Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

REGIONE DEL VENETO

Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Comune di Verona

via Vigasio

Periodo di attuazione:
30/06/2014 – 14/08/2014 (semestre estivo)
27/02/2014 – 14/05/2014 (semestre invernale)

RELAZIONE TECNICA

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

REGIONE DEL VENETO

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Ing. Primo Munari

Servizio Controlli Ambientali

Dottoressa Francesca Predicatori

Ufficio Informativo Ambientale

Dottoressa Simona De Zolt Sappadina

Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

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

Relazione tecnica n. 8/14	**Data 11/11/2014**
F.to Il Tecnico Simona De Zolt Sappadina	F.to Il Dirigente Unità Operativa Fisica dell'Ambiente

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 9
5. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi 11
6. Efficienza di campionamento 11
7. Analisi dei dati rilevati 13
8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria) 26
9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse 28
10. Conclusioni 30
11. ALLEGATO 32

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 in un quartiere periferico nella zona Sud di Verona, in una zona non lontana da tangenziale sud e autostrada, interessata da insediamenti sparsi, in cui nel prossimo futuro sono in progetto nuovi insediamenti commerciali/industriali e nuova viabilità

2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione

Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile sono state svolte dal 30/06/2014 al 14/08/2014 nel semestre estivo e dal 27/02/2014 al 14/05/2014 nel semestre invernale. L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Verona ed è di tipologia "traffico suburbano". 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, su carta tecnica regionale 1:5000. Il mezzo è stato posizionato lungo via Vigasio, nel lato est, 400 m a sud della tangenziale Sud, in una zona in cui sono presenti sia aree residenziali, sia coltivazioni, sia capannoni industriali.

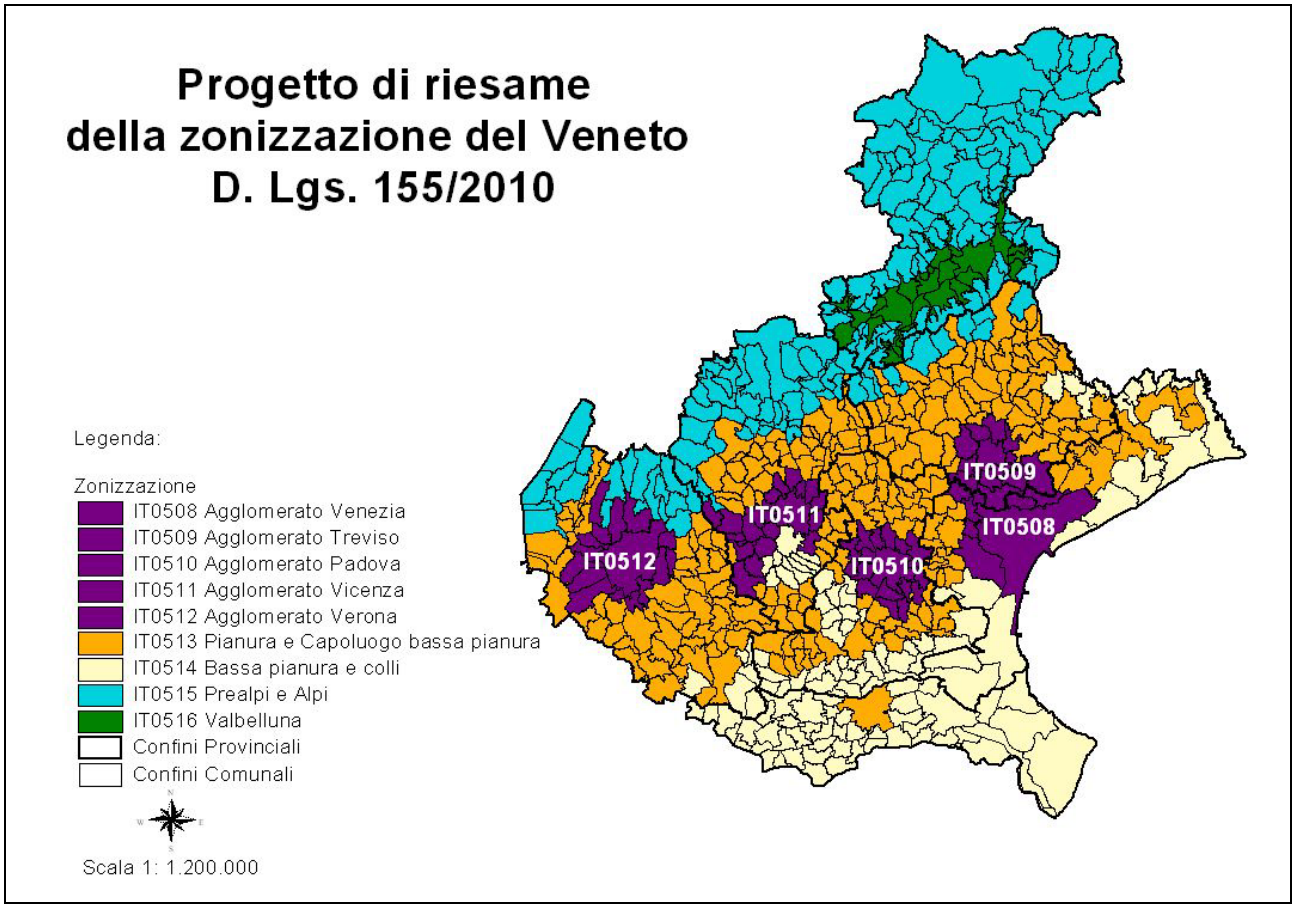


Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012.

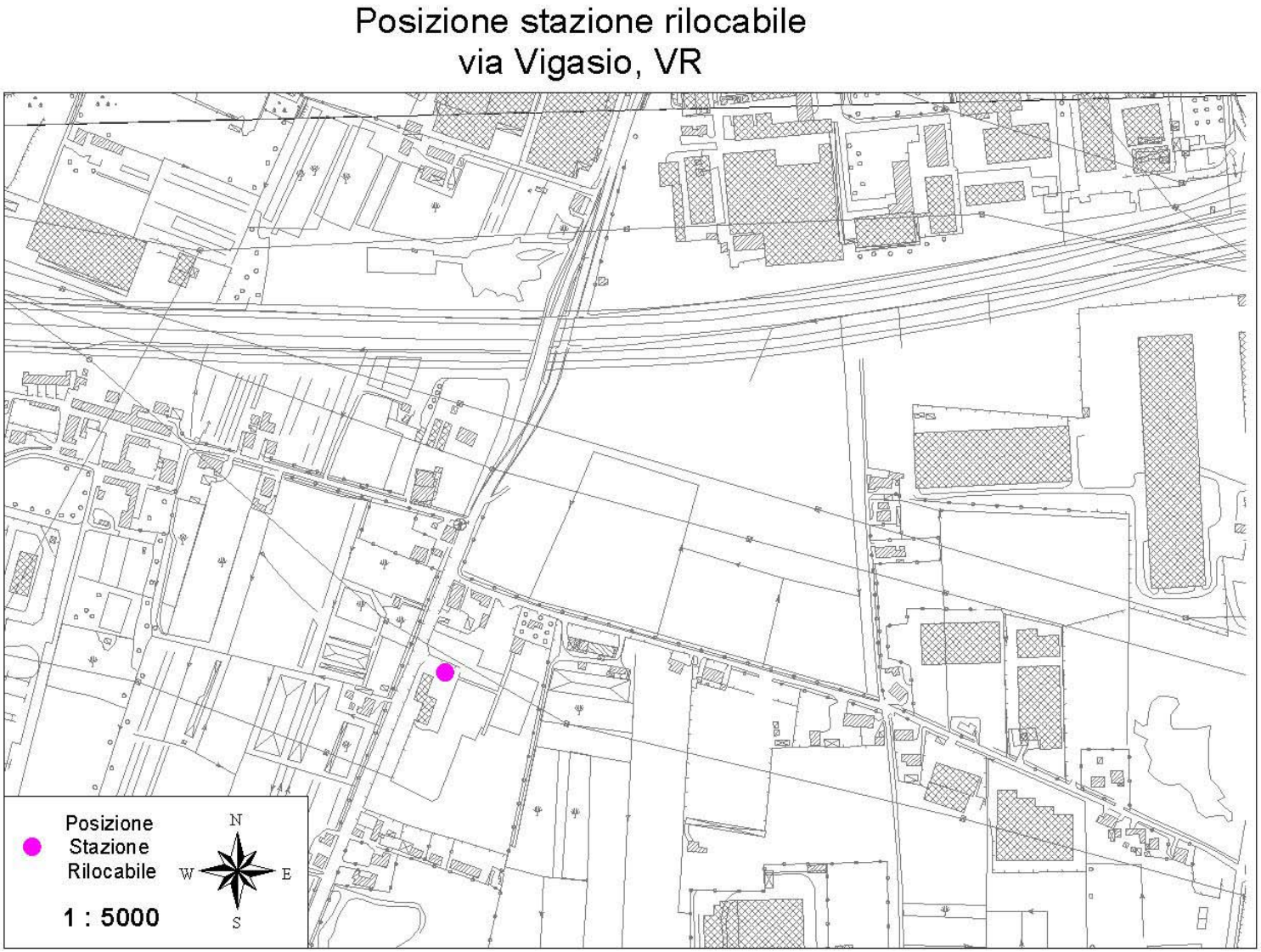


Figura 2. Estratto Carta Tecnica Regionale, scala 1:5000. Ubicazione del punto sottoposto a monitoraggio.

3. Contestualizzazione meteo climatica.

La campagna estiva, svoltasi tra 30/06/2014 e il 14/08/2014, è stata caratterizzata per lo più da un tempo variabile e perturbato, senza reali e durevoli ondate di calore, che ha determinato un clima fresco e mite. Unica eccezione sono stati i giorni caldi tra il 15-19 Luglio e 7-12 Agosto. Gli altri periodi sono stati caratterizzati da una piovosità superiore alla media stagionale, in particolare durante l'ultima decade di luglio e la prima metà di agosto, quando si sono manifestati numerosi intensi temporali.
La campagna invernale è stata svolta tra il 27/02/2014 e il 14/05/2014 in un periodo caratterizzato da un clima primaverile. I primi giorni di marzo sono stati interessati da una breve fase di maltempo piovoso per il transito di una saccatura atlantica. In seguito il tempo è cambiato radicalmente per l'affermarsi di un anticiclone dinamico di matrice atlantica che ha determinato clima molto mite e bel tempo. Questa fase è stata temporaneamente interrotta, tra il 22 ed il 27 marzo, da una discesa d'aria fredda, che ha determinato tempo instabile e freddo, per poi riprendere per altri 10 giorni. Il mese di aprile è stato caratterizzato dal continuo susseguirsi di perturbazioni, e tuttavia è stato più mite e meno piovoso della norma. Anche a maggio il tempo è stato variabile/instabile con brevi intervalli soleggiati, alternati a rovesci e temporali.
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 ad un campione pluriennale di dati.
Sono stati utilizzati i dati della stazione di Villafranca Veronese, che tra quelle della rete ARPAV è la più vicina al punto di misura. L'anemometro di questa stazione meteorologica è posto all'altezza di 2 m sul livello del suolo, per cui l'intensità del vento è sottostimata rispetto alle misure effettuate normalmente a 5 o 10 m di altezza: per questo motivo nel grafico con i diagrammi circolari si utilizza una scala di intensità del vento che permetta di apprezzare eventuali differenze fra valori di bassa intensità del vento.
Nella Figura 3 sono state confrontate le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione meteorologica ARPAV di Villafranca Veronese per la precipitazione e per il vento in tre periodi ESTIVI:

- 1 luglio – 13 agosto 2014, periodo di svolgimento della campagna di misura,
- 1 luglio – 13 agosto dall'anno 2002 all'anno 2013 (PERIODO ANNI PRECEDENTI)
- 13 agosto 2013 – 13 agosto 2014 (ANNO CORRENTE).

Gli stessi grafici sono stati ripetuti in figura 4 con riferimento alla campagna INVERNALE, svoltasi tra il 28 febbraio 2014 e il 13 maggio 2014.

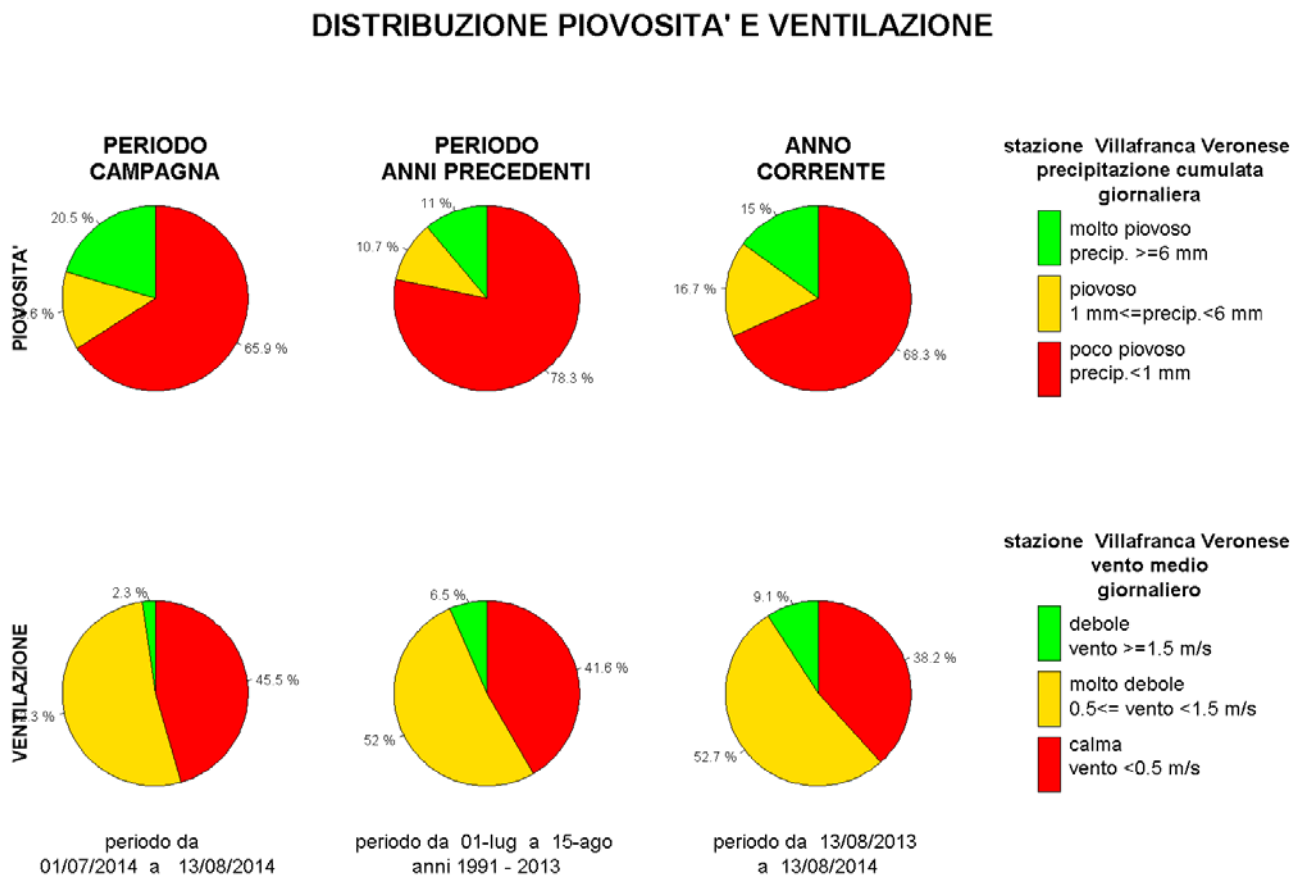


Figura 3. Campagna ESTIVA. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente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

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

- la piovosità è simile a quella del periodo corrispondente degli anni precedenti, mentre i giorni poco piovosi sono stati più frequenti rispetto all'anno in corso;
- i giorni con vento debole risultano più frequenti sia rispetto alla climatologia del periodo, sia rispetto all'anno corrente e i giorni con calma di vento sono meno frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento.

Durante la campagna di misura INVERNALE:

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

In sintesi, il periodo di campagna estivo è stato considerevolmente più piovoso della media, mentre quello della campagna invernale è stato caratterizzato da una ventilazione più elevata della media.

