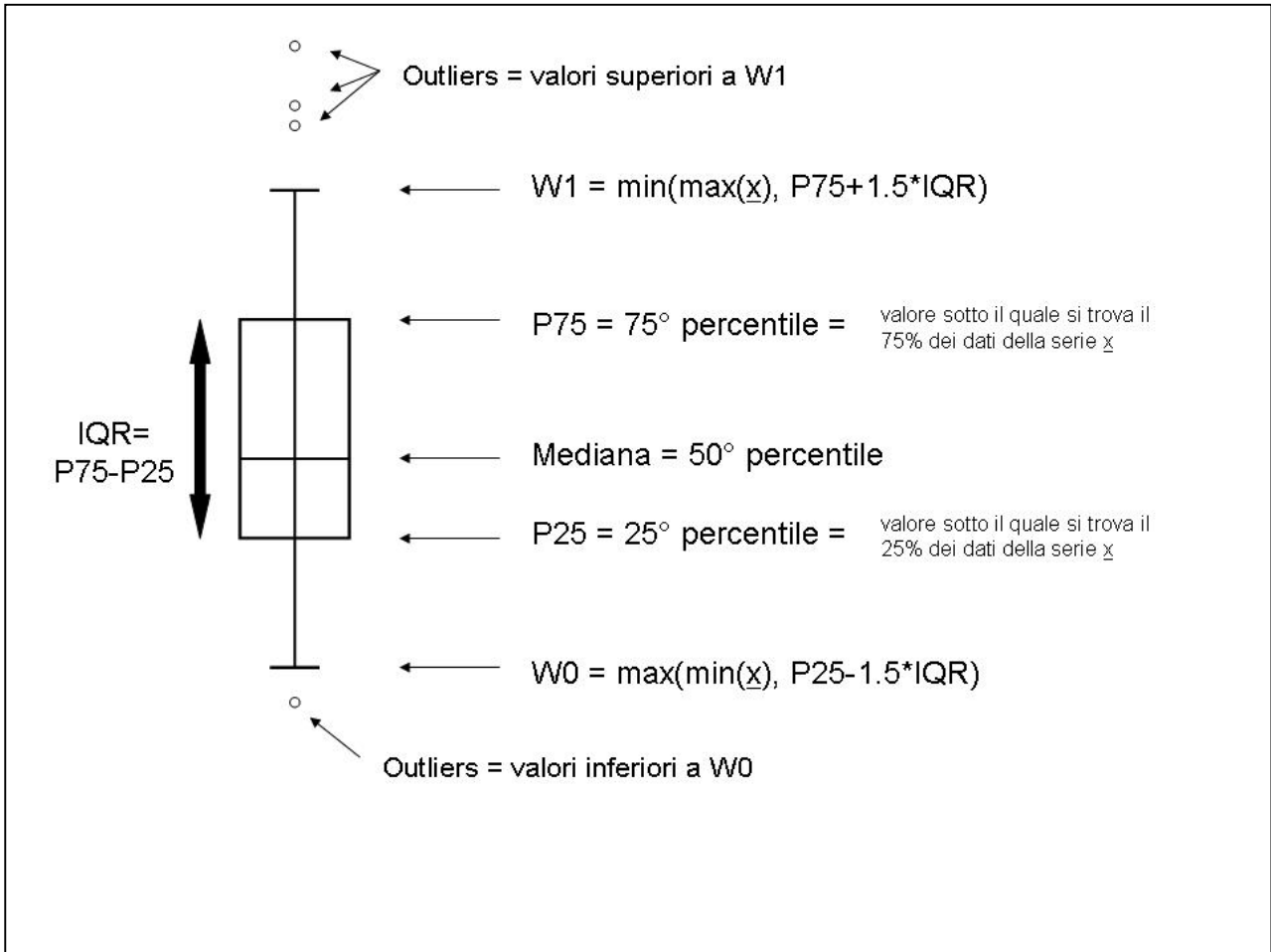
Le concentrazioni medie dei metalli misurate in Piazza Bernardi, in entrambi i periodi di campagna, sono ampiamente inferiori ai rispettivi limiti di legge relativi all'esposizione cronica. La concentrazione media per tutti gli elementi analizzati risulta in linea con i valori rappresentativi del livello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

Nei due periodi monitorati, la qualità dell'aria del comune di Piazza Bernardi è risultata prevalentemente accettabile, e non ci sono state giornate con qualità dell'aria pessima. Nondimeno è necessario segnalare come livelli di traffico come quelli che caratterizzano la zona monitorata producano livelli di ossidi di azoto confrontabili con quelli misurati dalla stazione fissa di traffico di borgo Milano, caratterizzata da un flusso di traffico più elevato.

Come si nota dal confronto con i dati storici della stazione fissa di piazza Bernardi (figura 20) i valori medi di  $\text{NO}_2$  rilevati a Piazza Bernardi sono sempre stati superiori a quelli rilevati a Corso Milano e sono rimasti pressoché costanti nel periodo 2007-2012: i valori della campagna di misura confermano questo andamento, confermando quindi la criticità locale legata al traffico e alla morfologia della strada che non consente la dispersione degli inquinanti.