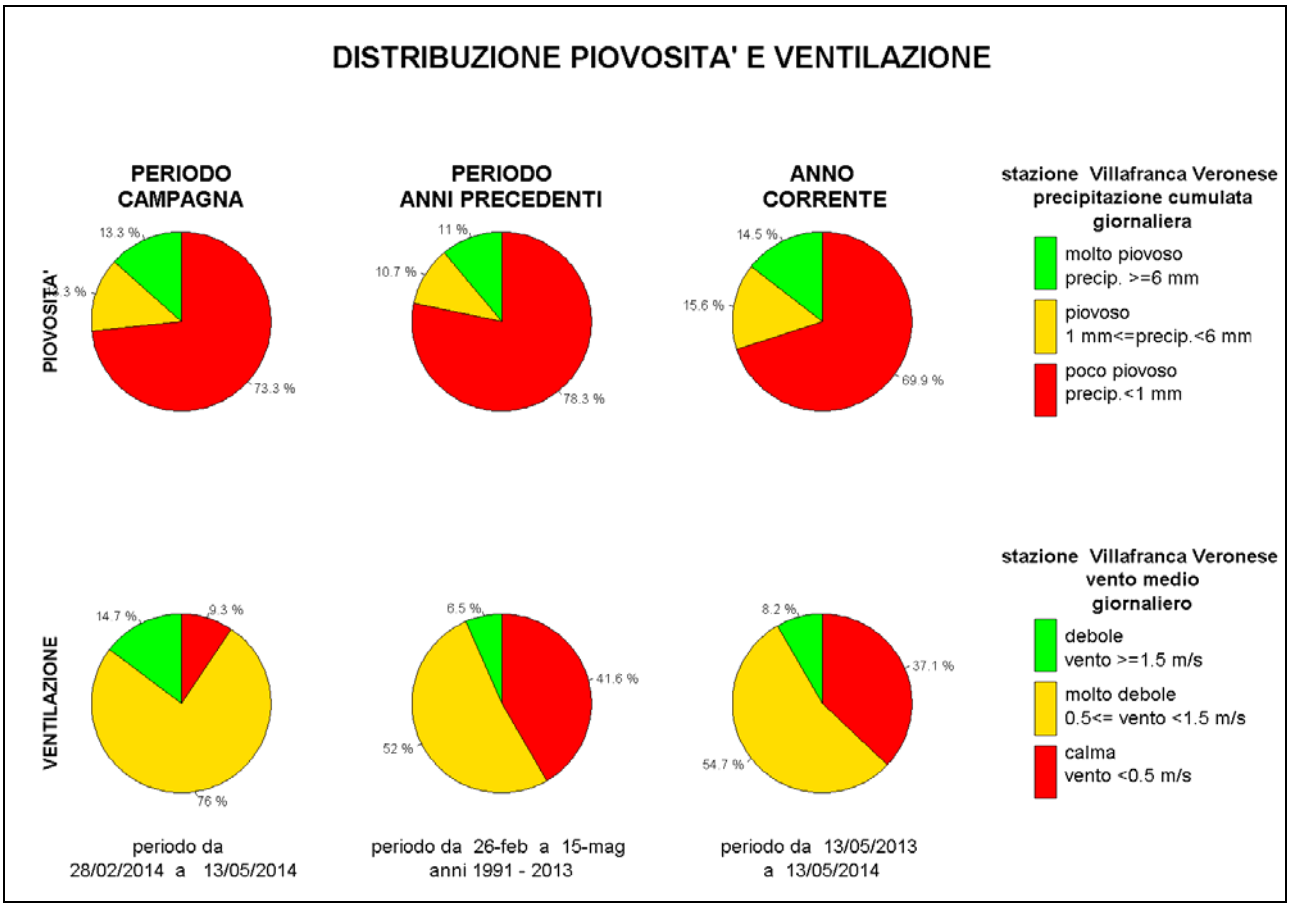


Figura 4. Campagna INVERNALE. Diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo corrispondente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

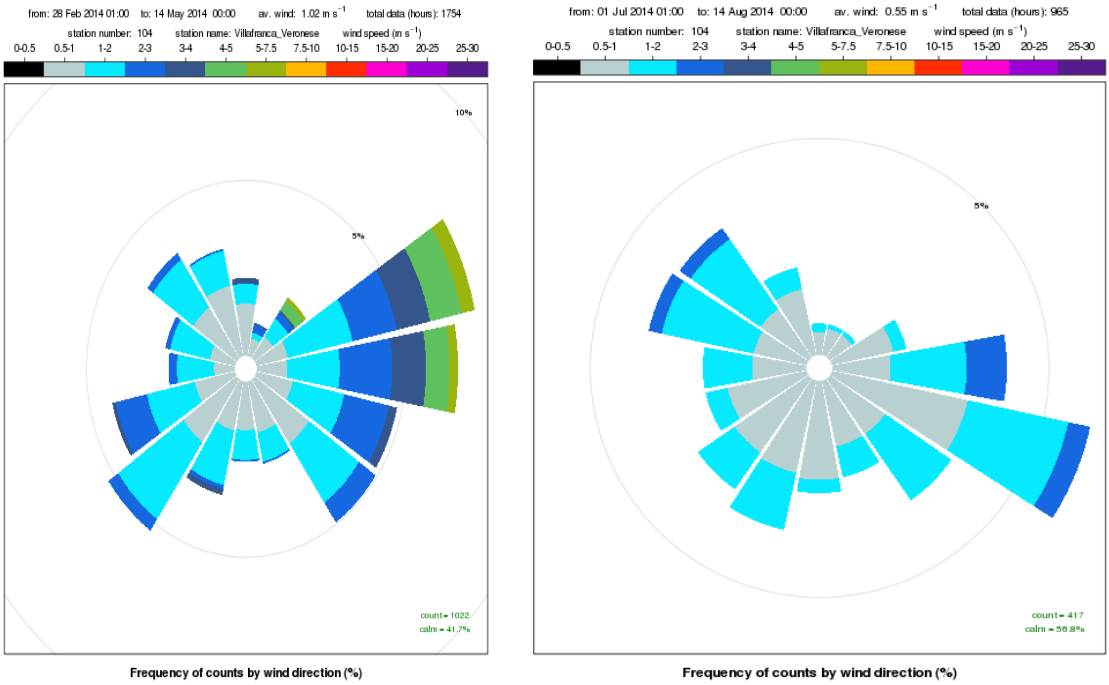


Figura 5. Rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Grezzana nel periodo ESTIVO (1 luglio 2014 – 13 agosto 2014) nel pannello a sinistra ed INVERNALE (28 febbraio 2014 – 13 maggio 2014) nel pannello a destra.

In Figura 5 è riportata la rosa dei venti registrati presso la stazione di Villafranca veronese durante lo svolgimento delle campagne di misura. Da essa si evince che le direzioni prevalenti di provenienza del vento durante il periodo ESTIVO sono est-sudest (6%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 51%; la velocità media pari a circa 0.55 m/s. Invece, nel periodo invernale, le direzioni prevalenti sono est-nordest (7%) ed est (7%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 42%; la velocità media pari a circa 1 m/s.

4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

La stazione rilocabile è dotata di analizzatori in continuo per il campionamento e la misura degli inquinanti chimici individuati dalla normativa vigente, inerente all'inquinamento atmosferico, e più precisamente monossido di carbonio (CO), anidride solforosa (SO_2), biossido di azoto (NO_2), ossidi di azoto (NO_X), ozono (O_3).
Contestualmente alle misure eseguite in continuo, sono stati effettuati anche dei campionamenti sequenziali per la determinazione gravimetrica delle polveri inalabili PM10, per l'analisi in laboratorio del benzene, degli idrocarburi policiclici aromatici IPA, con riferimento al benzo(a)pirene, dei metalli presenti nella frazione PM10 quali arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni) e piombo (Pb).
Sono stati inoltre misurati in continuo alcuni parametri meteorologici quali temperatura, umidità relativa, pressione, intensità e direzione del vento.

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

Gli inquinanti da monitorare e i limiti stabiliti sono rimasti invariati rispetto alla disciplina precedente, fatta eccezione per il particolato $PM_{2,5}$, i cui livelli nell'aria ambiente vengono per la prima volta regolamentati in Italia con detto decreto.
Nelle Tabelle 1 e 2 si riportano, per ciascun inquinante, i limiti di legge previsti dal D.Lgs. 155/2010, suddivisi in limiti di legge a mediazione di breve periodo, correlati all'esposizione acuta della popolazione, e limiti di legge a mediazione di lungo periodo, correlati all'esposizione cronica della popolazione. In tabella 3 sono indicati i limiti di legge stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione degli ecosistemi, in Tabella 4. Linee guida di qualità dell'aria per i metalli da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

Inquinante	Tipologia	Valore
SO_2	Soglia di allarme (*)	**500** $\mu g/m^3$
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	**350** $\mu g/m^3$
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	**125** $\mu g/m^3$
NO_2	Soglia di allarme (*)	**400** $\mu g/m^3$
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	**200** $\mu g/m^3$
PM10	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	**50** $\mu g/m^3$
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	**10** mg/m^3
O_3	Soglia di informazione (Media 1 h)	**180** $\mu g/m^3$
	Soglia di allarme (Media 1 h)	**240** $\mu g/m^3$
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni (altrimenti su 1 anno) Media su 8 h massima giornaliera	**120** $\mu g/m^3$
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Media su 8 h massima giornaliera	**120** $\mu g/m^3$

Tabella 1. Limiti di legge relativi all'esposizione acuta

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

Inquinante	Tipologia	Valore
NO_2	Valore limite annuale	**40** $\mu g/m^3$
PM10	Valore limite annuale	**40** $\mu g/m^3$
$PM_{2,5}$	Valore limite annuale	**26** $\mu g/m^3$ (per il 2013)
	Valore obiettivo (media su anno civile)	**25** $\mu g/m^3$
Piombo	Valore limite annuale	**0.5** $\mu g/m^3$
Arsenico	Valore obiettivo (media su anno civile)	**6.0** ng/m^3
Cadmio	Valore obiettivo (media su anno civile)	**5.0** ng/m^3
Nichel	Valore obiettivo (media su anno civile)	**20.0** ng/m^3
Benzene	Valore limite annuale	**5.0** $\mu g/m^3$
B(a)pirene	Valore obiettivo (media su anno civile)	**1.0** ng/m^3

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

Inquinante	Tipologia	Valore
SO_2	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile e inverno (01/10 – 31/03)	**20** $\mu g/m^3$
NOX	Livello critico per la protezione della vegetazione Anno civile	**30** $\mu g/m^3$
O_3	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio Da calcolare come media su 5 anni (altrimenti su 3 anni)	**18000** $\mu g/m^3h$
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	**6000** $\mu g/m^3h$

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

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

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

5. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi

Gli analizzatori in continuo per l'analisi degli inquinanti convenzionali e non, allestiti a bordo della stazione rilocabile, presentano caratteristiche conformi al D.Lgs. 155/2010 (i volumi sono stati normalizzati ad una temperatura di 20°C ed una pressione di 101,3 kPa) ed effettuano acquisizione, misura e registrazione dei risultati in modo automatico:
Il campionamento del particolato inalabile PM10 (diametro aerodinamico inferiore a 10 µm) e degli IPA (con riferimento al benzo(a)pirene) è stato realizzato con una linea di prelievo sequenziale, posta all'interno della stazione rilocabile, che utilizza filtri da 47 mm di diametro e cicli di prelievo di 24 ore. Detti campionamenti sono stati condotti con l'utilizzo di apparecchiature conformi alle specifiche tecniche dettate dal D.Lgs. 155/2010 (il volume campionato si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni). Le determinazioni analitiche sui campioni prelevati sono state effettuate al termine del ciclo di campionamento sui filtri esposti in quarzo, mediante determinazione gravimetrica ("metodo UNI EN 12341:1999") e cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC "metodo UNI EN 15549:2008"), rispettivamente.
Per quanto riguarda i metalli, le determinazioni analitiche sono state effettuate sui filtri esposti in nitrato di cellulosa mediante spettrofotometria di emissione con plasma ad accoppiamento induttivo (ICP-Ottico) e spettrofotometria di assorbimento atomico con fornetto a grafite "metodo UNI EN 14902:2005".
Il benzene è stato misurato attraverso "campionamento passivo", tecnica di monitoraggio così definita poiché la cattura dell'inquinante avviene per diffusione molecolare della sostanza attraverso il campionatore (radiello), e non richiede quindi l'impiego di un dispositivo per l'aspirazione dell'aria. I dati ottenuti dai rilevamenti effettuati con tecnica di campionamento passivo pertanto non possono essere confrontati direttamente con i limiti di legge ma costituiscono ugualmente un riferimento utile per l'identificazione di eventuali azioni da intraprendere da parte delle Amministrazioni Comunali.

Con riferimento ai risultati riportati di seguito si precisa che la rappresentazione dei valori inferiori al limite di rivelabilità segue una distribuzione statistica di tipo gaussiano normale in cui la metà del limite di rivelabilità rappresenta il valore più probabile. Si è scelto pertanto di attribuire tale valore ai dati inferiori al limite di rivelabilità, diverso a seconda dello strumento impiegato e della metodologia adottata.
Allo stato attuale, ai fini delle elaborazioni e per la valutazione della conformità al valore limite si utilizzano le "Regole di accettazione e rifiuto semplici", ossia le regole più elementari di trattamento dei dati, corrispondenti alla considerazione delle singole misure prive di incertezza e del valore medio come numero esatto. ("Valutazione della conformità in presenza dell'incertezza di misura". di R.Mufato e G. Sartori nel Bollettino degli esperti ambientali. Incertezza delle misure e certezza del diritto/anno 62, 2011 2-3).

6. Efficienza di campionamento

Al fine di assicurare il rispetto degli obiettivi di qualità di cui all'Allegato I del D.Lgs. 155/2010 e l'accuratezza delle misurazioni, la normativa stabilisce dei criteri in materia di incertezza dei metodi di valutazione, di periodo minimo di copertura e di raccolta minima dei dati.
I requisiti relativi alla raccolta minima dei dati e al periodo minimo di copertura non comprendono le perdite di dati dovute alla taratura periodica o alla manutenzione ordinaria della strumentazione.
Per le misurazioni in continuo di biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto e monossido di carbonio, la raccolta minima di dati deve essere del 90% nell'arco dell'intero anno civile. Altresì, per le misurazioni indicative il periodo minimo di copertura deve essere del 14% nell'arco dell'intero anno civile (pari a 52 giorni/anno); in particolare le misurazioni possono essere uniformemente distribuite nell'arco dell'anno civile o, in alternativa, effettuate per otto settimane

equamente distribuite nell'arco dell'anno. Nella pratica, le otto settimane di misura nell'arco dell'anno possono essere organizzate con rilievi svolti in due periodi di quattro settimane consecutive ciascuno, tipicamente nel semestre invernale (1ottobre-31marzo) e in quello estivo (1aprile-30settembre), 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, anche se la resa è stata talvolta inferiore al 90%, essendo il periodo di copertura superiore al minimo richiesto, la percentuale di anno con dati validi risulta superiore al minimo richiesto.

	CO	NO_2	NOx	O_3 estate	SO_2	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a)pirene
N giorni di campionamento	121	121	121	45	121	64	21	101	55
Periodo di copertura (%)	33	33	33	12	33	18	6	28	15
Periodo minimo di copertura (%)	14	14	14	10	14	14	6	14 o >6	6

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

	CO	NO2	NOx	O_3 estate	SO_2	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a) pirene
Resa di campionamento (%)	98	95	95	96	94	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	NO2	NOx	O_3 estate	SO_2	PM10	Metalli	Benzene	Benzo(a) pirene
Periodo valido campionato (%)	30	29	29	17	30	19	6	22	16
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 delle concentrazioni dei vari inquinanti, misurate durante le campagne di misura. Ove possibile, è stato realizzato un confronto con i corrispondenti valori misurati presso due centraline fisse di riferimento: la stazione di Cason del Chievo 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 in 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.

Monossido di carbonio (CO)

La Tabella 8, 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^3 (applicato alla media mobile di 8 ore), in linea con quanto si rileva presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona.
In entrambe le stagioni, sia in via Vigasio sia a Borgo Milano, i valori medi sono molto vicini al limite di rilevabilità dello strumento, pari a 0,12 µg/m^3. Anche i massimi assumono valori simili nelle due postazioni, sono più elevati in inverno rispetto all'estate, e rimangono molto inferiori al valore limite.
Il grafico 12 in Allegato, che riporta il giorno tipo, evidenzia un comportamento molto simile a quello degli ossidi di azoto, che rispecchia quello tipico dell'intensità di traffico veicolare: pertanto anche questo inquinante appare correlato alle emissioni del traffico stradale. Il grafico 13, invece, relativo alla settimana-tipo non mostra una analogia così spiccata con lo stesso relativo agli ossidi di azoto (grafico 11 in Allegato): tuttavia si consideri che le misure sono vicine alla soglia di rilevabilità dello strumento e la variabilità è molto bassa.

		CO (mg/m^3)	
		Campagna	Borgo Milano
ESTATE	MEDIA	0.2	0.3
	DEVIAZIONE STANDARD	0.1	0.1
	MASSIMO	0.6	0.5
	MINIMO	0.1	0.1
	Superamenti limite massimo giornaliero media mobile 8 h 10 mg/m^3	0	0
INVERNO	MEDIA	0.2	0.4
	DEVIAZIONE STANDARD	0.2	0.2
	MASSIMO	1.1	1.1
	MINIMO	0.1	0.1
	Superamenti limite massimo giornaliero media mobile 8 h 10 mg/m^3	0	0
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	0.2	0.3
	MASSIMO	1.1	1.1
	MINIMO	0.1	0.1
	Superamenti limite massimo giornaliero media mobile 8 h 10 mg/m^3	0	0

Tabella 8. Concentrazione di CO: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano.

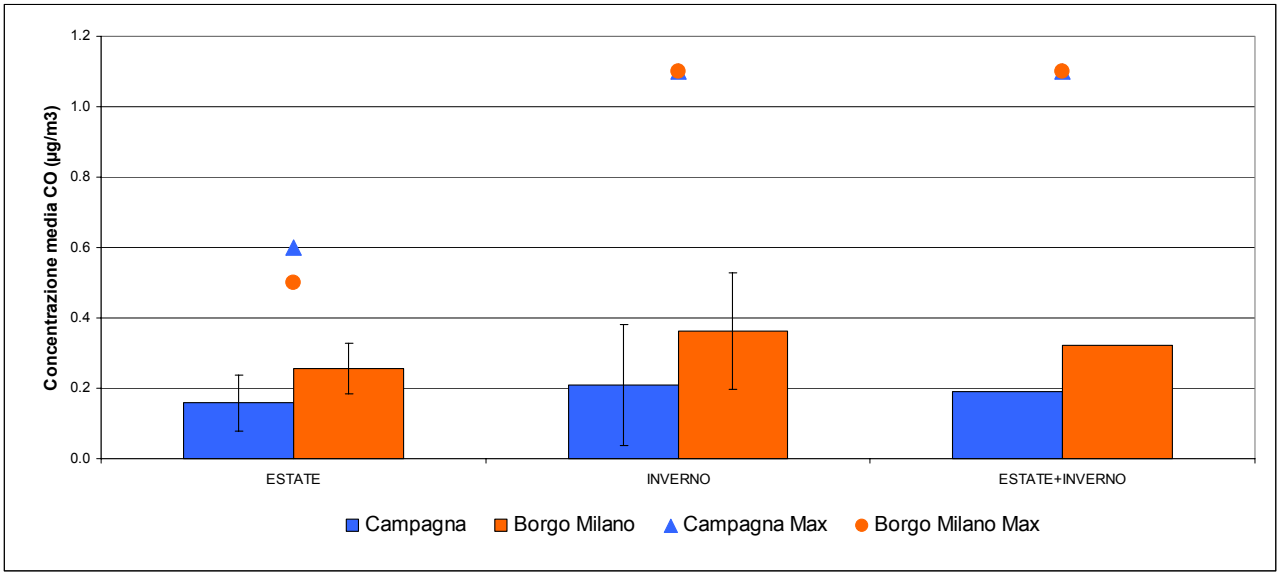


Figura 6. Concentrazione di CO in via Vigasio: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata delle le due campagne. Le barre indicano la deviazione standard.