## ALLEGATO

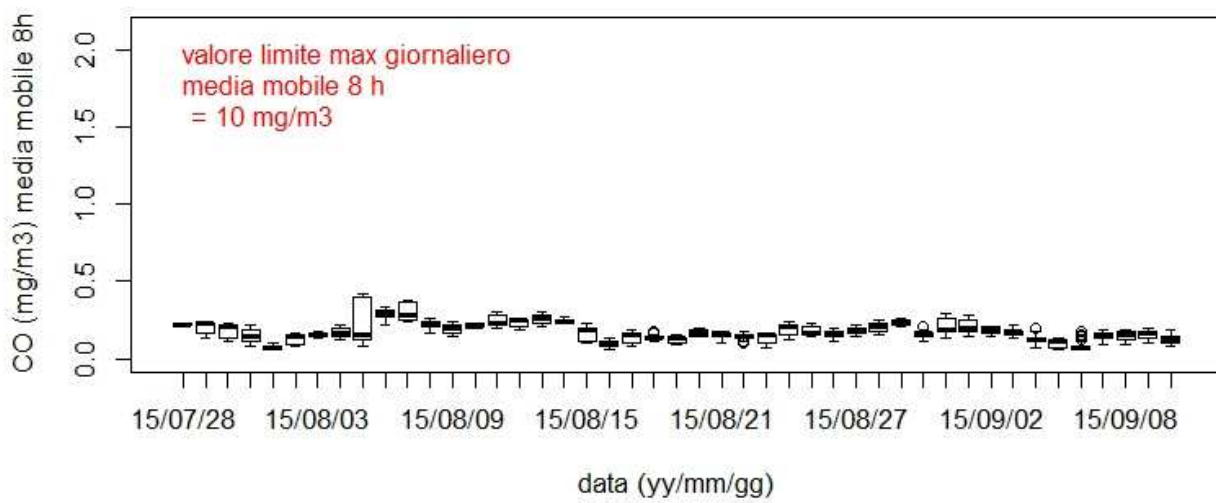
In questo allegato sono stati riportati anche alcuni grafici di tipo “box-whisker”, il cui significato è illustrato in Figura 23.



**Figura 23. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata dal grafico è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita inferiormente il “box” è il 25° percentile, cioè il valore rispetto al quale il 25% dei dati è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita superiormente il “box” è il 75° percentile, cioè il valore rispetto al quale il 75% dei dati è inferiore. La differenza tra il 25° e 75° percentile si definisce “Inter Quartile Range” (IQR). In base all’IQR si definiscono i “baffi”, cioè le barre che si estendono in alto e in basso: lo spazio tra esse compreso dà un’indicazione della dispersione dei dati della serie rappresentata. Oltre i baffi, si trovano solo pochi dati della popolazione rappresentata, i valori minimi e massimi, che vengono chiamati “outliers e indicati con dei pallini.**

Grafico 1 – Concentrazione di CO (mg/m<sup>3</sup>), Media Mobile di 8 ore, box-wisker plot.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

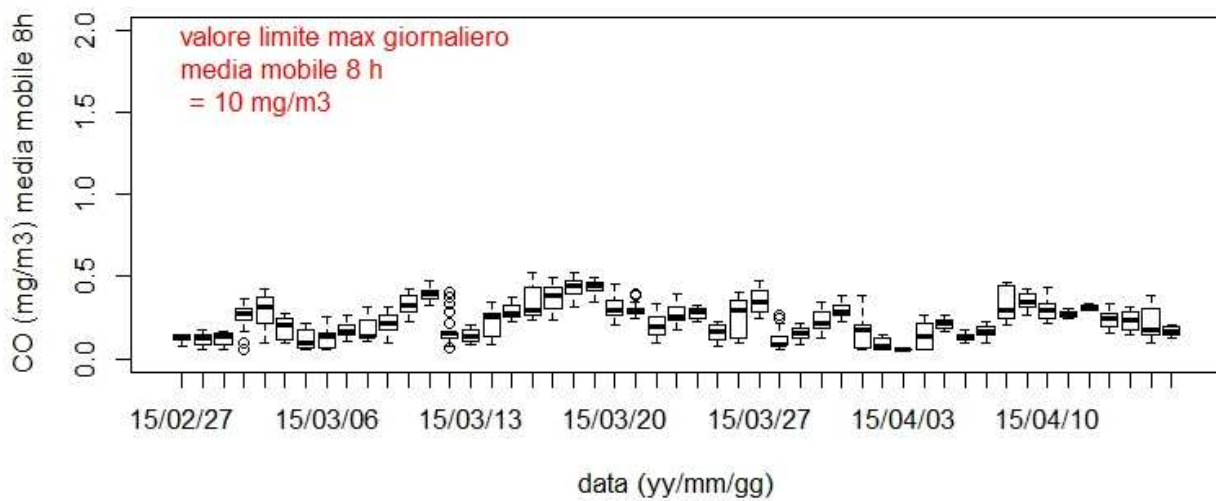
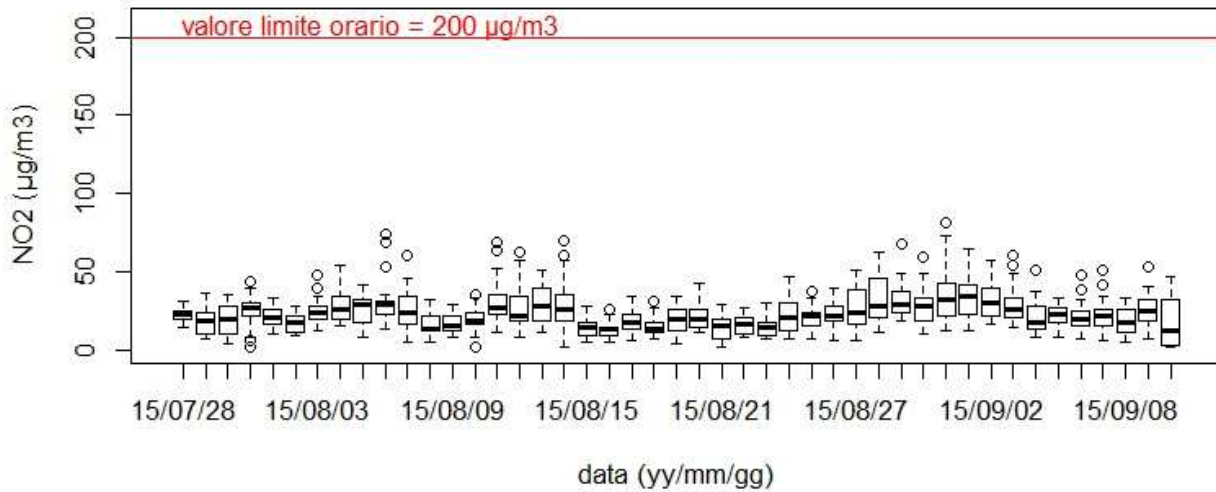




Grafico 2 – Concentrazione di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), box-wisker plot. “Esposizione acuta”.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

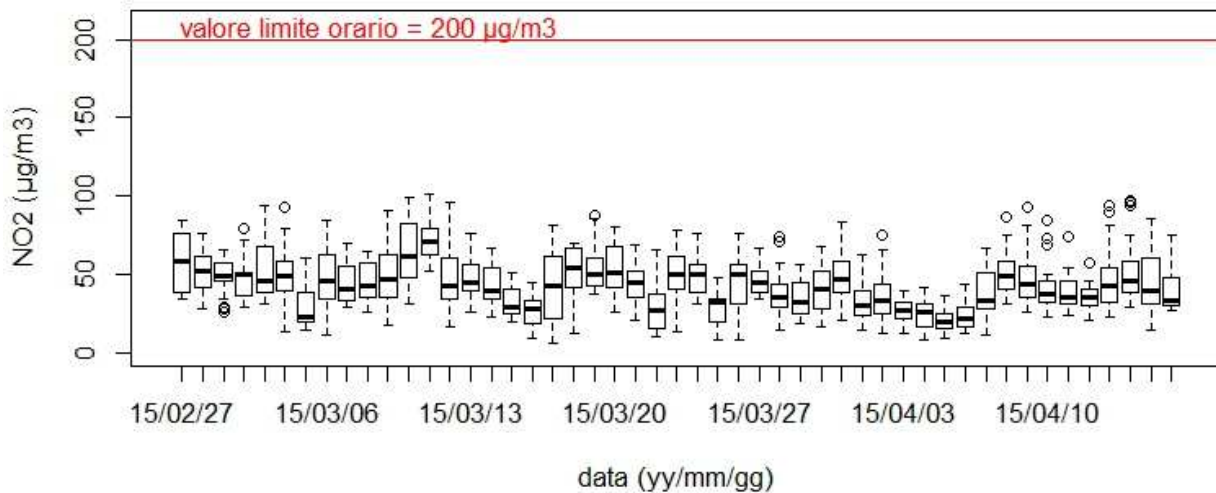
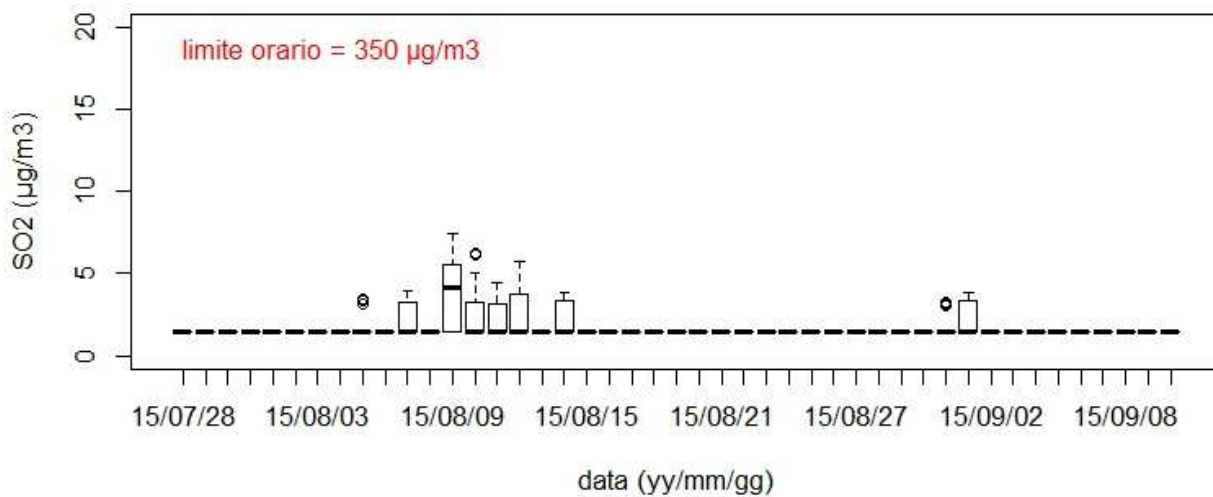


Grafico 3 – Concentrazione di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), box-wisker plot.

Semestre “estivo”



Semestre “invernale”