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

Come si può vedere in Tabella 9, durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di biossido di azoto ha superato il valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 $\mu g/m^3$ per tre volte, che si sono verificate la sera del 14 marzo 2014, durante un periodo dominato dalla presenza di un anticiclone che ha favorito condizioni di inversione termica nelle ore serali e notturne. Nello stesso periodo, non sono stati rilevati dei superamenti nelle stazioni di riferimento di Cason e Borgo Milano. Relativamente all'esposizione cronica (Tabella 9 e Figura 7) la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 55 $\mu g/m^3$, ed è quindi ampiamente superiore sia al valore limite annuale di 40 $\mu g/m^3$ sia al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 $\mu g/m^3$ (si ricorda tuttavia che il confronto con il valore limite di protezione degli ecosistemi rappresenta un riferimento puramente indicativo in quanto il sito indagato non risponde esattamente alle caratteristiche previste dal D.Lgs. 155/10 [1]). Il valore medio relativo alla postazione di via Vigasio è superiore al doppio di quello relativo alle due postazioni di riferimento di Borgo Milano e Cason, come anche i valori massimi.
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 9 in Allegato, è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO_2 e NOx, calcolato per i due periodi di campagna. Si nota la presenza di due picchi, il primo tra le 6 e le 8 del mattino e il secondo tra le 21 e le 22, che corrispondono alle ore di traffico stradale più intenso. Tale andamento è tipico sia dei giorni infrasettimanali sia del fine settimana, come si vede nel grafico 10 in Allegato. Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportati in Grafico 11 in Allegato e mostrano che le giornate in cui la concentrazione di NO_2 è maggiore sono il mercoledì e il venerdì, mentre nel fine settimana, quando il traffico stradale è meno intenso, si trovano i valori più bassi.
I grafici di
Figura 8 rappresentano la concentrazione media di NO_2 in funzione della direzione di provenienza del vento e della sua velocità (indicata vicino ai circoli concentrici in m/s). I dati di vento sono

[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.

relativi alla posizione del mezzo mobile utilizzato per la campagna di misura, e differiscono pertanto da quelli della stazione di Villafranca, utilizzati per la descrizione della meteorologia su scala locale che ha caratterizzato il periodo di campagna; questi dati, invece, forniscono indicazioni sull'andamento anemologico su microscala, che include le turbolenze indotte dagli ostacoli in prossimità della postazione mobile di misura. Si vede che le concentrazioni più elevate sono raggiunte quando il vento localmente soffia da Nord-Ovest, con venti deboli o molto deboli (velocità inferiori a 2 m/s): questa direzione identifica esattamente la strada principale (via Vigasio) come sorgente degli ossidi di azoto misurati, a conferma dei risultati dei grafici da 9 a 11 in allegato, relativi al giorno tipo. Durante il periodo estivo concentrazioni elevate di NO_2 si hanno anche con vento che soffia da NNE, che indica il contributo del traffico di via Mezzacampagna e, più a nord, della tangenziale Sud.

		NO_2 ($\mu g/m^3$)		
		Campagna	Borgo Milano	Cason
ESTATE	MEDIA	36	17	18
	DEVIAZIONE STANDARD	21	9	9
	MASSIMO	112	69	74
	MINIMO	1	3	3
	Superamenti soglia di allarme 400 $\mu g/m^3$	0	0	0
	Superamenti limite orario 200 ($\mu g/m^3$)	0	0	0
INVERNO	MEDIA	66	32	28
	DEVIAZIONE STANDARD	39	18	18
	MASSIMO	245	108	102
	MINIMO	6	6	4
	Superamenti soglia di allarme 400 $\mu g/m^3$	0	0	0
	Superamenti limite orario 200 ($\mu g/m^3$)	3	0	0
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	55	26	24
	MASSIMO	245	108	102
	MINIMO	1	3	0
	Superamenti soglia di allarme 400 $\mu g/m^3$	0	0	0
	Superamenti limite orario 200 ($\mu g/m^3$)	3	0	0
	Superamento limite annuale di 40 ($\mu g/m^3$)	SI	NO	NO
	Superamento livello critico protezione vegetazione 30 ($\mu g/m^3$)	SI	NO	NO

Tabella 9. Concentrazione di NO_2: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano e della centralina di fondo urbano di Cason.

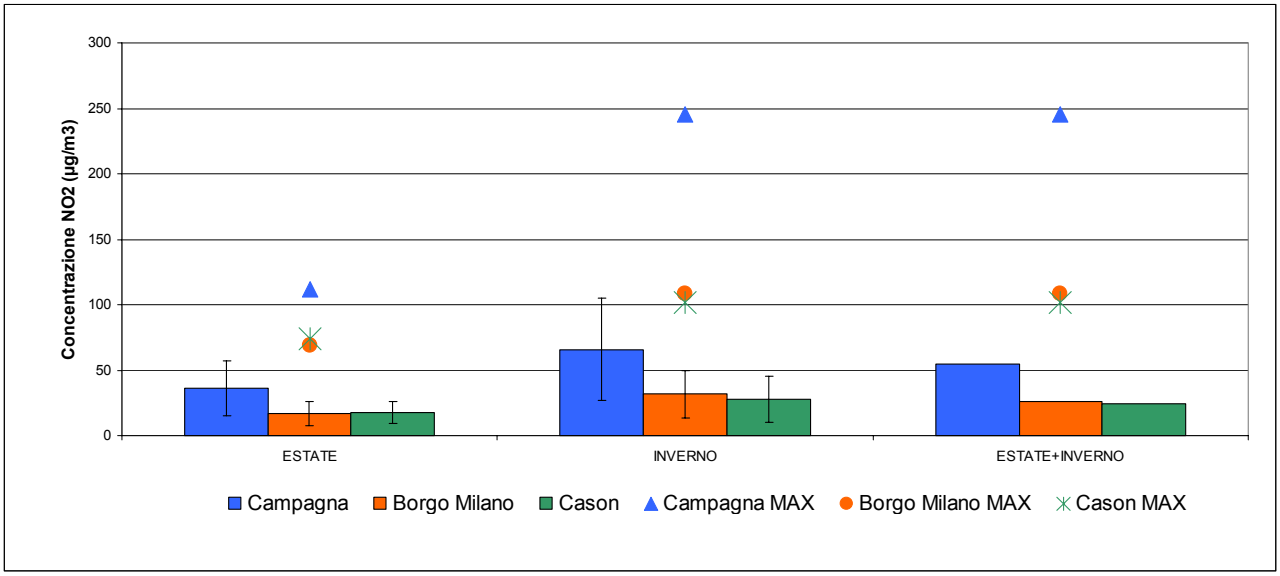


Figura 7. Concentrazione di NO_2 ad via Vigasio: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Le barre indicano la deviazione standard.

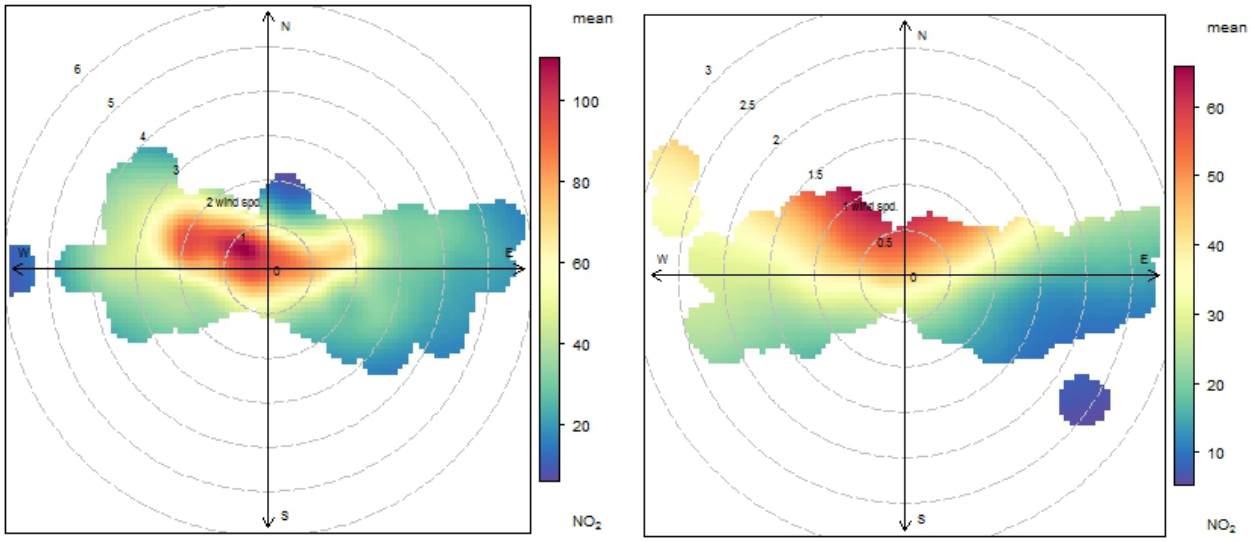


Figura 8. Grafici polari relativi alla campagna estiva (pannello a destra) ed invernale (pannello a sinistra) in via Vigasio. In funzione della direzione di provenienza del vento e della sua velocità (indicata vicino ai circoli concentrici in m/s) è riportata la concentrazione media di NO_2. I dati di vento sono relativi alla posizione del mezzo mobile utilizzato per la campagna di misura.

Biossido di zolfo (SO_2)

Durante le due campagne di monitoraggio, la concentrazione di biossido di zolfo è stata ampiamente inferiore ai valori limite (Tabella 10, Allegato - Grafico 3 e Grafico 4), 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 $\mu g/m^3$), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 $\mu g/m^3$). Il confronto con le concentrazioni misurate presso la centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano mostra che i valori registrati sono simili, leggermente inferiori in inverno in via Vigasio.
I grafici 11 e 12 in Allegato, che riportano il giorno e la settimana tipo, evidenziano un comportamento piuttosto diverso da quello degli ossidi di azoto, e diverso a seconda della stagione. Anche l'errore associato alle medie di questi grafici è più grande rispetto a quello degli altri inquinanti.

		SO_2 ($\mu g/m^3$)	
		Campagna	Borgo Milano
ESTATE	MEDIA	1	1
	DEVIAZIONE STANDARD	1	1
	MASSIMO	9	4
	MINIMO	0	0
	Superamento soglia di allarme 500 ($\mu g/m^3$)	0	0
	Superamento limite orario 350 $\mu g/m^3$ da non superare più di 24 volte l'anno	0	0
	Superamento limite orario 125 $\mu g/m^3$ da non superare più di 3 volte l'anno	0	0
INVERNO	MEDIA	1	2
	DEVIAZIONE STANDARD	1	1
	MASSIMO	9	8
	MINIMO	0	0
	Superamento soglia di allarme 500 ($\mu g/m^3$)	0	0
	Superamento limite orario 350 $\mu g/m^3$ da non superare più di 24 volte l'anno	0	0
	Superamento limite orario 125 $\mu g/m^3$ da non superare più di 3 volte l'anno	0	0
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	1	2
	MASSIMO	9	8
	MINIMO	0	0
	Superamento soglia di allarme 500 ($\mu g/m^3$)	0	0
	Superamento limite orario 350 $\mu g/m^3$ da non superare più di 24 volte l'anno	0	0
	Superamento limite orario 125 $\mu g/m^3$ da non superare più di 3 volte l'anno	0	0
	Superamento livello critico protezione vegetazione 20 ($\mu g/m^3$)	NO	NO

Tabella 10. Concentrazione di SO_2: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di Borgo Milano.

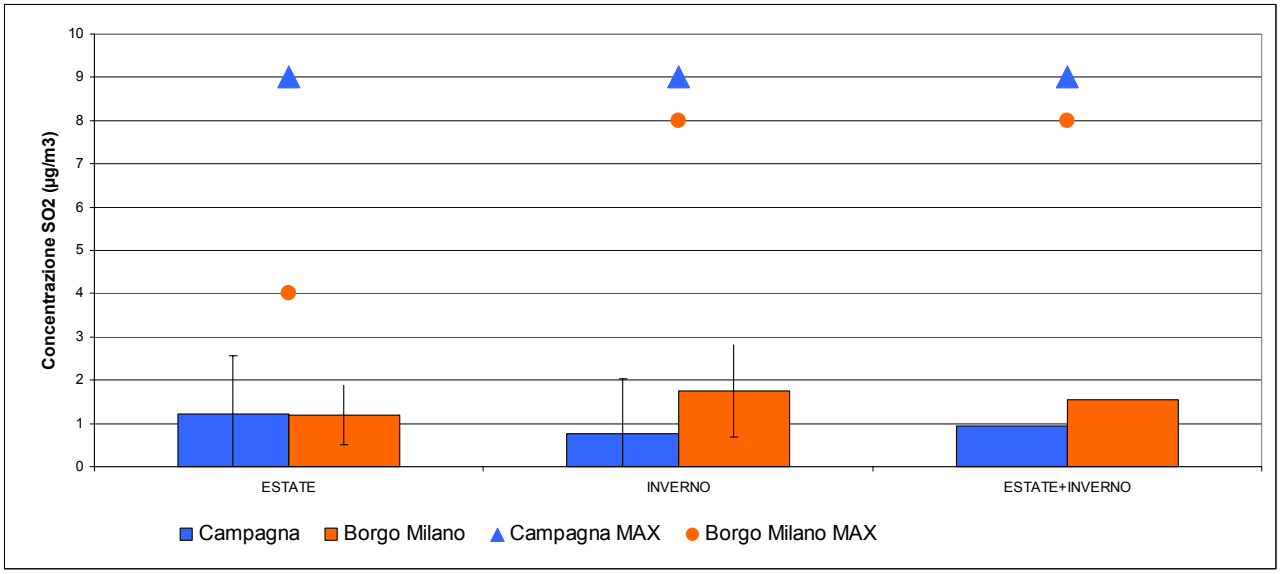


Figura 9. Concentrazione di SO_2 ad via Vigasio: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Le barre indicano la deviazione standard.

Ozono (O_3)

Durante le due campagne di monitoraggio, in via Vigasio, la concentrazione media oraria di ozono non ha mai superato la soglia di allarme e la soglia di informazione, pari, rispettivamente, a 240 $\mu g/m^3$ e 180 $\mu g/m^3$ (Tabella 11 e Allegato - Grafico 5). Invece l'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, pari a 120 $\mu g/m^3$, è stato superato tre volte durante la campagna estiva e due in quella invernale (Tabella 11 Allegato - Grafico 6): questi casi si sono verificati a maggio e a luglio, in corrispondenza di giornate calde e soleggiate.
Le concentrazioni medie registrate in via Vigasio sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Cason, leggermente inferiori.
Nel grafico 11 in Allegato, è riportato il giorno tipo della concentrazione di O_3, calcolato per i due periodi di campagna. Si nota la correlazione con la temperatura, da cui dipendono le reazioni chimiche che portano alla formazione dell'ozono, e il picco nelle ore più calde del giorno. Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportati in Grafico 12 in Allegato e mostrano che la concentrazione di O_3 è maggiore proprio nel fine settimana, quando diminuisce quella degli ossidi di azoto, essendo esse anticorrelate, a causa delle reazioni fotochimiche che portano alla formazione di ozono a partire da ossidi di azoto.

		O_3 (µg/m³)	
		Campagna	Cason
ESTATE	MEDIA	58	63
	DEVIAZIONE STANDARD	35	36
	MASSIMO	140	151
	MINIMO	5	5
	Superamento 180 µg/m^3 soglia di informazione	0	0
	Superamento 240 µg/m^3 soglia di allarme	0	0
	Superamento 120 µg/m^3 valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare per più di 25 volte l'anno come media sui 3 anni, e obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	3	6
INVERNO	MEDIA	45	51
	DEVIAZIONE STANDARD	33	33
	MASSIMO	140	143
	MINIMO	5	5
	Superamento 180 µg/m^3 soglia di informazione	0	0
	Superamento 240 µg/m^3 soglia di allarme	0	0
	Superamento 120 µg/m^3 valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare per più di 25 volte l'anno come media sui 3 anni, e obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	2	2
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	50	56
	MASSIMO	140	0
	MINIMO	5	0
	Superamento 180 µg/m^3 soglia di informazione	0	0
	Superamento 240 µg/m^3 soglia di allarme	0	0
	Superamento 120 µg/m^3 valore obiettivo per la protezione della salute umana, da non superare per più di 25 volte l'anno come media sui 3 anni, e obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	5	8

Tabella 11. Concentrazione di O_3: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina di fondo urbano di Cason.