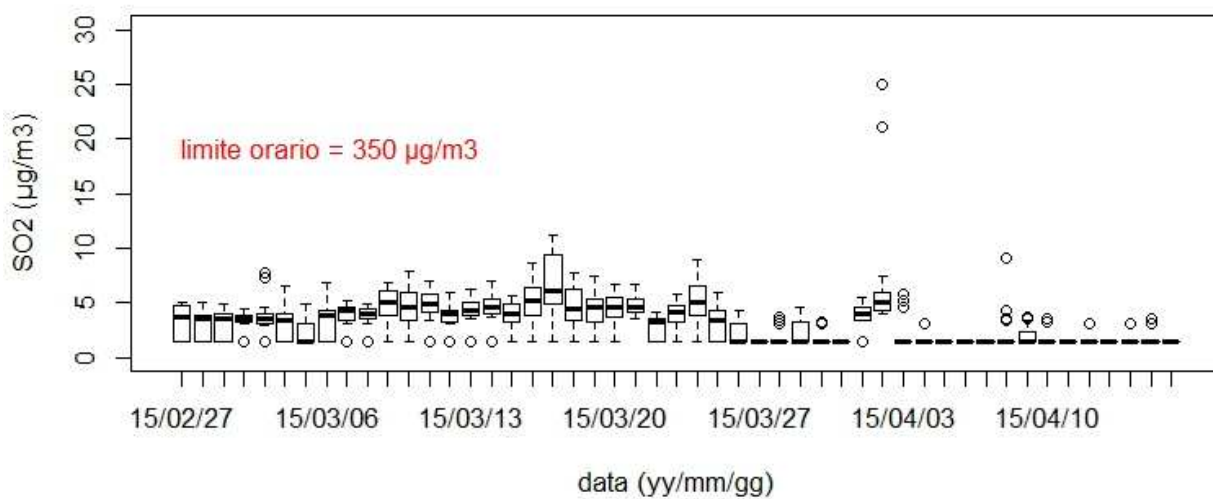
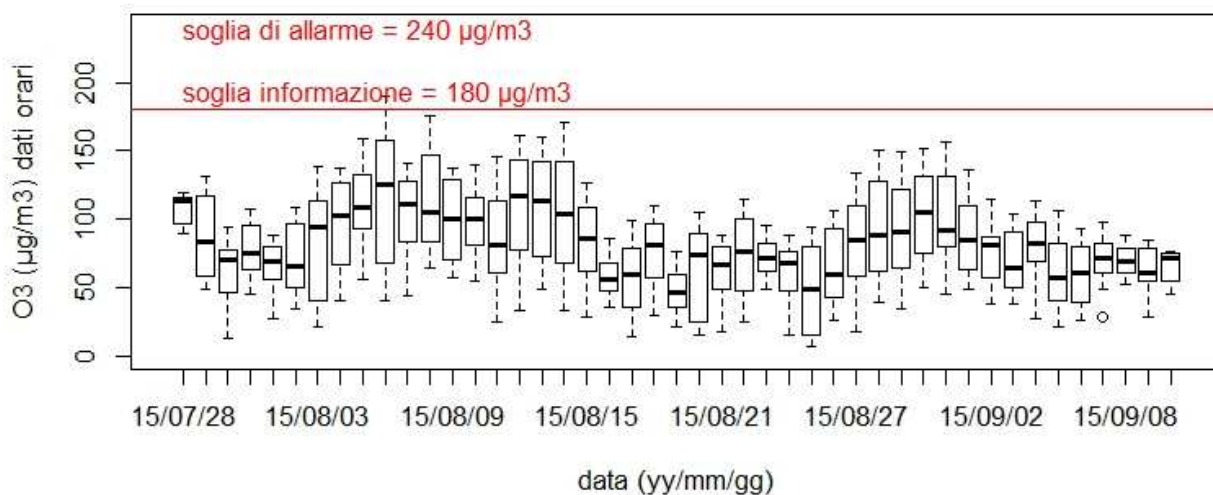
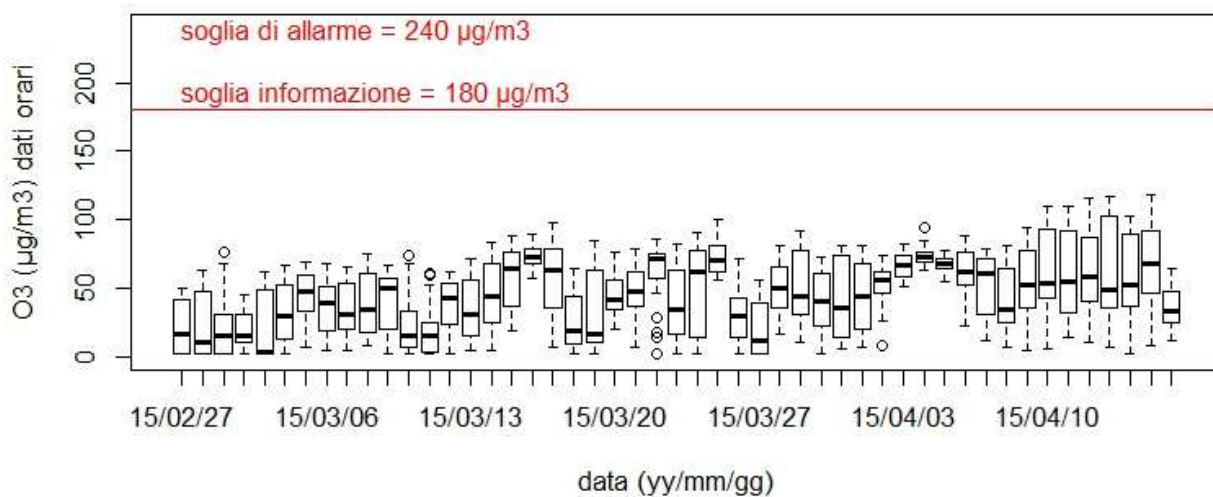


Grafico 4 – Concentrazione di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>), box-wisker plot.

Semestre “estivo”

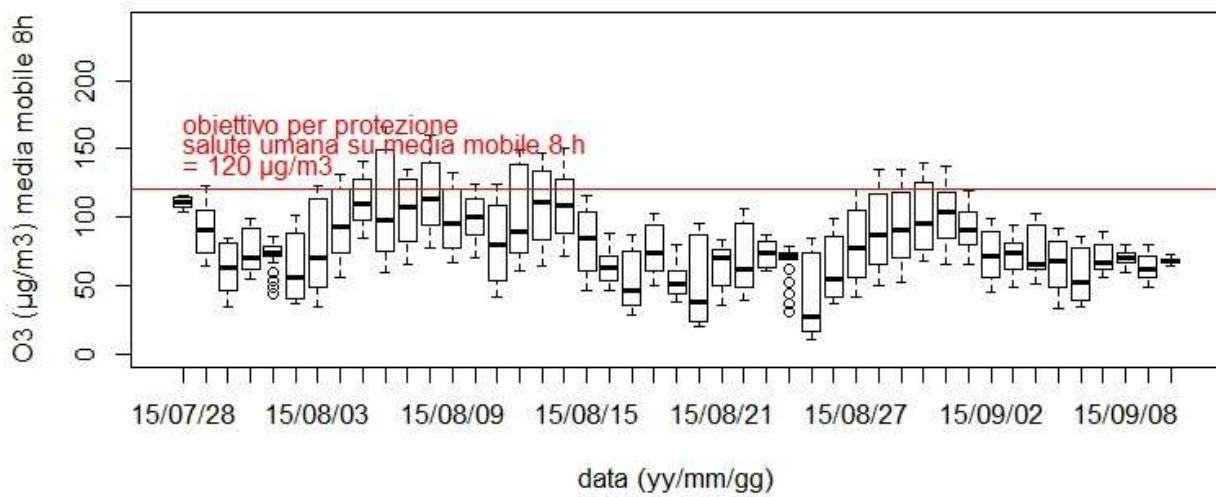


Semestre “invernale”



**Grafico 5 – Concentrazione di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>), media mobile di 8 ore, box-wisker plot.**