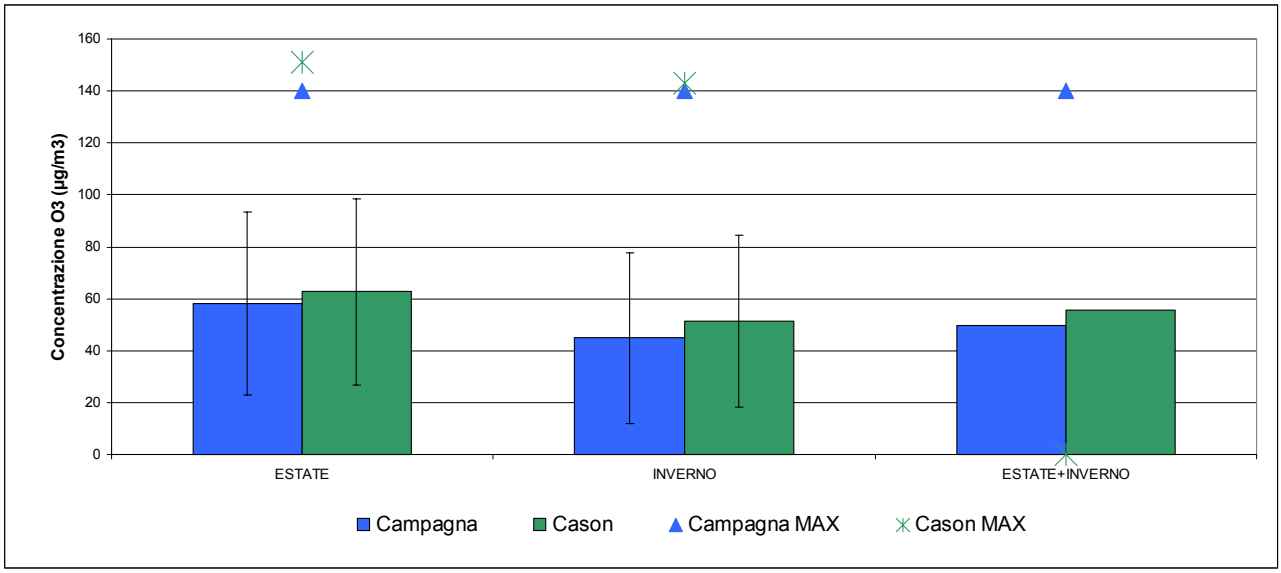


Figura 10. Concentrazione di O_3 ad via Vigasio: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Le barre indicano la deviazione standard.

Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

In Tabella 12 sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM10. Si consideri che mentre le misure della campagna di via Vigasio 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 12, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato era disponibile per tutte e tre le postazioni; invece nel Grafico 7 in Allegato sono riportati tutti i dati disponibili per via Vigasio, Borgo Milano e Cason, nel periodo di campagna.
La Tabella 12 mostra che i valori medi di PM10 relativi a via Vigasio sono significativamente superiori a quelli di Borgo Milano e di Cason. Il numero di superamenti del limite normativo è pari al 42% del periodo monitorato in inverno, contro il 28% di Borgo Milano e il 33% di Cason. I valori invernali sono stati molto superiori a quelli estivi. Tuttavia il valore massimo invernale è inferiore in via Vigasio rispetto alle due stazioni di confronto. I superamenti del limite normativo si sono verificati tutti in inverno, in periodi caratterizzati da venti deboli e assenza di precipitazioni (Figura 13).

		PM10 (µg/m³)		
		Campagna	Borgo Milano	Cason
ESTATE	MEDIA	21	15	19
	DEVIAZIONE STANDARD	6	4	8
	MASSIMO	31	22	31
	MINIMO	12	6	3
	Superamenti limite 50 ($\mu g/m^3$)	0	0	0
	n° dati	25	25	25
	% superamenti	0	0	0
INVERNO	MEDIA	49	43	45
	DEVIAZIONE STANDARD	32	32	33
	MASSIMO	123	126	129
	MINIMO	9	1	1
	Superamenti limite 50 ($\mu g/m^3$)	15	10	12
	n° dati	36	36	36
	% superamenti	42	28	33
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	38	32	34
	MASSIMO	123	126	129
	MINIMO	9	1	1
	Superamenti limite 50 ($\mu g/m^3$)	15	10	12
	n° dati	61	61	61
	% superamenti	25	16	20

Tabella 12. 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.

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 $\mu g/m^3$ e del Valore Limite annuale di 40 $\mu g/m^3$, 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 $\mu g/m^3$, 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 $\mu g/m^3$.
Per quanto detto, il sito di via Vigasio 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 via Vigasio il valore medio annuale di 34 $\mu g/m^3$ (inferiore al valore limite annuale di 40 $\mu g/m^3$) ed il 90° percentile di 56 $\mu g/m^3$ (superiore al valore limite giornaliero di 50 $\mu g/m^3$).

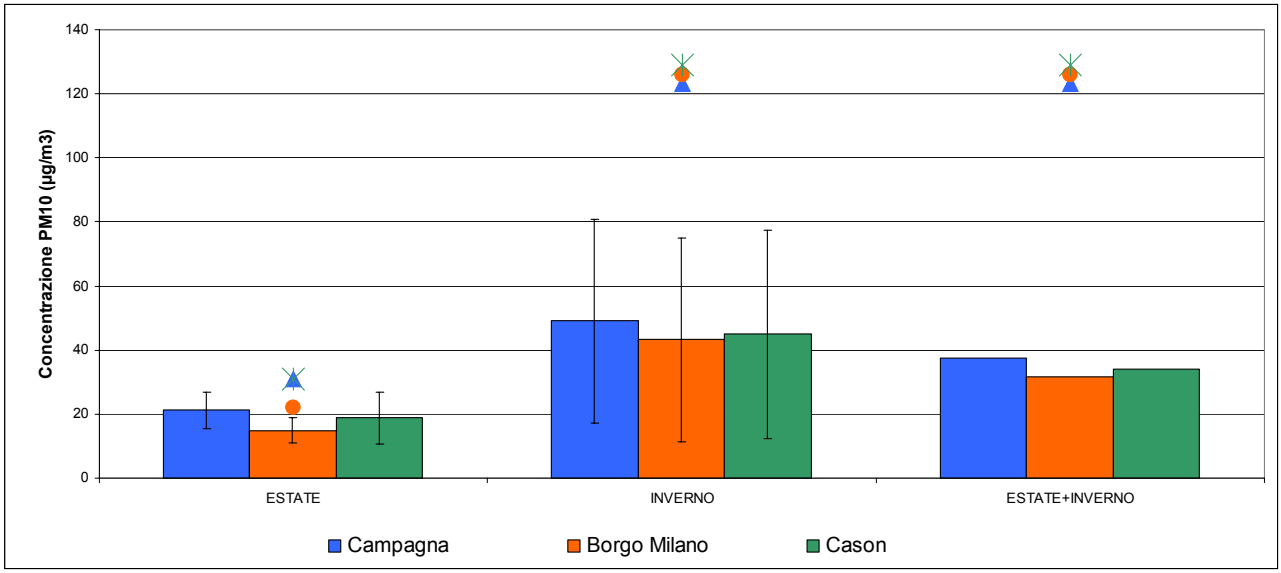


Figura 11. Concentrazione di PM10 ad via Vigasio, Borgo Milano e Cason nel periodo di confronto, in cui sono disponibili dati per tutte e tre le postazioni: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Le barre indicano la deviazione standard.

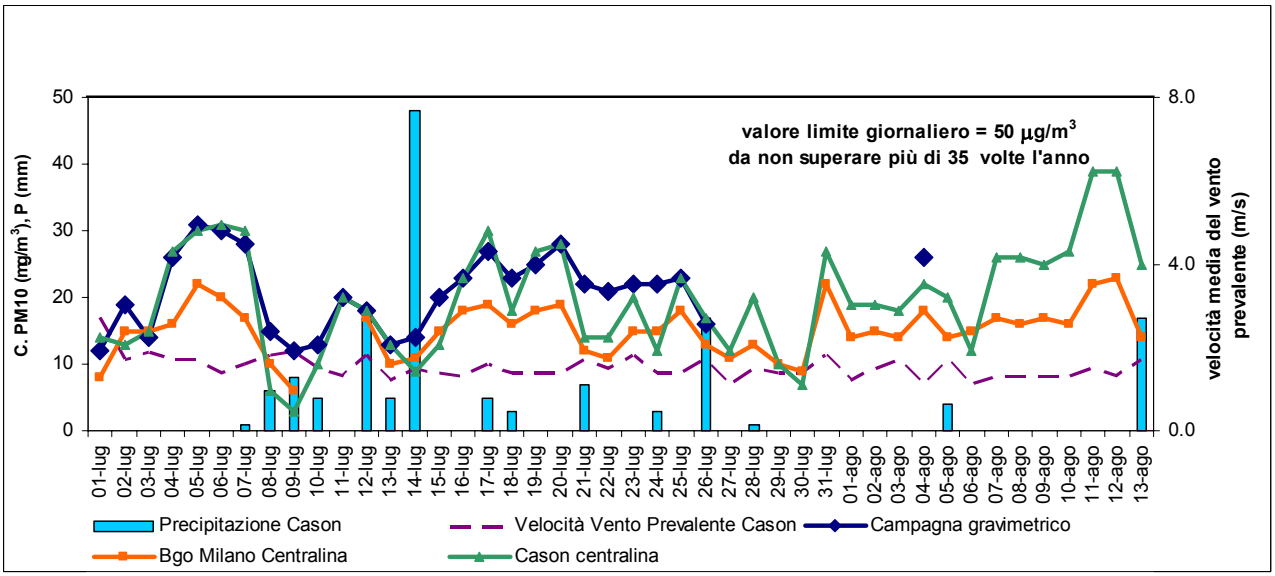


Figura 12. Campagna estiva. Concentrazione media giornaliera di PM10 in via Vigasio, Borgo Milano e Cason e valori medi di pioggia (mm accumulati in un giorno) e velocità del vento prevalente a Cason.

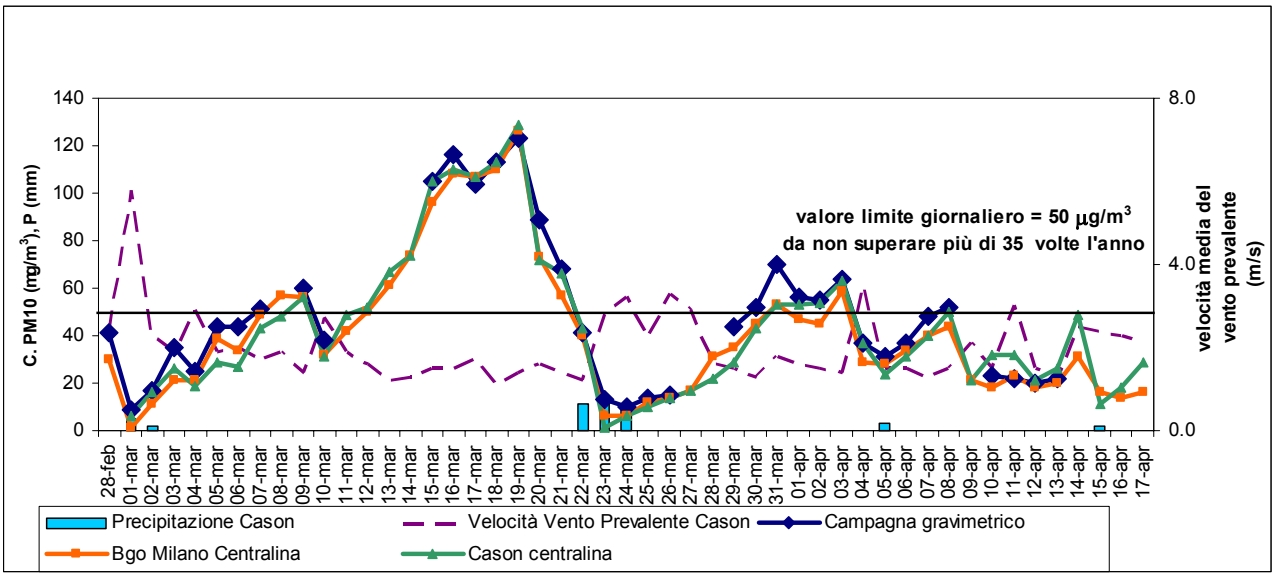


Figura 13. Campagna invernale. Concentrazione media giornaliera di PM10 in via Vigasio, Borgo Milano e Cason e valori medi di pioggia (mm accumulati in un giorno) e velocità del vento prevalente a

Benzene (C_6H_6)

In Tabella 13 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene misurata con campionatori passivi nei due periodi di campagna in via Vigasio 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. La tabella mostra che i valori medi delle concentrazioni di benzene misurate in via Vigasio coincidono con quelle misurate a Borgo Milano in entrambi i periodi di campagna, e sono superiori a quelle di Cason. La media pesata delle concentrazioni estive e invernali è 0.7 µg/m3, inferiore al limite annuale di 5 µg/m^3.

		Benzene (µg/m^3)		
		Campagna	Borgo Milano	Cason
ESTATE	MEDIA	0.3	0.3	0.3
	n° giorni di campionamento	45	34	34
	max	0.25	0.25	0.25
	min	0.25	0.25	0.25
INVERNO	MEDIA	1.1	1.1	0.8
	n° giorni di campionamento	56	36	36
	max	1.9	1.4	1
	min	0.25	0.8	0.5
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	0.7	0.7	0.5
	n° giorni di campionamento	101	70	70
	max	1	1.4	1.0
	min	0	0.3	0.3

Tabella 13. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene: dati della campagna di misura, 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.

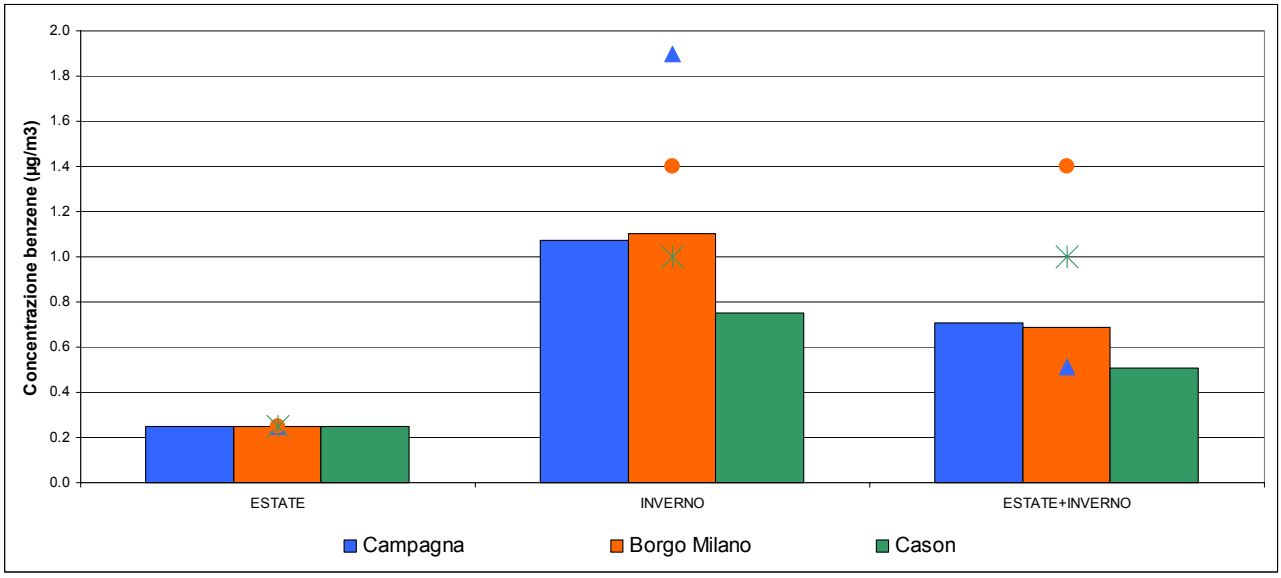


Figura 14. Concentrazione di benzene a via Vigasio: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne.

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

In Tabella 14 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzo(a)pirene per le due postazioni di via Vigasio 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 15 gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando tutti i dati disponibili per via Vigasio. La concentrazione media di benzo(a)pirene in via Vigasio è più bassa di quella registrata a Cason in entrambi i periodi di campagna. Il valore medio riferito ai due periodi è 0.12 (Tabella 15), che è ampiamente inferiore al valore obiettivo, riferito alla media annuale, di 1.0 ng/m^3.

		Benzo(a)pirene (ng/m^3)	
		Campagna	Cason
ESTATE	MEDIA	0.01	0.02
	n° dati	10	10
	DEV.ST	0.00	0.00
	MAX	0.02	0.02
	MIN	0.01	0.01
INVERNO	MEDIA	0.32	0.76
	n° dati	5	5
	DEV.ST	0.19	0.51
	MAX	0.46	1.13
	MIN	0.12	0.20
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	0.12	0.26
	n° dati	15	15
	MAX	0.46	1.13
	MIN	0.01	0.01

Tabella 14. Concentrazione di Benzo(a)pirene: dati della campagna di misura 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.

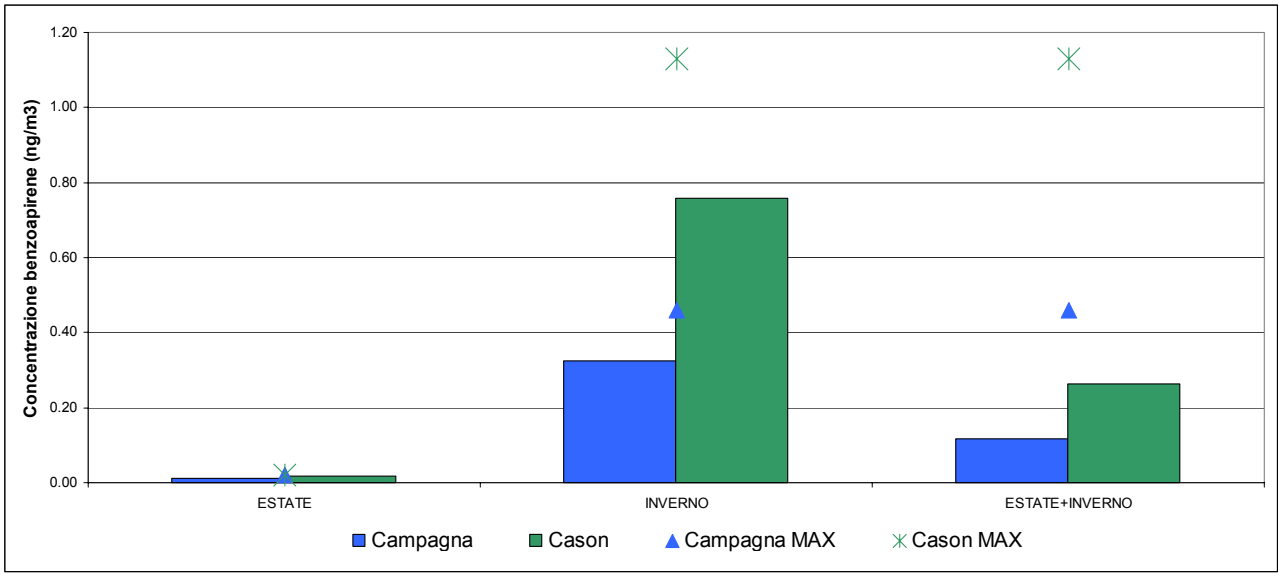


Figura 15. Concentrazione di benzo(a)pirene in via Vigasio e Cason, nel periodo di campionamento comune alle due località: media, massimo e minimo durante le campagne estiva e invernale e media pesata tra le due campagne. Le barre indicano la deviazione standard.