*Semestre “estivo”*



*Semestre “invernale”*

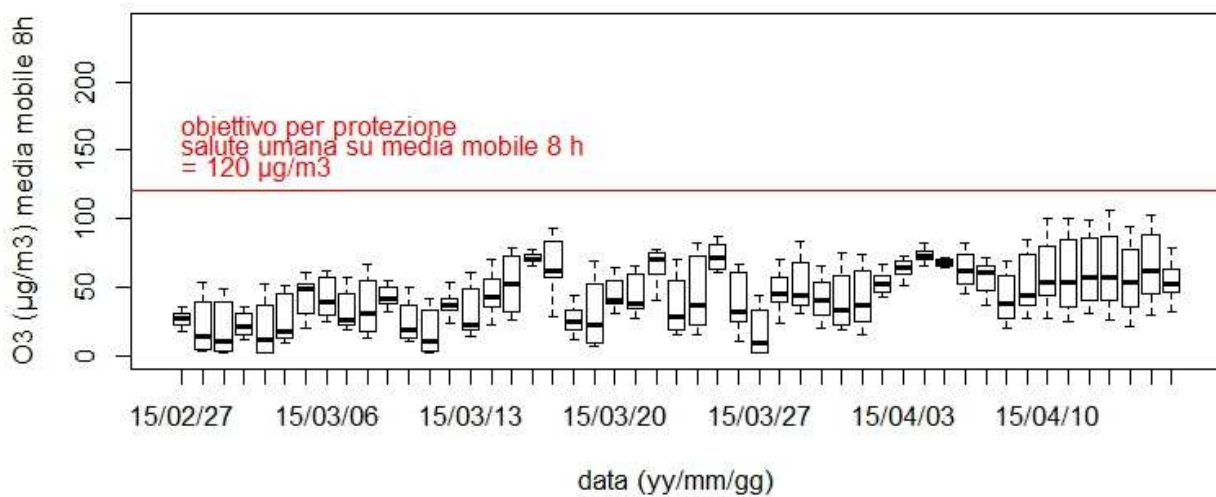
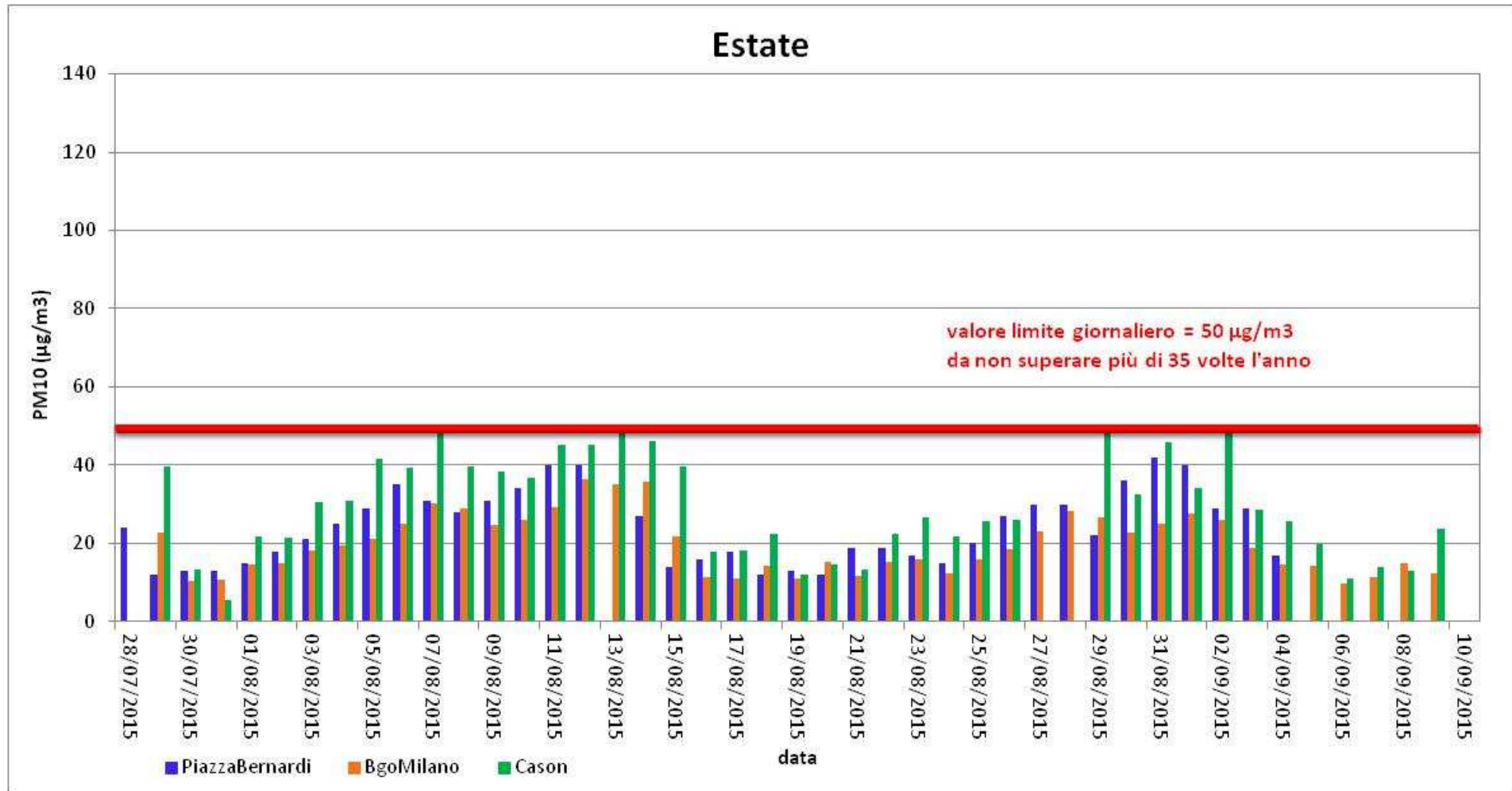


Grafico 6 – Concentrazione Giornaliera di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



## Inverno

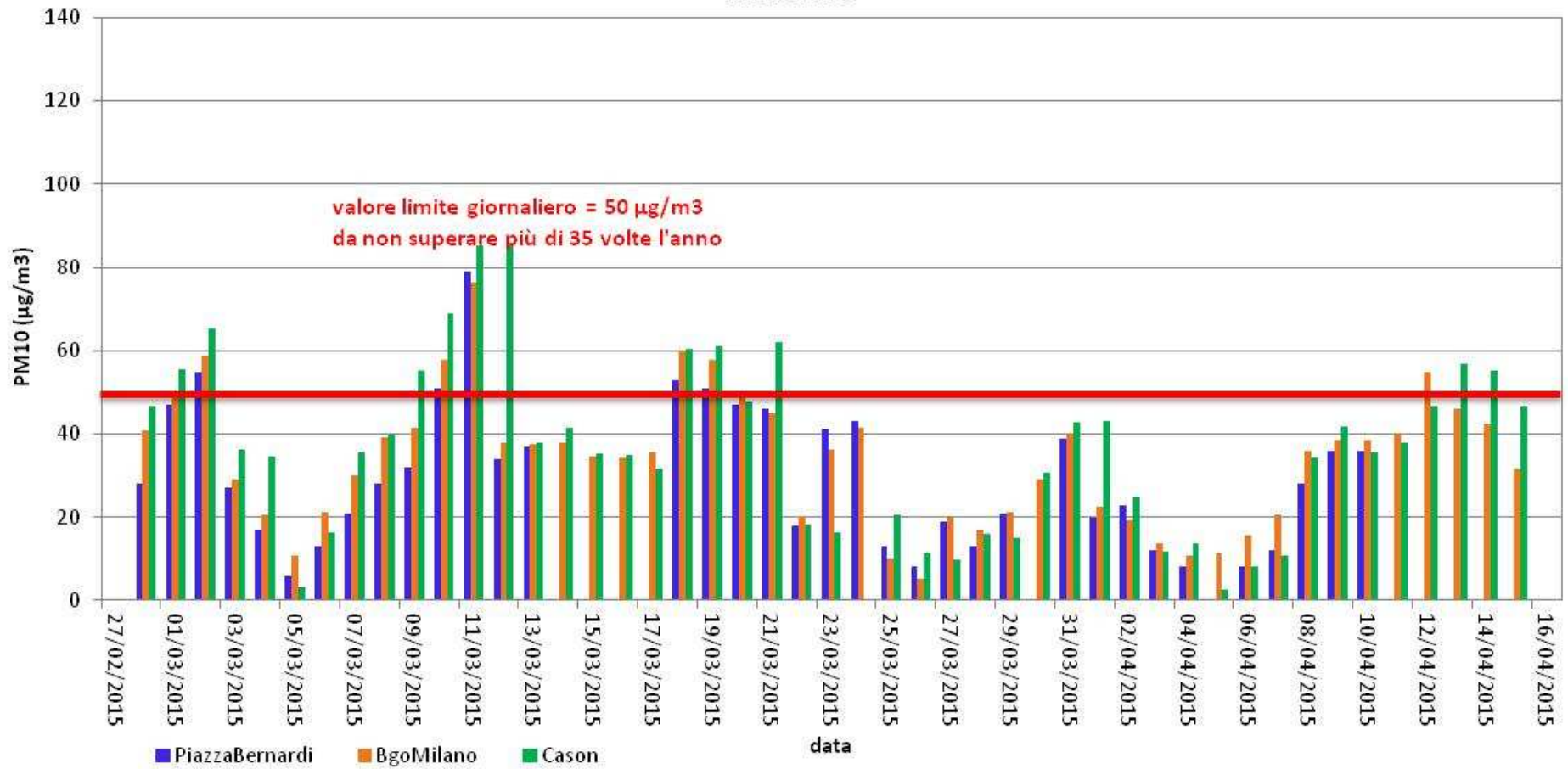
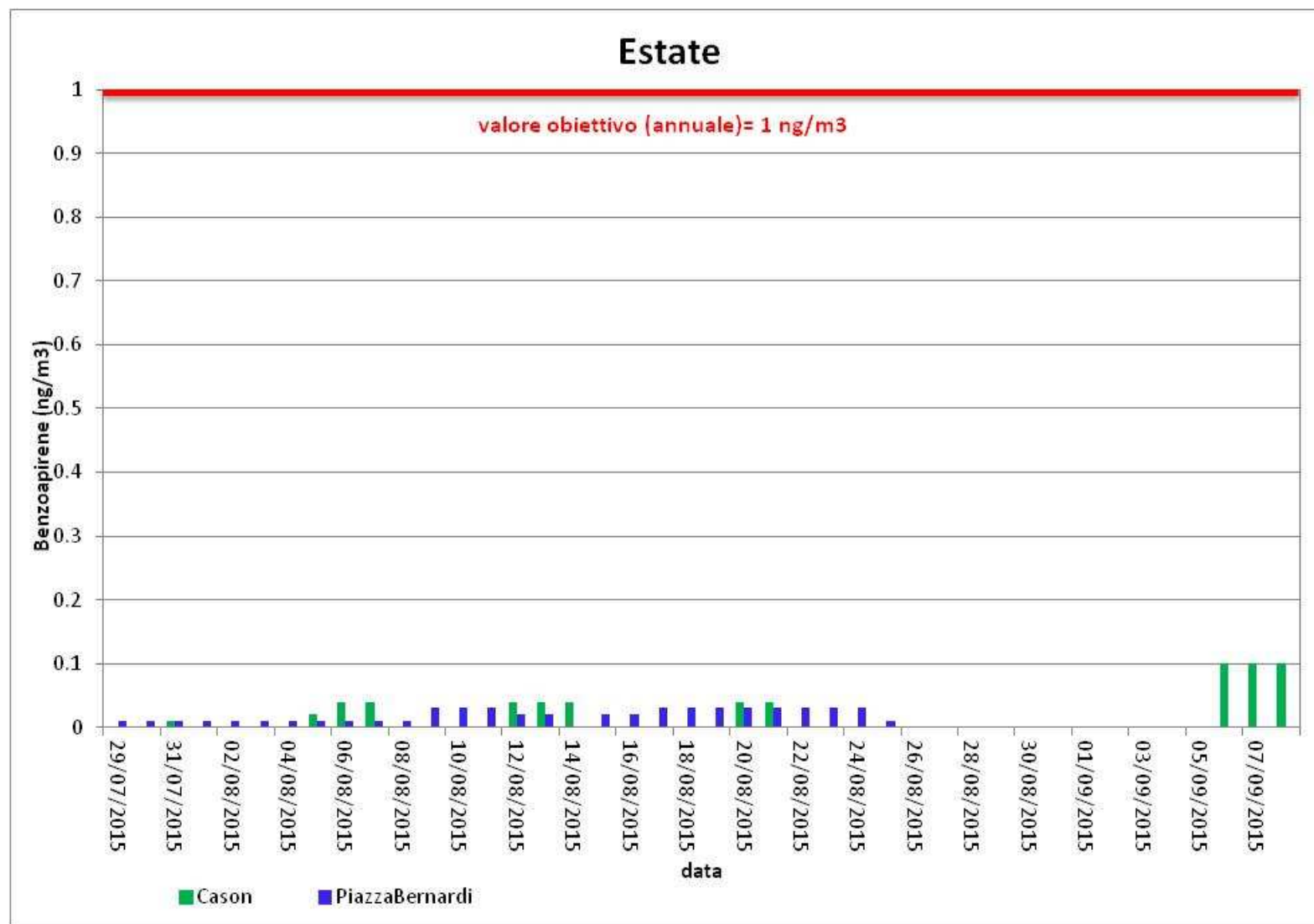