Tutti i dati	Benzo(a)pirene (ng/m^3)	
		Campagna
ESTATE	MEDIA	0.01
	n° dati	28
	DEV.ST	0.00
	MAX	0.02
	MIN	0.01
INVERNO	MEDIA	0.22
	n° dati	27
	DEV.ST	0.17
	MAX	0.51
	MIN	0.03
ESTATE + INVERNO	MEDIA PESATA	0.11
	n° dati	55
	MAX	0.51
	MIN	0.01

Tabella 15. Concentrazione di Benzo(a)pirene nelle campagne svolte in via Vigasio: i principali parametri statistici sono stati calcolati utilizzando tutti i dati di campagna disponibili.

Metalli (Pb, As, Cd, Ni)

In Tabella 16 si vede che le medie delle concentrazioni giornaliere di metalli misurate in via Vigasio, in entrambi i periodi di campagna, sono ampiamente inferiori ai rispettivi limiti di legge relativi all'esposizione cronica.
La concentrazione media, per tutti i metalli, risulta in linea con i valori rappresentativi del livello di fondo.
Per completezza si riportano in Tabella 17 i principali parametri statistici relativi alle concentrazioni dei metalli, calcolate nello stesso periodo di monitoraggio presso la stazione fissa di fondo urbano di Cason: per Arsenico e Cadmio sono uguali nelle due postazioni, mentre per Nichel e Piombo si riscontrano valori più elevati a Cason.

Metallo	ESTATE	INVERNO	Media complessiva	Limite esposizione cronica	Superamento del limite	Indicazioni OMS	
	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)	(ng/m^3)		Livello di fondo	Aree urbane
Arsenico	0.5	0.6	0.6	6.0	NO	1 - 3	20-30
Cadmio	0.1	0.2	0.2	5.0	NO	0.1	1 - 10
Nichel	1.8	2.4	2.1	20.0	NO	1	9 - 60
Piombo	5.1	8.5	6.7	500.0	NO	0.6	5-500

Tabella 16. Valori medi di periodo (semestre estivo, invernale) e media complessiva per le concentrazioni dei metalli. Nei calcoli sono stati utilizzati tutti i dati di campagna disponibili.

Metallo		Campagna	Cason
		(ng/m^3)	(ng/m^3)
Arsenico	media	0.5	0.5
	n° dati	6	5
	max	1.1	0.2
	min	0.5	0.1
Cadmio	media	0.2	0.2
	n° dati	6	5
	max	0.3	0.2
	min	0.1	0.1
Nichel	media	2.3	2.0
	n° dati	6	5
	max	3.8	2.6
	min	1.0	1.0
Piombo	media	6.6	4.5
	n° dati	6	5
	max	13.5	5.7
	min	2.6	2.6

Tabella 17. Valori medi delle concentrazioni di metalli misurate durante le campagne di misura in via Vigasio e presso la stazione background urbano di Cason (Verona) nei periodi corrispondenti a quelli delle campagne di misura in via Vigasio. Nei calcoli sono stati utilizzati solo i dati che si riferiscono a giornate in cui sono disponibili per entrambe le località.

Si ricorda che, per ulteriori informazioni sulla qualità dell'aria del territorio provinciale di Verona sul sito internet di ARPAV (www.arpa.veneto.it) sono attualmente consultabili in tempo reale le concentrazioni di polveri inalabili PM10 determinate presso le stazioni fisse della rete ARPAV dislocate nel territorio Provinciale di Verona, nonché di molte altre stazioni a livello regionale.

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
Per le campagne di via Vigasio analizzate nella presente relazione, non sono disponibili i dati di PM10 per il 47% del periodo di campagna. Pertanto, ove mancanti, tali dati sono stati integrati con quelli relativi alla stazione di Borgo Milano (con la quale i dati di via Vigasio mostrano una correlazione significativa di 0.99).
In Figura 16 e in Figura 17 è riportato il numero di giorni ricadenti in ciascuna classe dell'IQ, per le due campagne di misura, estiva e invernale rispettivamente. Si vede che in entrambe le campagne la qualità dell'aria è stata prevalentemente accettabile. Durante la campagna invernale si sono verificate anche 5 giornate con qualità dell'aria pessima e una con qualità scadente, causate dagli elevati livelli di PM10 registrati tra il 15 e il 20 marzo, in cui sono stati superati i 100 $\mu g/m^3$.

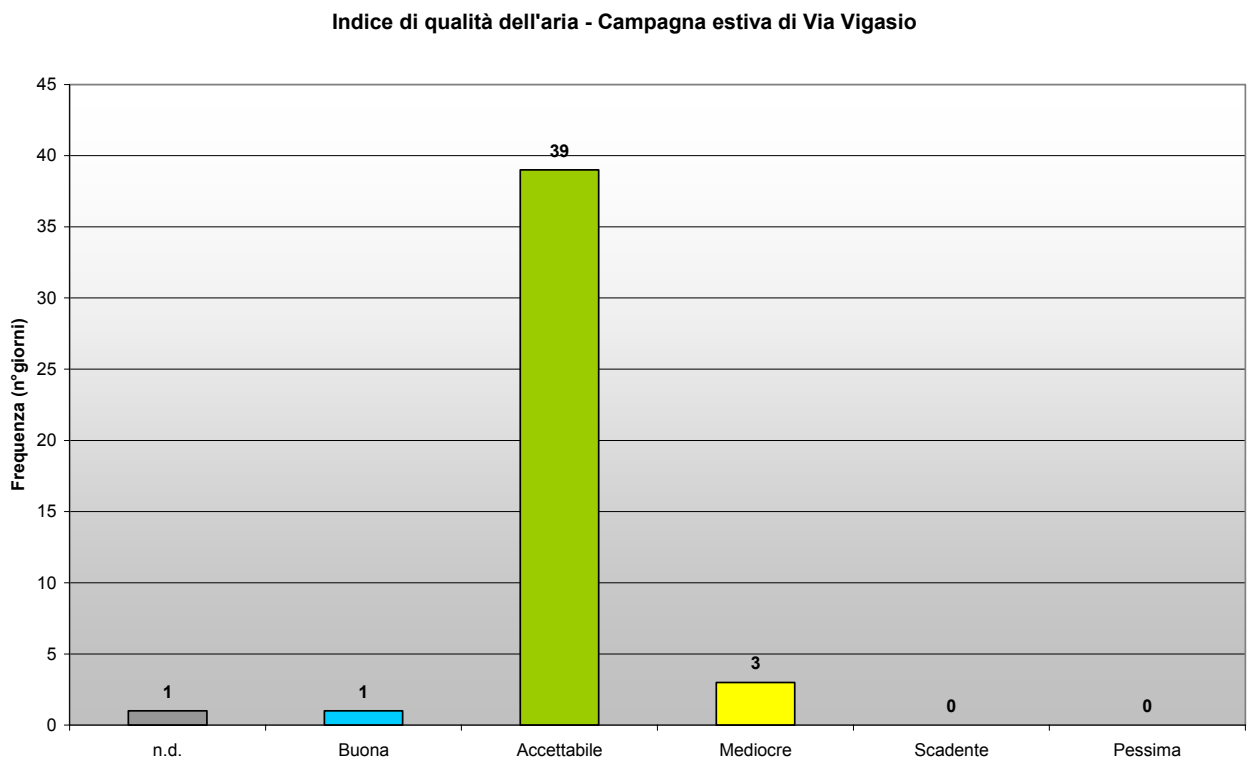


Figura 16. Indice sintetico di qualità dell'aria per la campagna estiva in via Vigasio

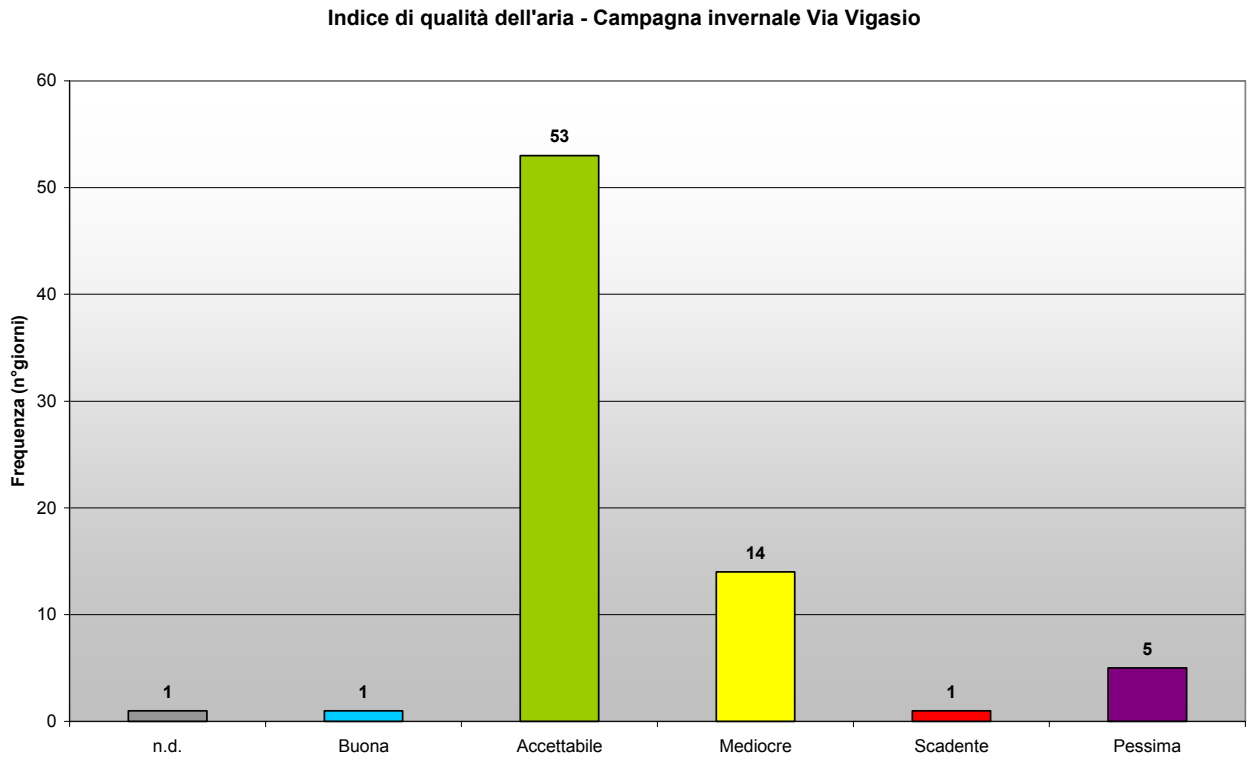


Figura 17. Indice sintetico di qualità dell'aria per la campagna invernale in via Vigasio

9. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse

La stazione del comune di Verona di Borgo Milano, essendo una stazione di "traffico urbano" posta a circa 6 km di distanza da via Vigasio, può essere considerata rappresentativa anche dell'area di quest'ultima. Pertanto è stato effettuato un confronto, per gli inquinanti più significativi (NO_2, benzene e PM10), con le medie annuali registrate negli anni precedenti presso questa centralina fissa. I risultati sono riportati in forma grafica in Figura 18 e Figura 19, dove sono riportati anche i valori relativi alla centralina fissa di riferimento di Cason.
Per quanto riguarda il biossido di azoto, si osserva che i valori medi annuali sia a Borgo Milano sia a Cason sono stati più bassi nel periodo 2010-2013 rispetto agli anni precedenti. Il valore medio durante la campagna risulta inferiore alle medie annuali registrate dalla stazione fissa 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. Tutti i valori sono comunque inferiori al valore limite annuale di 40 µg/m^3 previsto dalla normativa. I valori di NO_2 relativi a via Vigasio, sono molto più elevati rispetto a quelli di Borgo Milano, e si può inferire che negli anni passati, quando l'inquinamento relativo a questo inquinante presso le stazioni di riferimento è stato maggiore, i valori relativi a via Vigasio siano stati ancora più alti.
Il benzene, che invece assume valori simili in via Vigasio e in Borgo Milano, ha mostrato una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni a partire dal 2007. Durante la campagna di misura i valori medi sono stati ancora inferiori a quelli degli anni precedenti, e questo è stato in larga parte determinato dalle condizioni meteo particolarmente favorevoli alla dispersione di inquinanti, che hanno caratterizzato i primi mesi del 2014. Tutti i valori sono inferiori al limite annuale di 5.0 µg/m^3 indicato dalla normativa.
La stessa tendenza alla diminuzione si osserva per la concentrazione di PM10 a Borgo Milano e Cason. Il valore medio durante la campagna di via Vigasio risulta superiore del 9% rispetto a quello di Borgo Milano e di Cason. Si può dedurre che negli anni passati, considerati in questo confronto, in questa località, come in Borgo Milano, il valore limite annuale di 40 µg/m^3 sia stato superato.

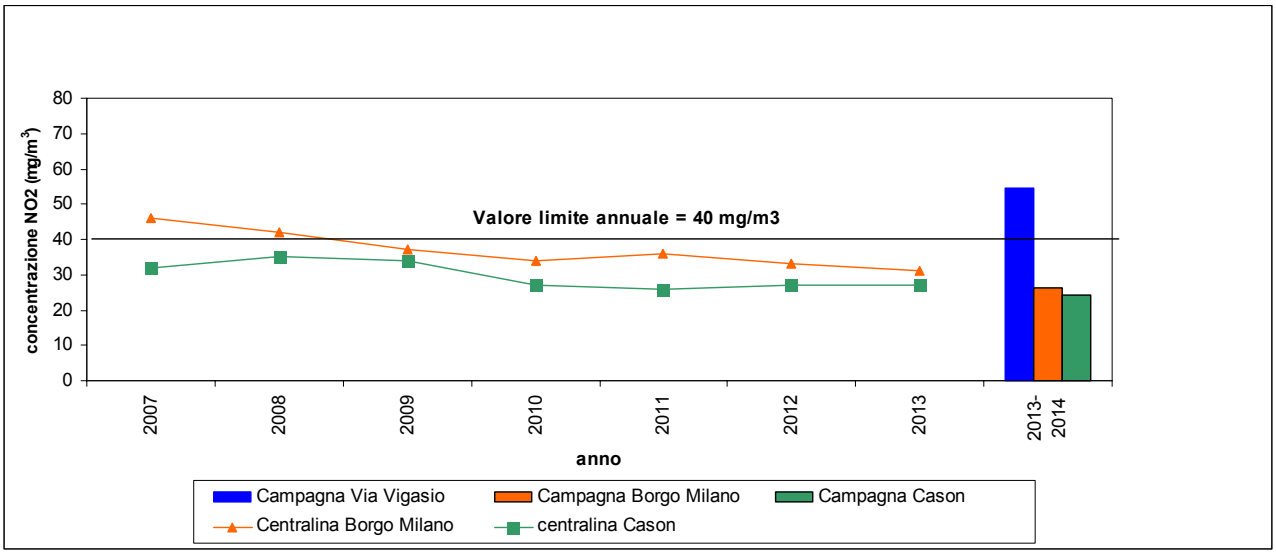


Figura 18. NO_2: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2013 – 2014 misurate dal mezzo mobile in via Vigasio, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

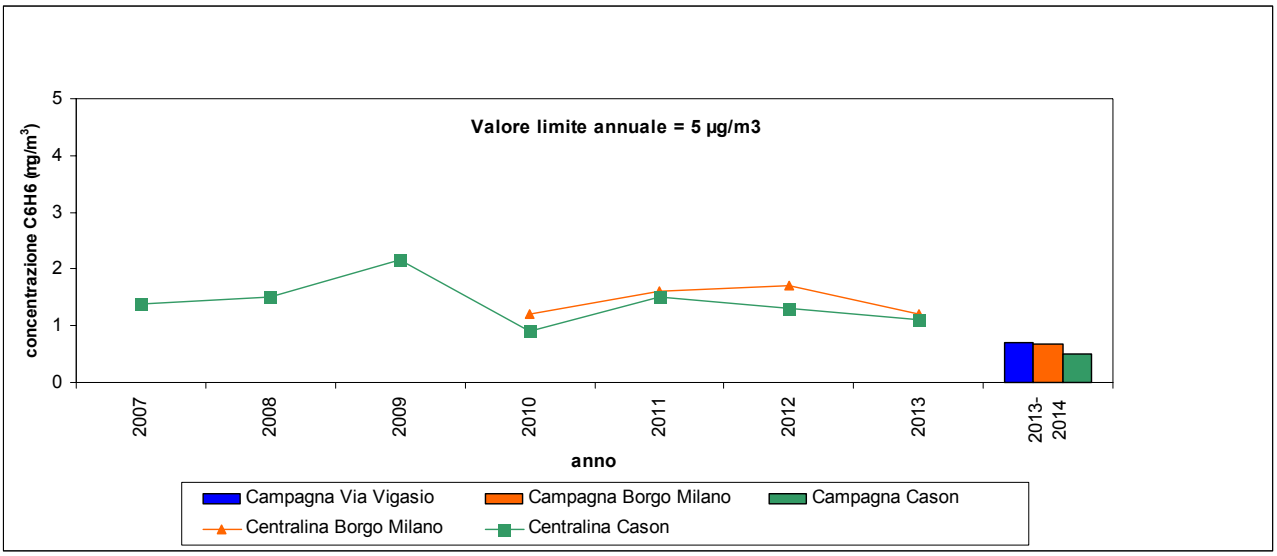


Figura 19. Benzene: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2013 – 2014 misurate dal mezzo mobile in via Vigasio, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

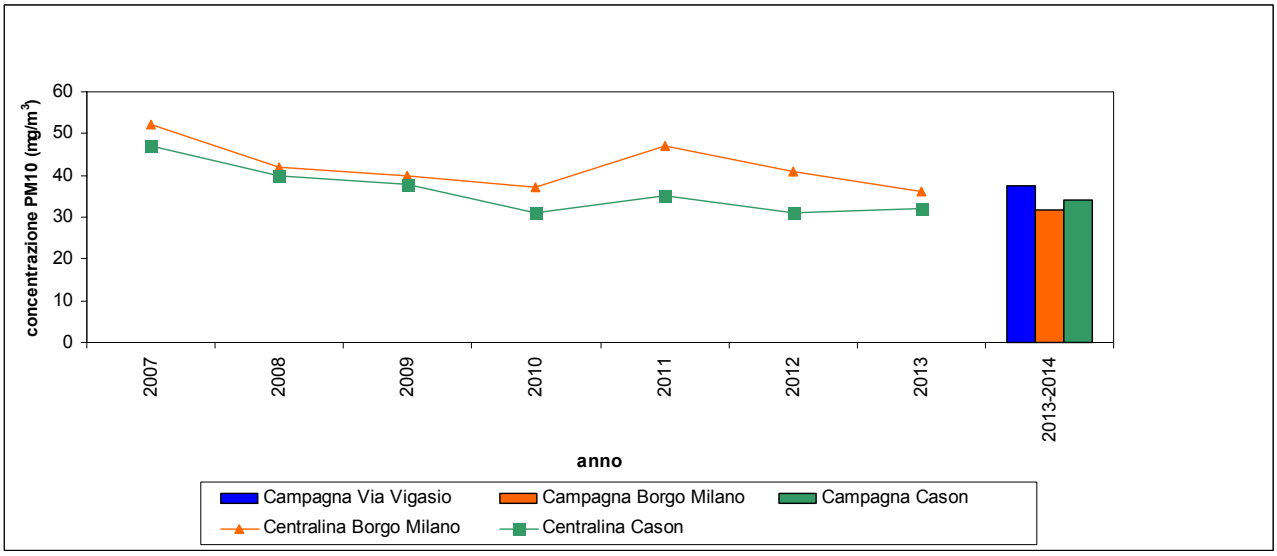


Figura 20. PM10: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di Borgo Milano e Cason, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2013 – 2014 misurate dal mezzo mobile in via Vigasio, e dalle centraline di Borgo Milano e Cason.

10. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Verona, in via Vigasio, lungo una delle principali arterie di traffico a Sud del centro di Verona. Il sito, per le caratteristiche descritte, può essere considerato di "traffico suburbano".
Le campagne di misura sono state realizzate in due periodi dell'anno: il primo, che va dal 30 giugno al 14 agosto 2014, il secondo, che va dal 27 febbraio 2014 al 14 maggio 2014. Entrambi i periodi sono stati caratterizzati da condizioni meteorologiche molto variabili.
Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO_2, SO_2, O_3, le medie giornaliere di PM10, benzo(a)pirene e metalli (Arsenico, Nichel, Piombo e Cadmio), e la media su un periodo di più giorni del benzene. I dati sono stati analizzati, sono stati calcolati vari parametri statistici ed è stato effettuato un confronto con le due stazioni fisse di riferimento di traffico urbano di Borgo Milano e di fondo urbano di Cason (del comune di Verona).

L'analisi dei dati ha evidenziato che la zona monitorata, in via Vigasio, presenta le caratteristiche tipiche di un sito di traffico, essendo caratterizzata da valori medi degli inquinanti confrontabili e, per alcuni di essi, superiori a quelli della centralina di riferimento di fondo urbano di Borgo Milano, del comune di Verona. Particolarmente critica si è rivelata la situazione degli ossidi di azoto e delle polveri sottili.

Nel caso degli ossidi di azoto, inquinanti legati principalmente alle emissioni da traffico, i valori medi e massimi registrati in via Vigasio sono ampiamente superiori a quelli di Borgo Milano, come anche a quelli di Cason. Durante la campagna di monitoraggio invernale la concentrazione di biossido di azoto ha superato il valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 $\mu g/m^3$ per tre volte. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 55 $\mu g/m^3$, ed è quindi ampiamente superiore sia al valore limite annuale di 40 $\mu g/m^3$ sia al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 $\mu g/m^3$. L'analisi incrociata di concentrazione di ossidi di azoto e direzione e velocità del vento ha evidenziato che la principale sorgente per questi inquinanti è rappresentata dalle strade situate a Ovest e a Nord del punto di misura, via Vigasio, via Mezzacampagna e la tangenziale Sud.

Anche i valori medi di PM10 relativi a via Vigasio sono significativamente più elevati di quelli di Borgo Milano e di Cason. Il numero di superamenti del limite normativo (valore giornaliero di 50 $\mu g/m^3$ da non superare per più di 35 volte l'anno), tutti verificatisi in inverno, è pari al 42% del periodo monitorato in inverno, contro il 28% di Borgo Milano e il 33% di Cason. I valori invernali sono stati molto superiori a quelli estivi. La stima del valore medio annuale per il sito di via Vigasio, ottenuta dal confronto con i valori della centralina fissa più vicina e rappresentativa del sito stesso (Borgo Milano), è stata 34 $\mu g/m^3$ (inferiore al valore limite annuale di 40 $\mu g/m^3$). In base alla stessa metodologia si stima il 90° percentile pari a 56 $\mu g/m^3$, il che determina un superamento del valore limite giornaliero di 50 $\mu g/m^3$ per un numero di volte superiore a 35.

Le concentrazioni medie di ozono registrate in bia Vigasio sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Cason, leggermente superiori. Sono stati registrati cinque superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, pari a 120 $\mu g/m^3$.

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 mediamente simili a quelli della centralina fissa di Borgo Milano, leggermente superiori a quelli di Cason. La media pesata delle concentrazioni estive e invernali è 0.7 $\mu g/m^3$, inferiore al limite annuale di 5 $\mu g/m^3$

La concentrazione media di benzo(a)pirene in via Vigasio è più bassa di quella registrata a Cason in entrambi i periodi di campagna. Il valore medio riferito ai due periodi è 0.11 (Tabella 15), che è ampiamente inferiore al valore obiettivo, riferito alla media annuale, di 1.0 ng/m^3.

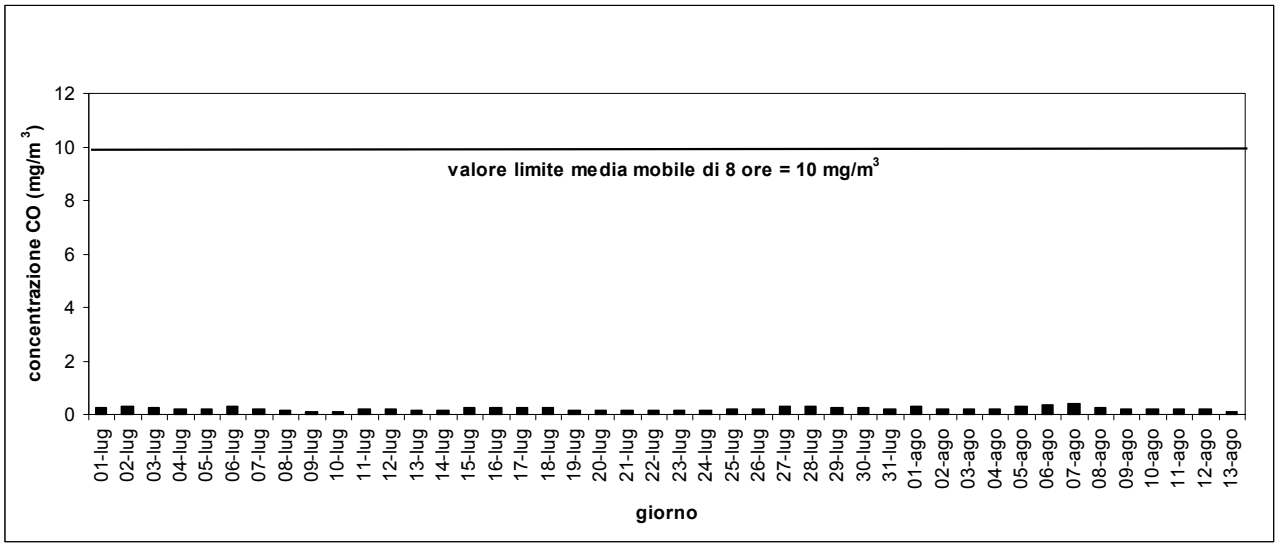
Le concentrazioni medie dei metalli misurate in via Vigasio, in entrambi i periodi di campagna, sono ampiamente inferiori ai rispettivi limiti di legge relativi all'esposizione cronica. La concentrazione media di tutti i metalli analizzati risulta in linea con i valori rappresentativi del livello di fondo. I valori medi registrati in via Vigasio sono uguali a quelli relativi alla stazione fissa di Cason per Arsenico e Cadmio, inferiori per Nichel e Piombo.

Mediamente, nei due periodi monitorati, la qualità dell'aria del comune di via Vigasio è risultata accettabile, ma nel periodo invernale la qualità dell'aria è stata da scadente a pessima per il 7% delle giornate in cui è stata possibile la valutazione dell'indice. Si consideri inoltre che i periodi di campagna sono stati caratterizzati da condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla dispersione di inquinanti, per cui non si sono verificate condizioni critiche né in estate né in inverno.

11. ALLEGATO

Grafico 1 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Mobile di 8 ore di CO (mg/m^3).

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

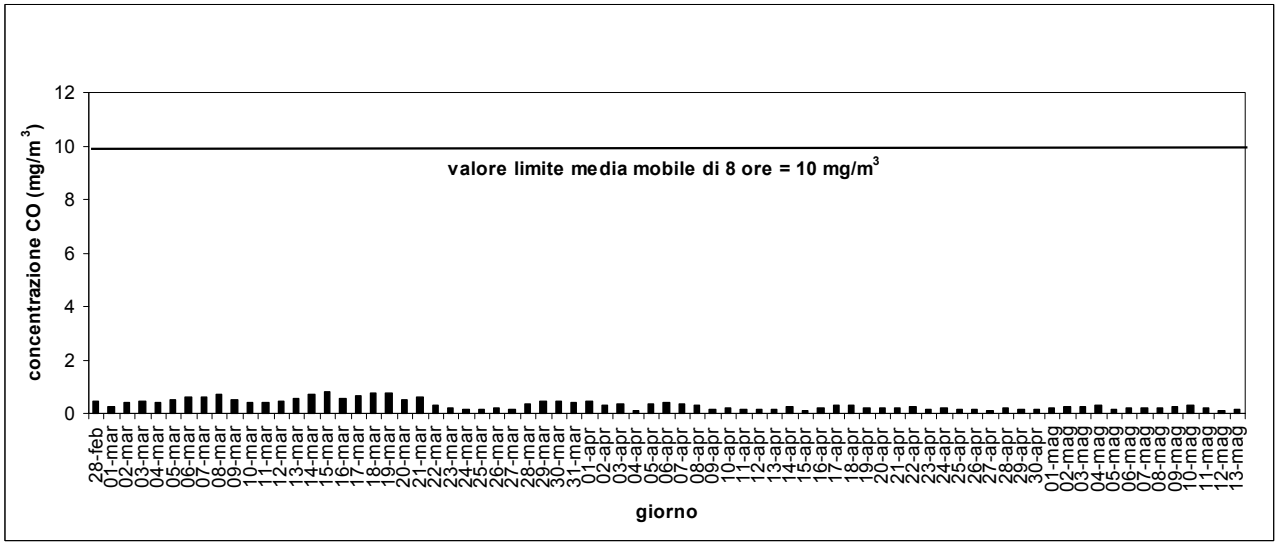
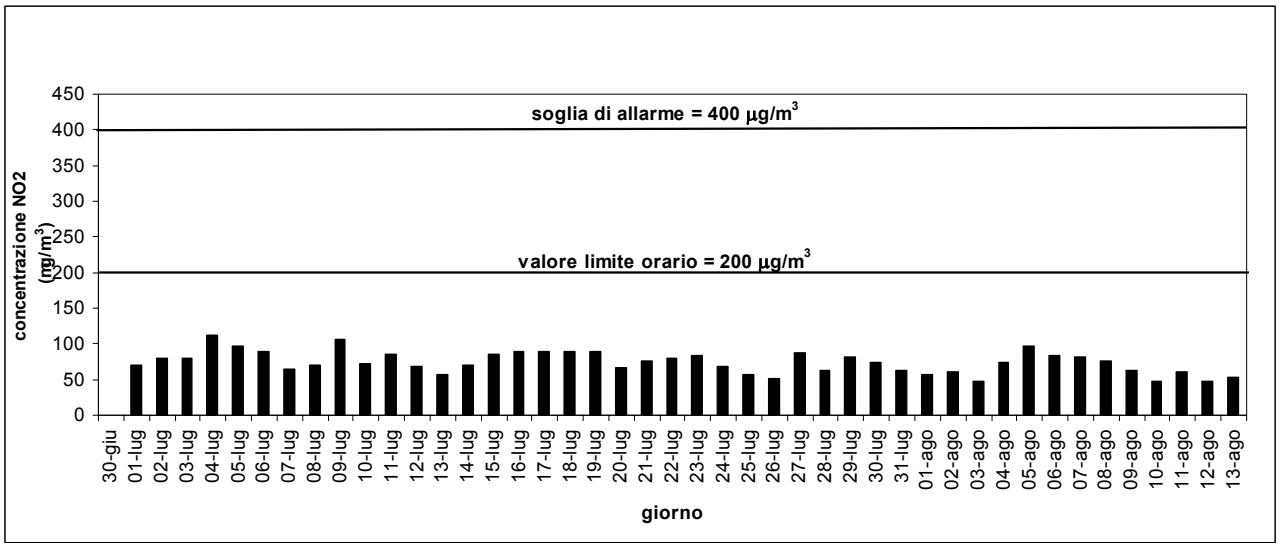


Grafico 2 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Oraria di NO_2 (µg/m^3). "Esposizione acuta".

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

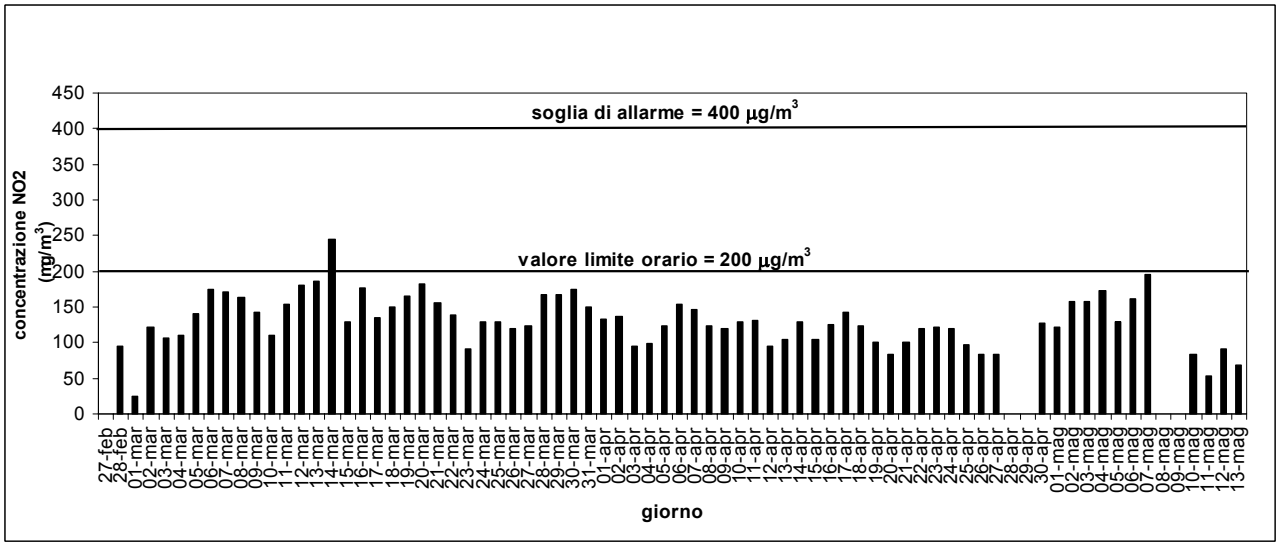
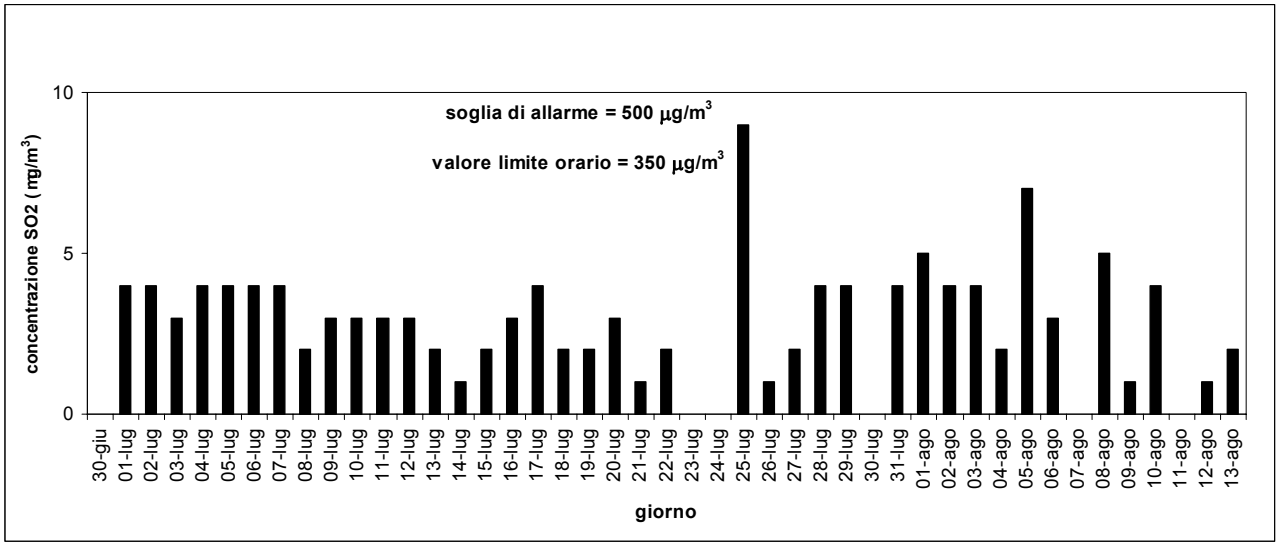


Grafico 3 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Oraria di SO_2 (µg/m^3).