Grafico 7 – Concentrazione di benzoapirene (ng/m<sup>3</sup>).





## Inverno

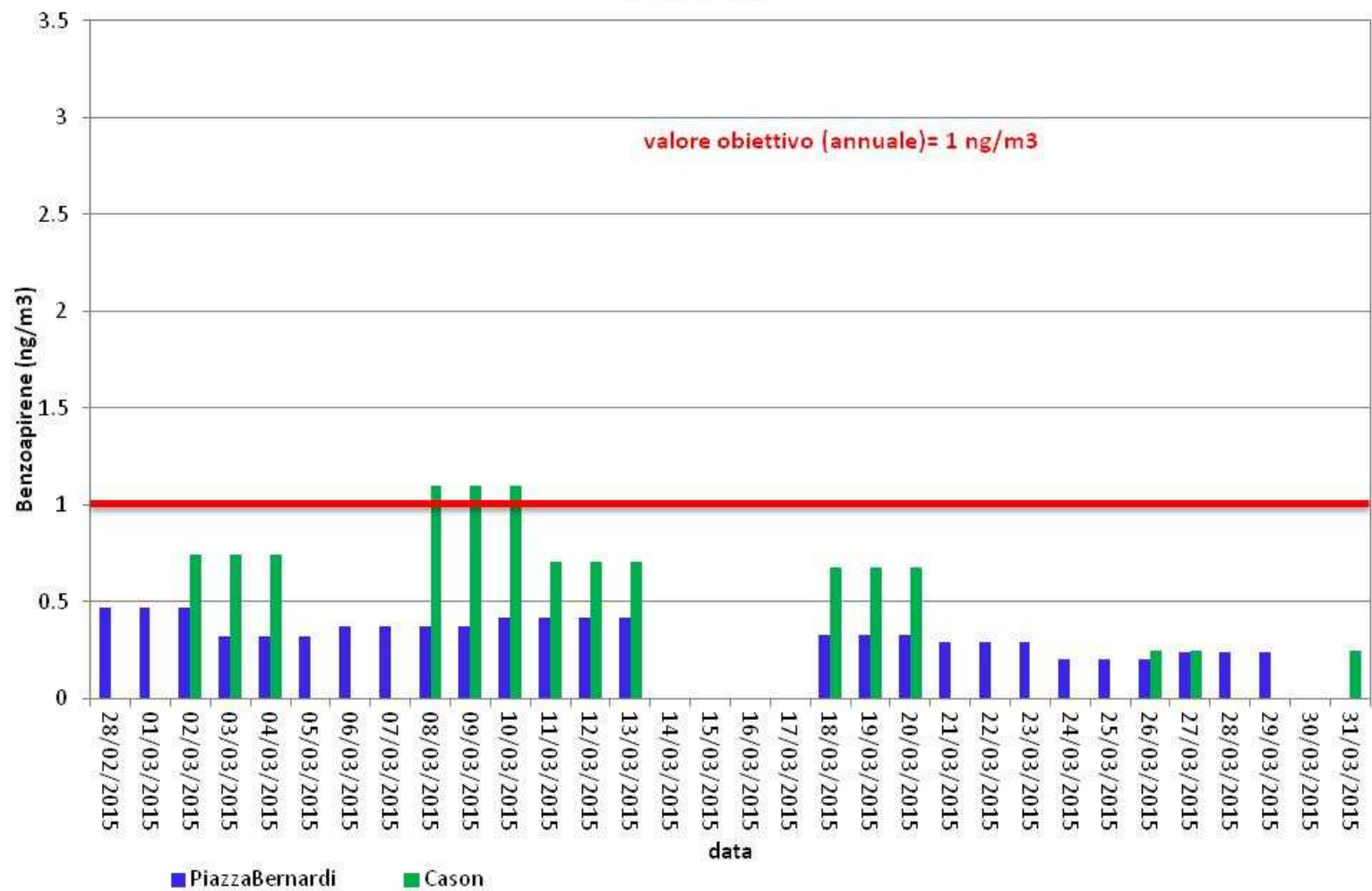


Grafico 8 – Giorno-tipo di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%

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

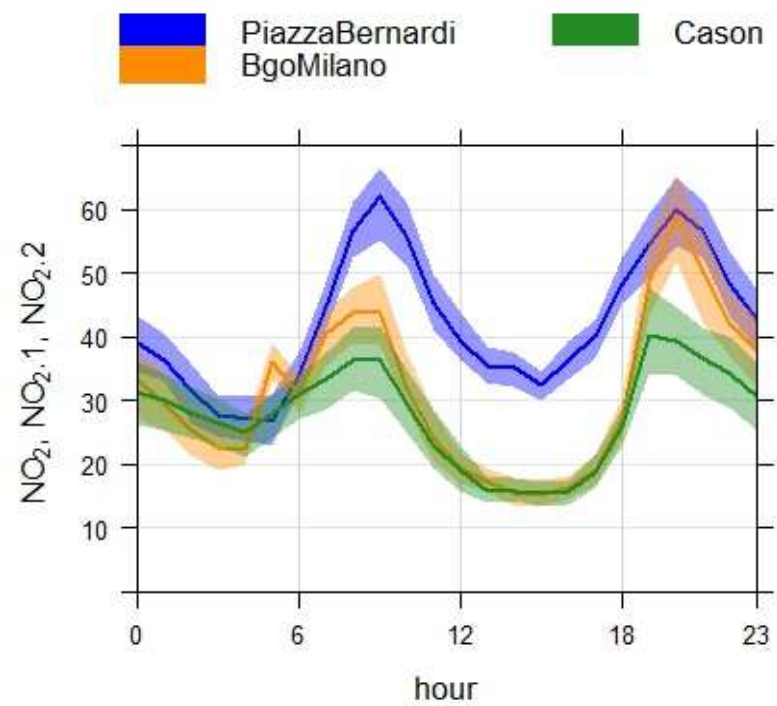
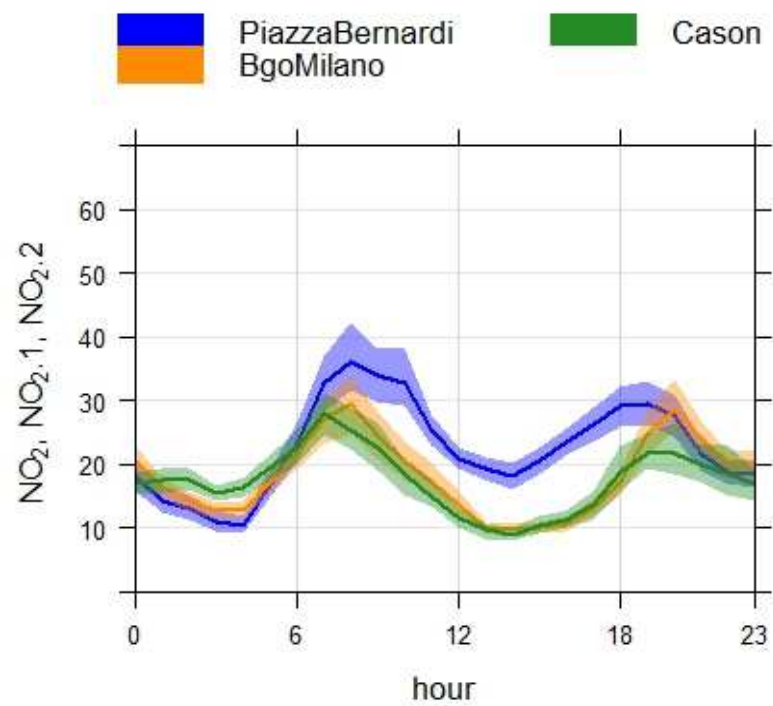