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

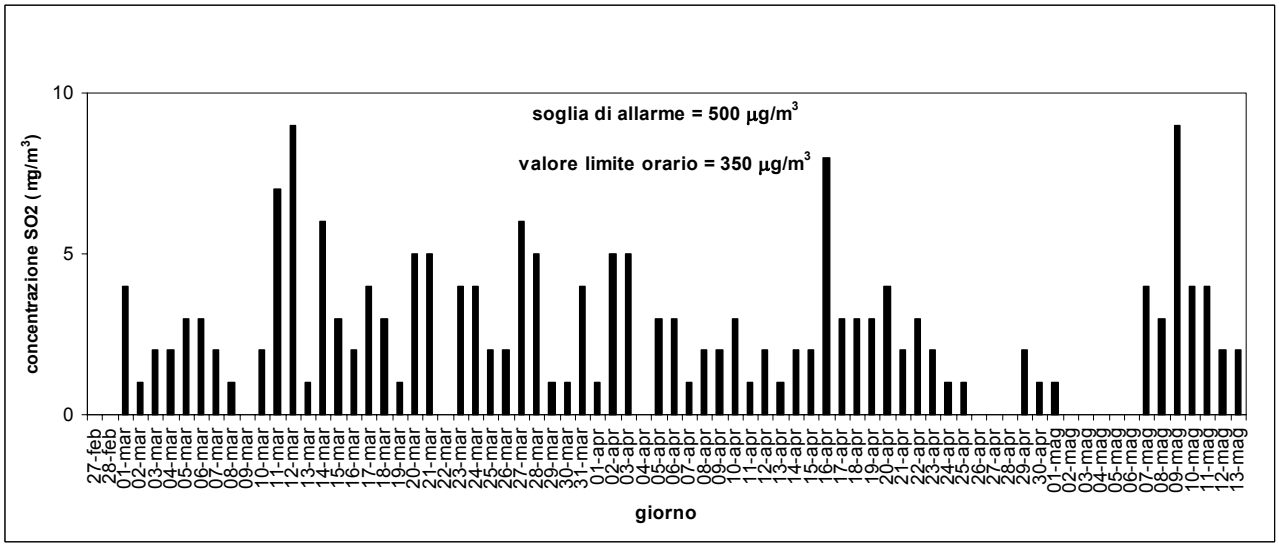
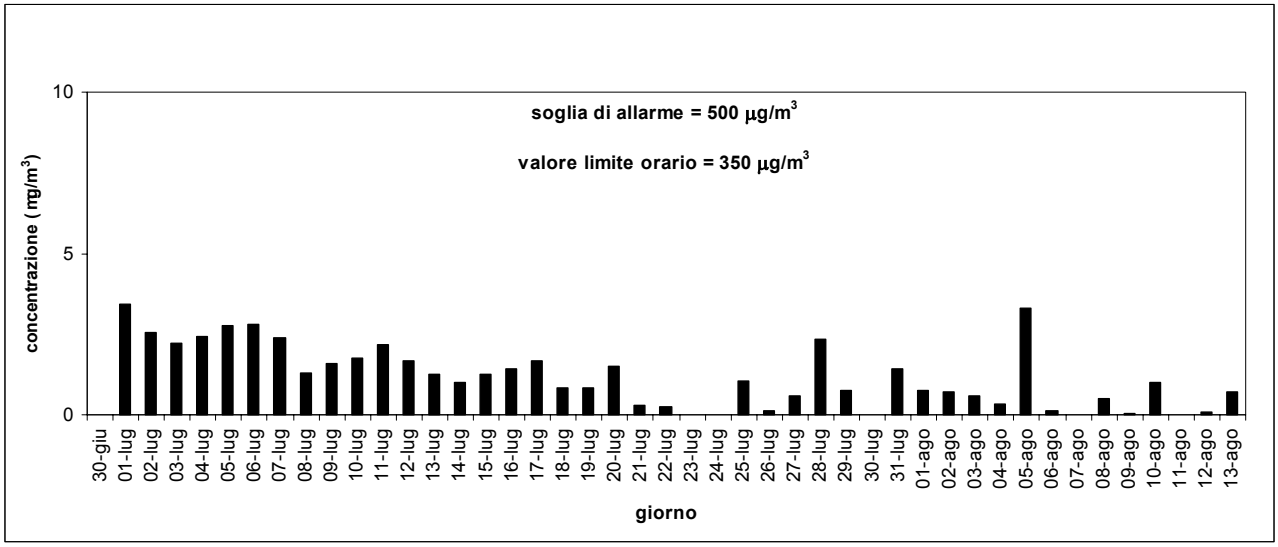


Grafico 4 – Concentrazione Media Giornaliera di SO_2 (µg/m^3).

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

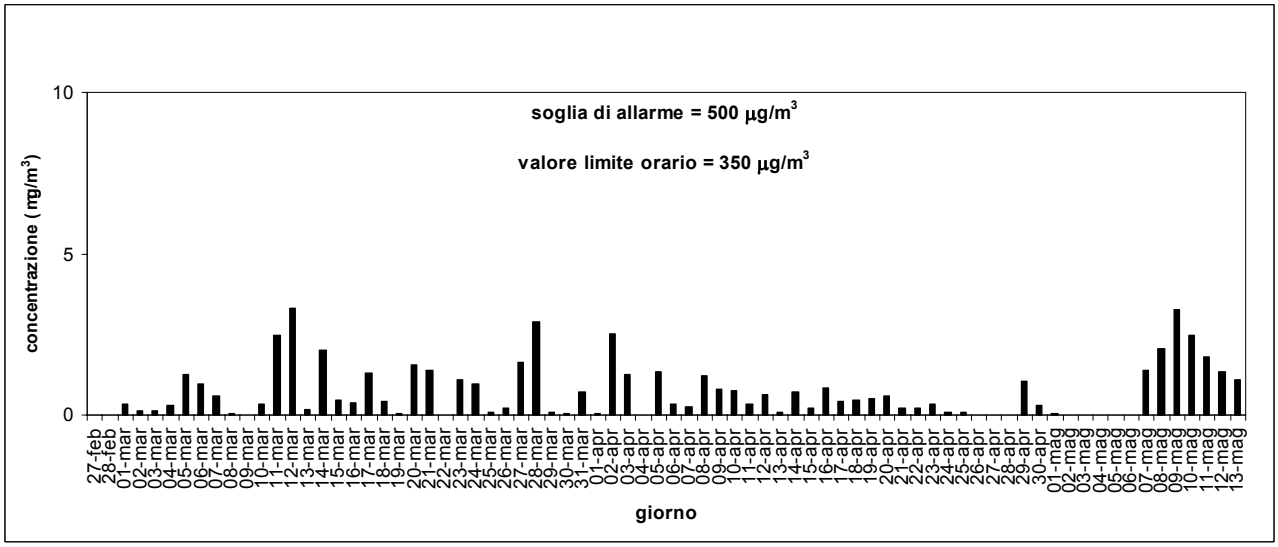
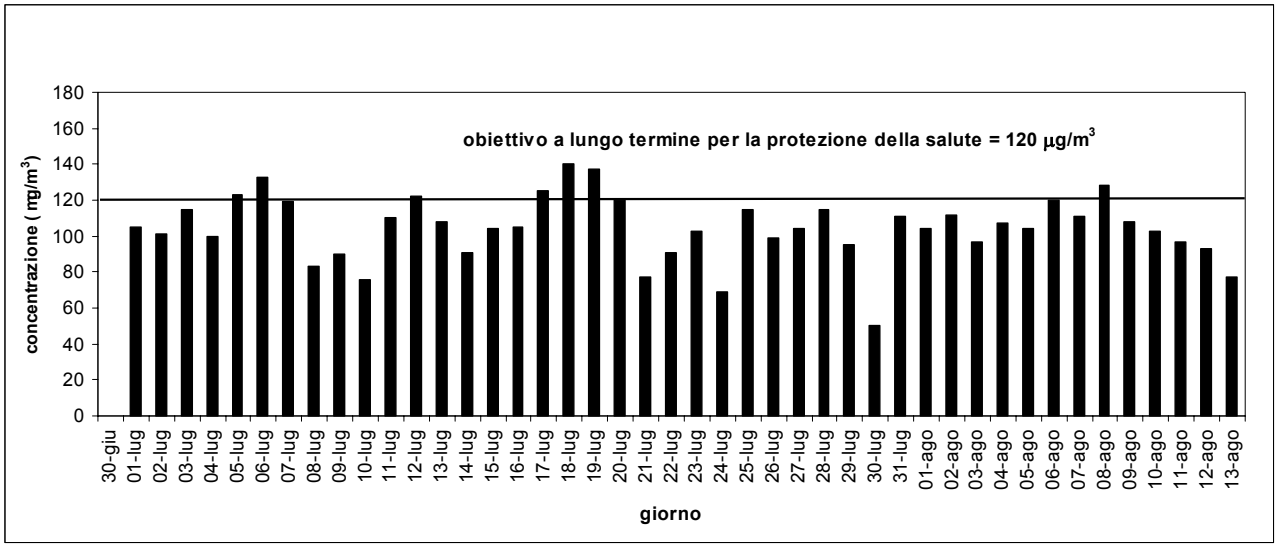


Grafico 5 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Oraria di O_3 (µg/m^3).

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

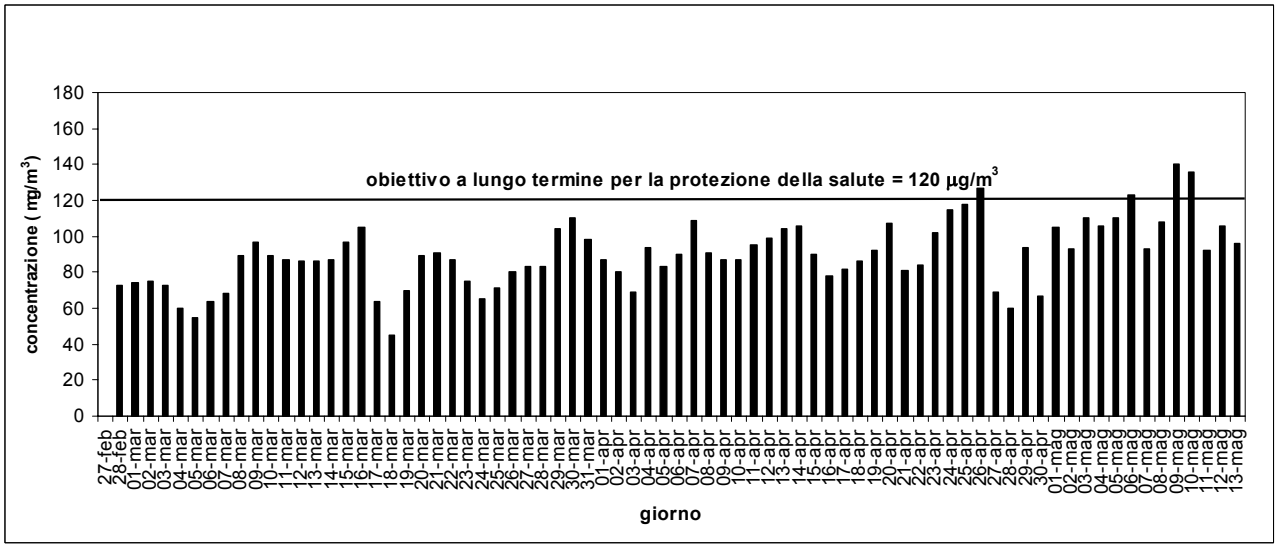
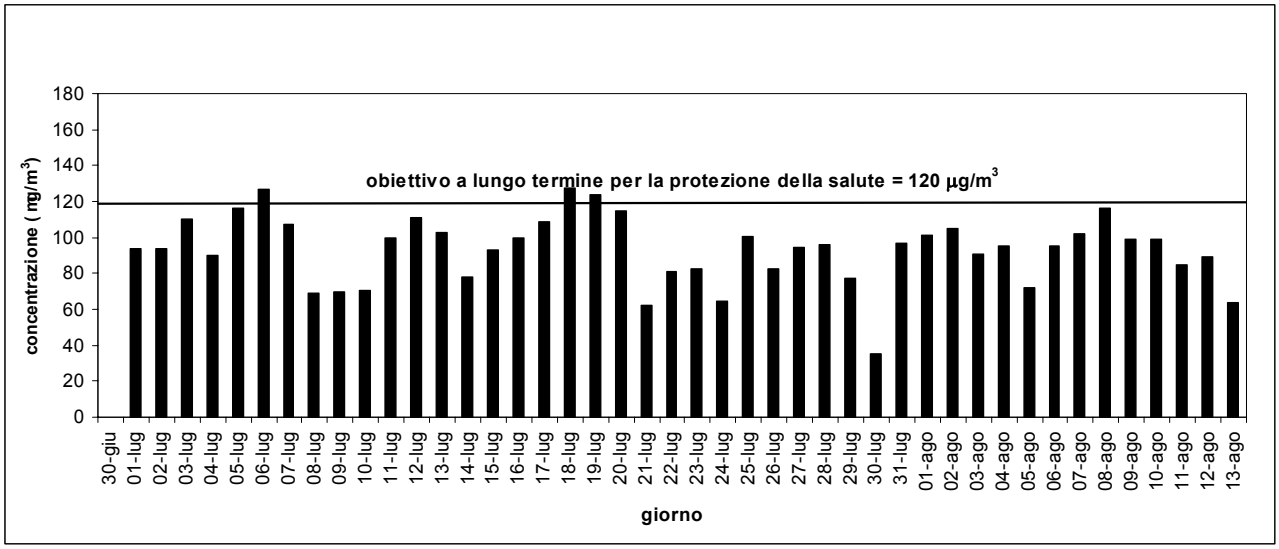


Grafico 6 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Mobile di 8 ore di O_3 (µg/m^3).

Semestre "estivo"



Semestre "invernale"

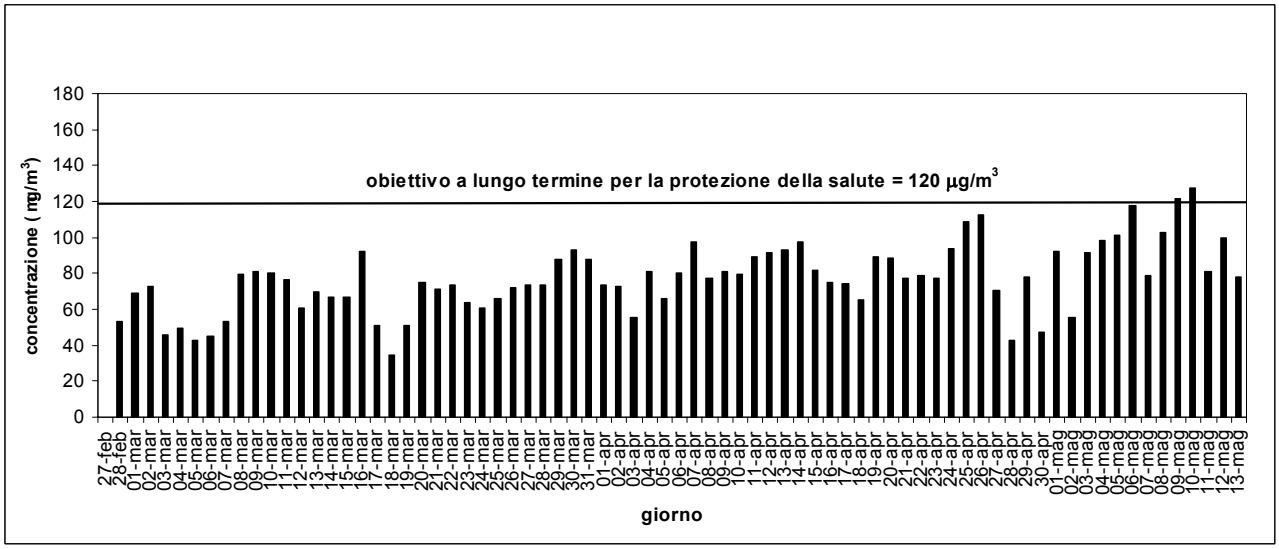


Grafico 7/a – Concentrazione Giornaliera di PM10 (µg/m^3).