Grafico 9 – Settimana-tipo di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%

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

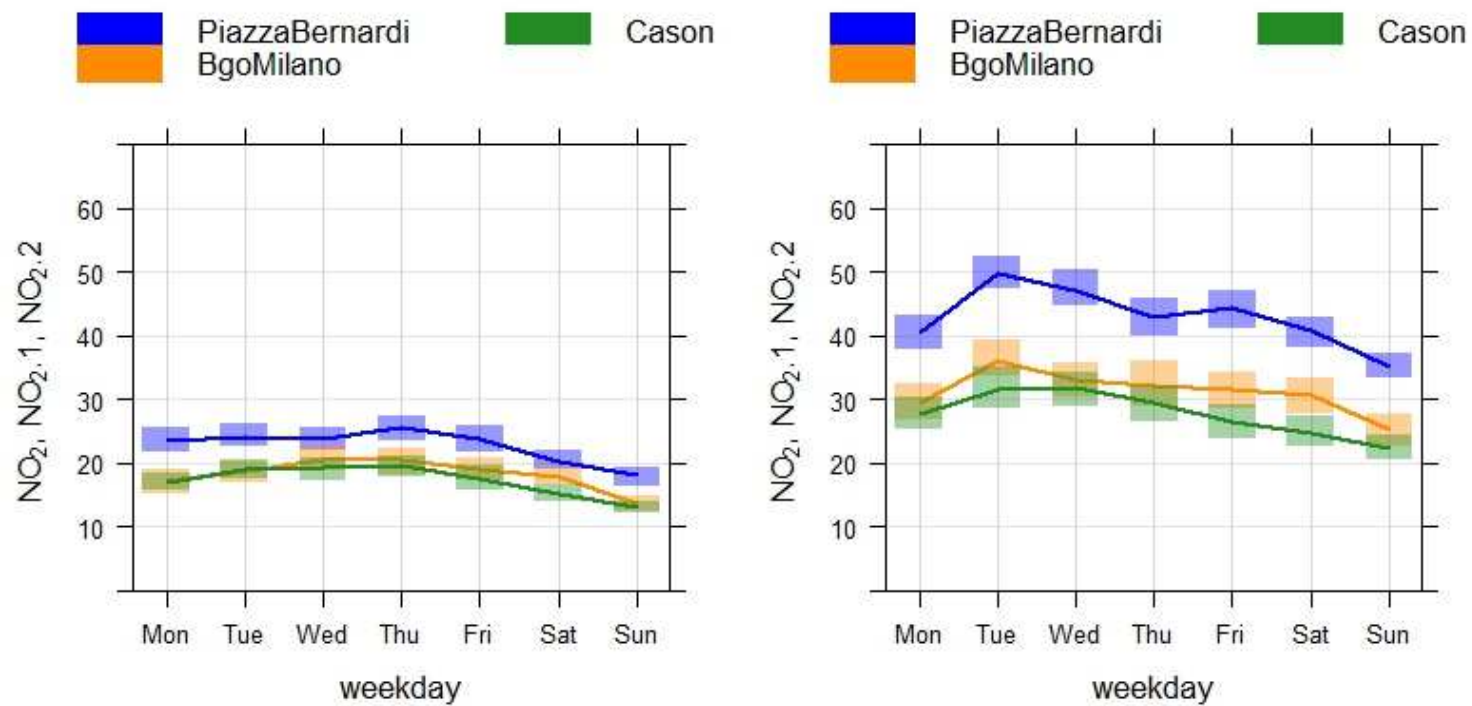


Grafico 10 – Giorno tipo  $O_3$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%.

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