Semestre "estivo"

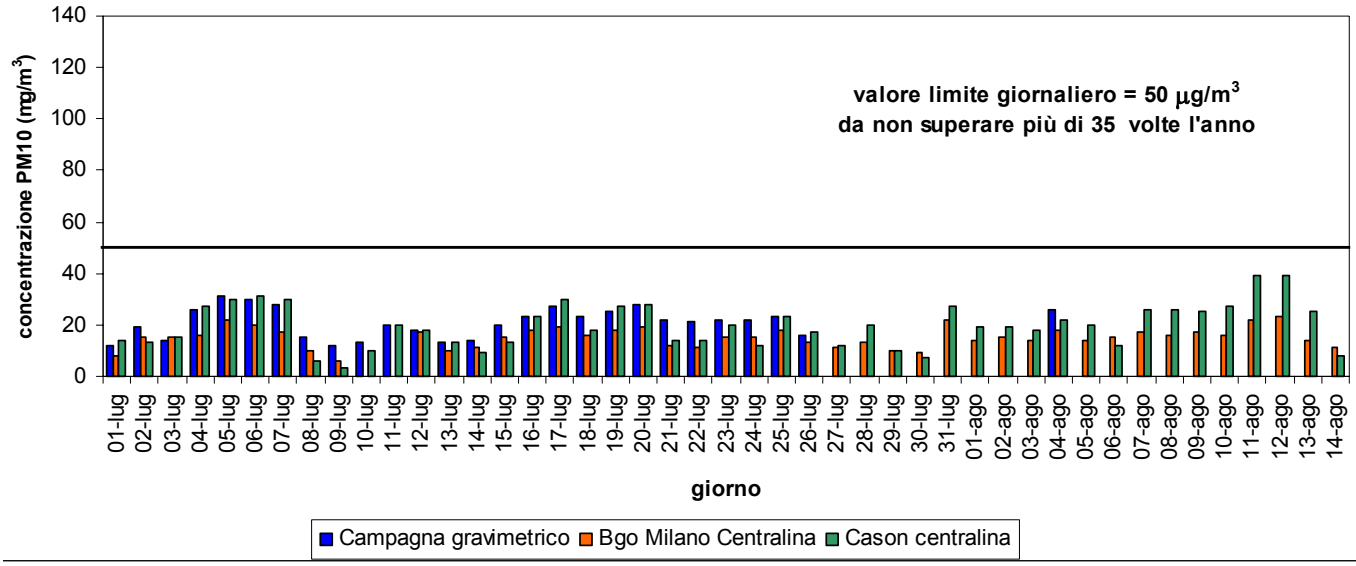


Grafico 8/b – Concentrazione Giornaliera di PM10 (µg/m^3).

Semestre "invernale"

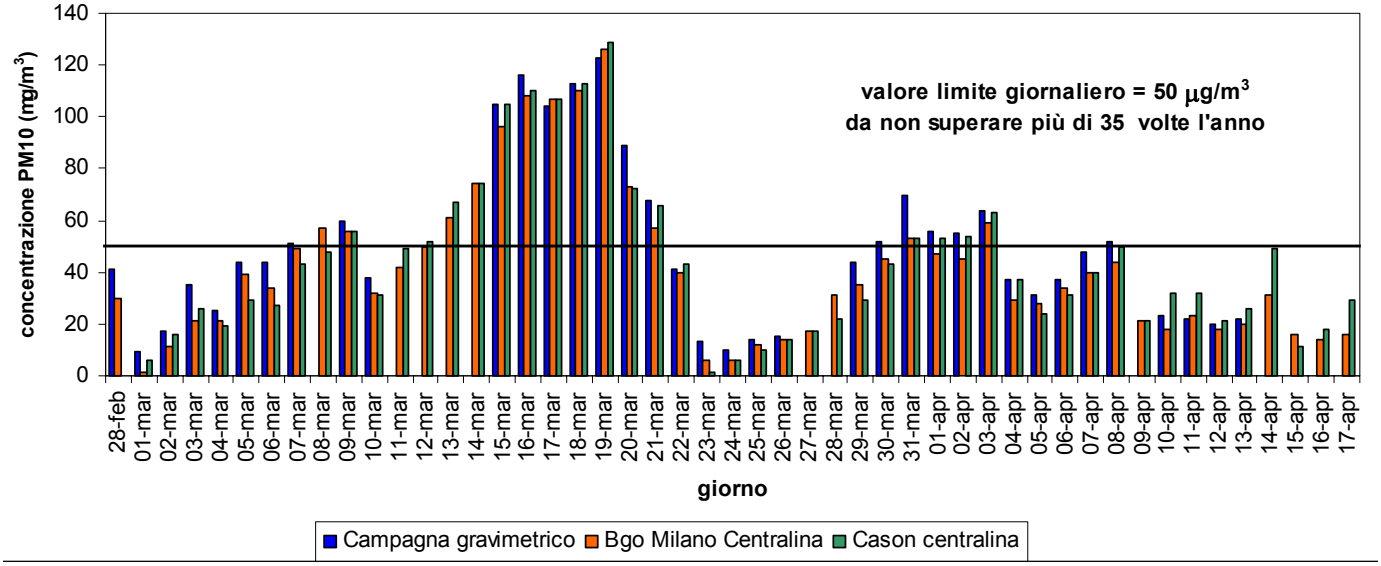


Grafico 9 – Giorno-tipo di NO_2, NOx, O3 (µg/m3) e temperatura. Le fasce ombreggiate rappresentano il 95% confidence interval della media.

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

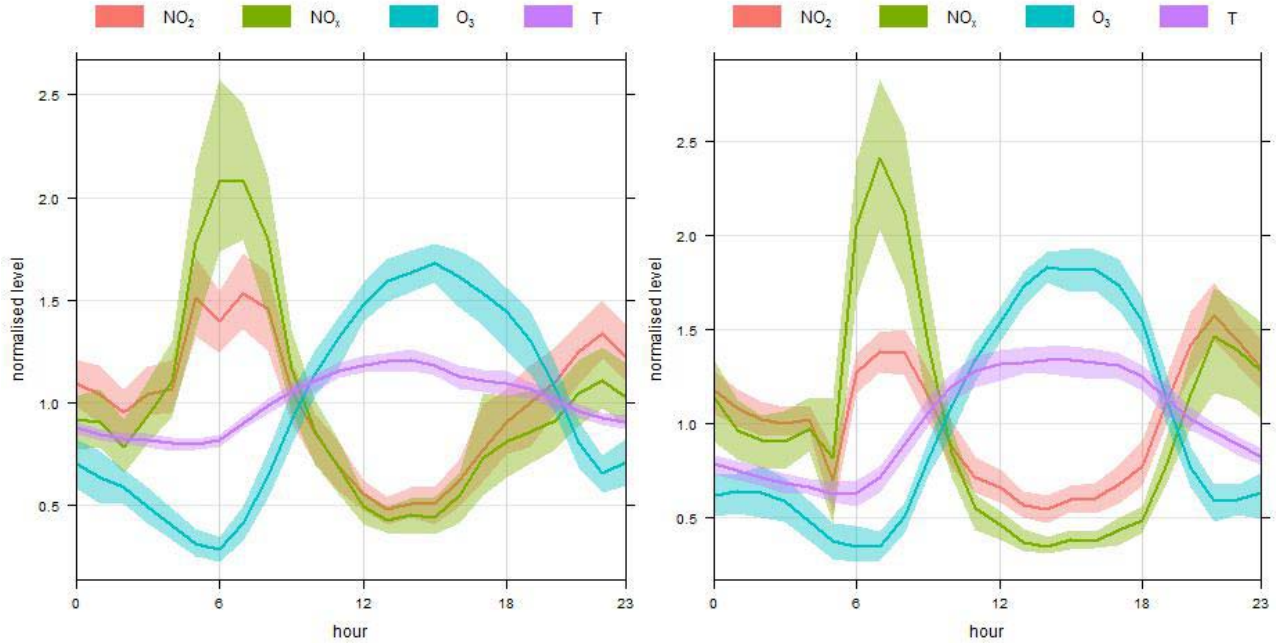
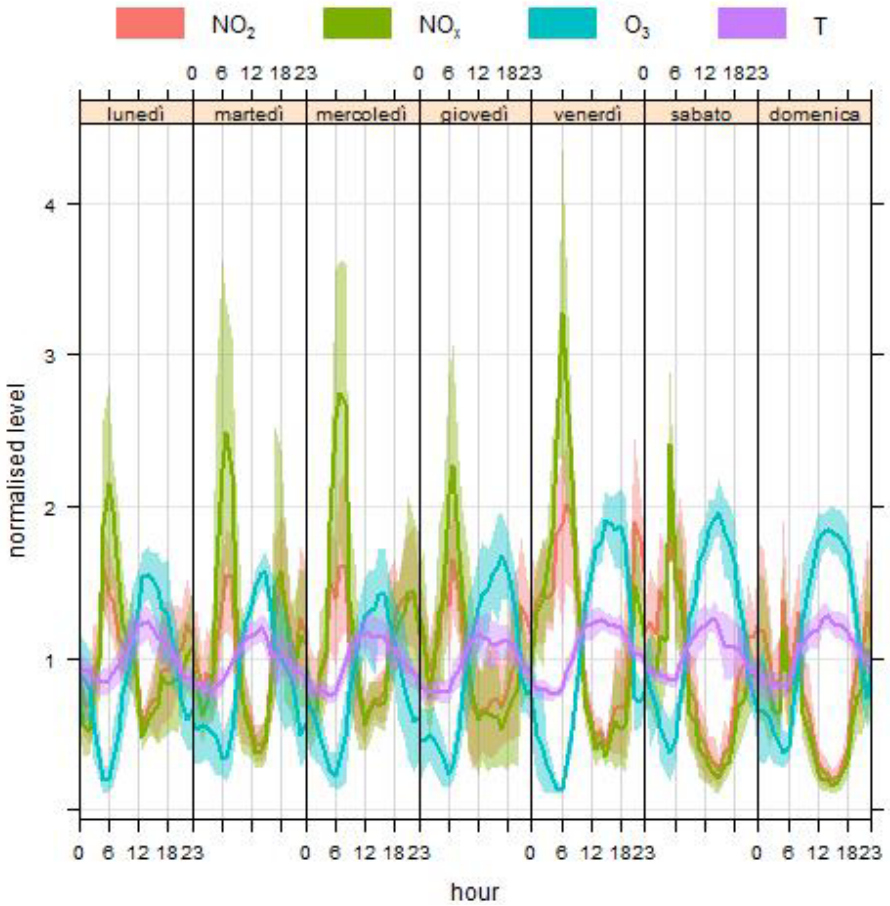


Grafico 10 – Giorno-tipo di NO_2, NOx, O_3 (µg/m^3) e temperatura, nei vari giorni della settimana. Le fasce ombreggiate rappresentano il 95% confidence interval della media.

Semestre "estivo,



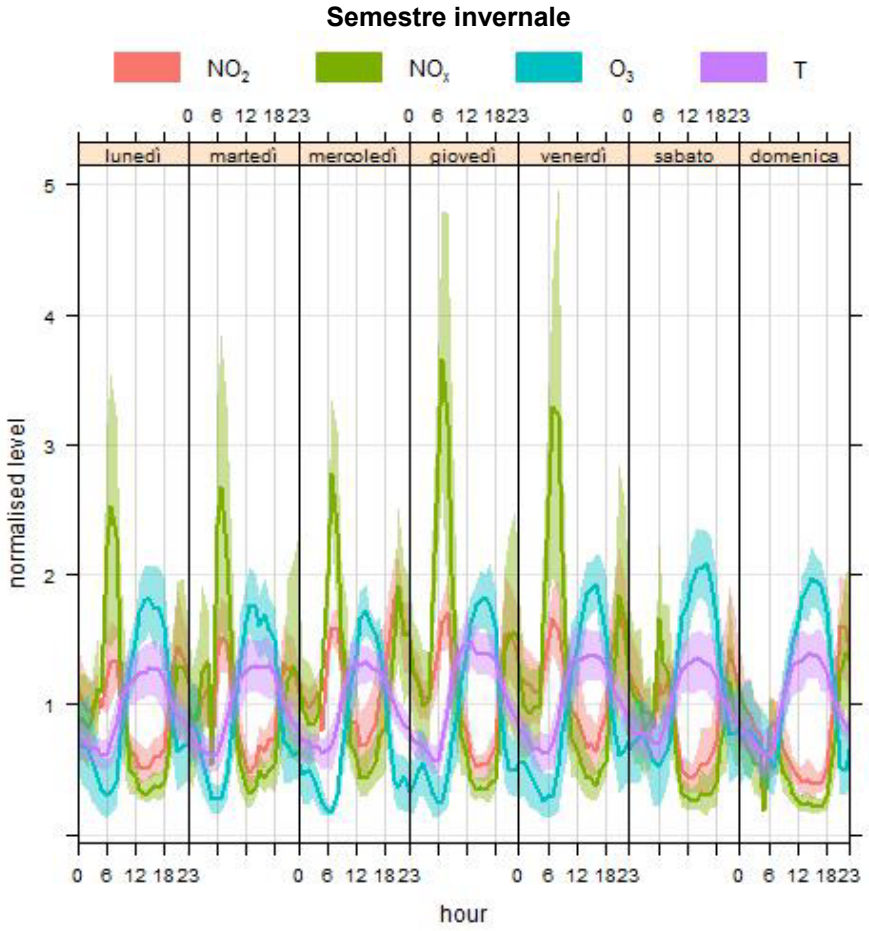


Grafico 11 – Settimana-tipo di NO_2, NOx, O_3 (µg/m^3) e temperatura. Le fasce ombreggiate rappresentano il 95% confidence interval della media.

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

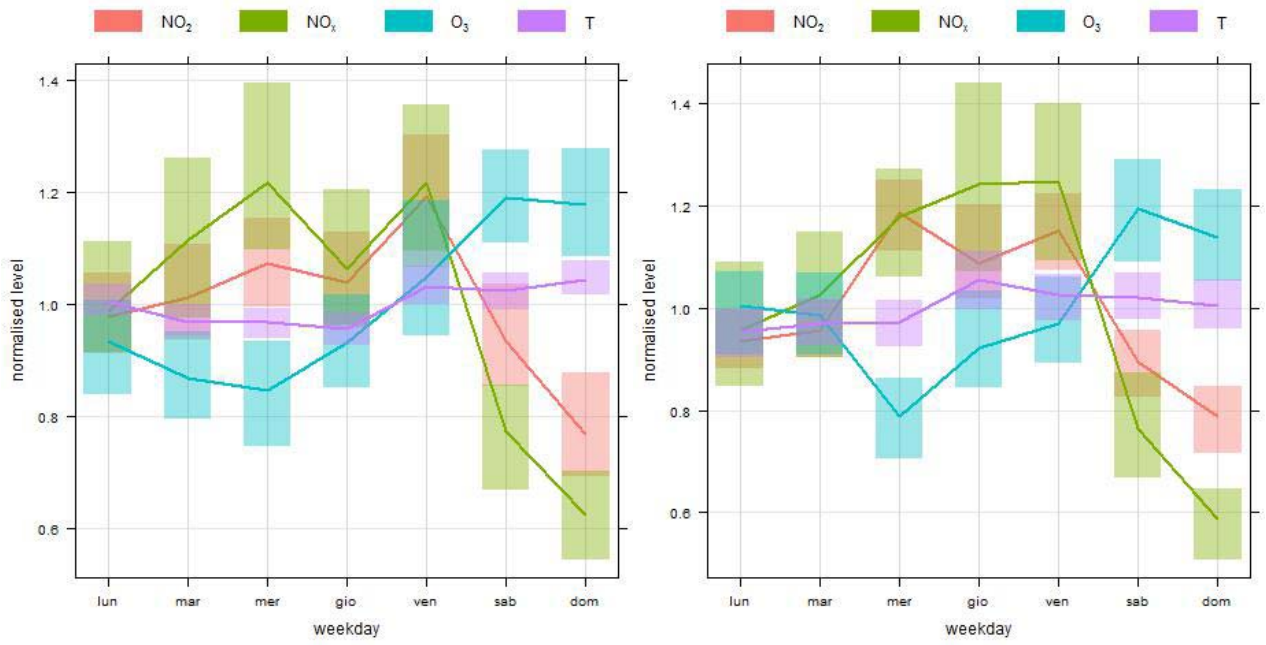


Grafico 12 – Giorno-tipo di SO_2 (µg/m^3) e CO (mg/ m^3). Le fasce ombreggiate rappresentano il 95% confidence interval della media.

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

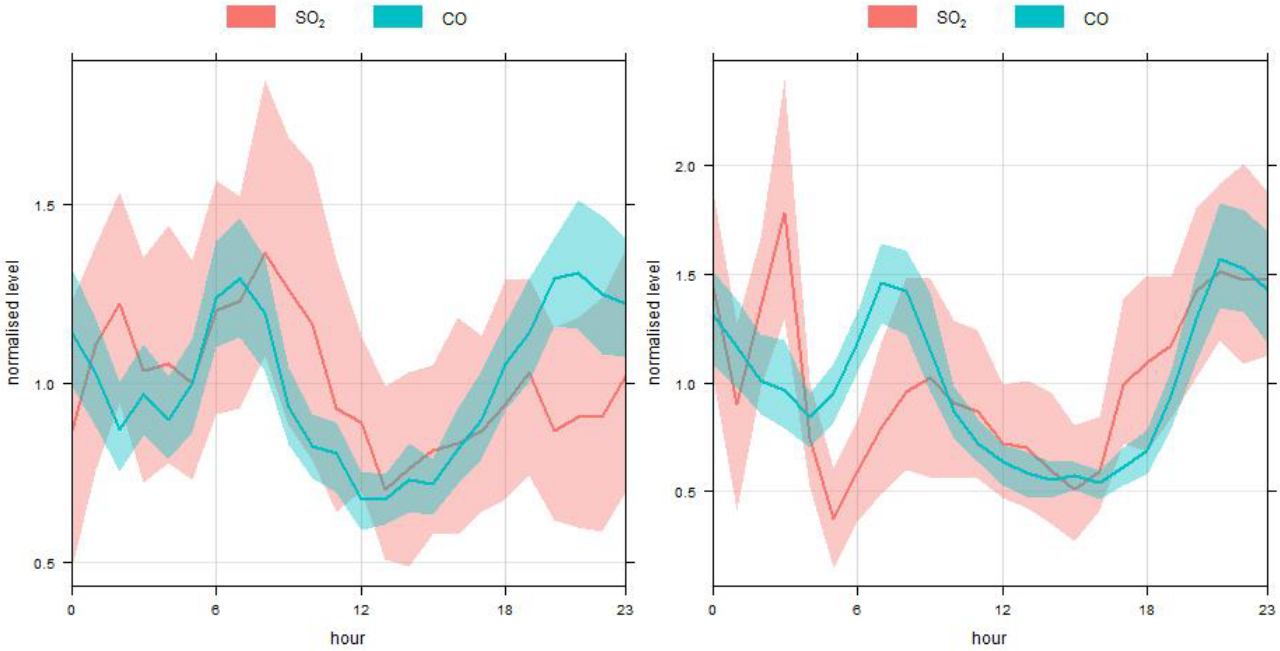
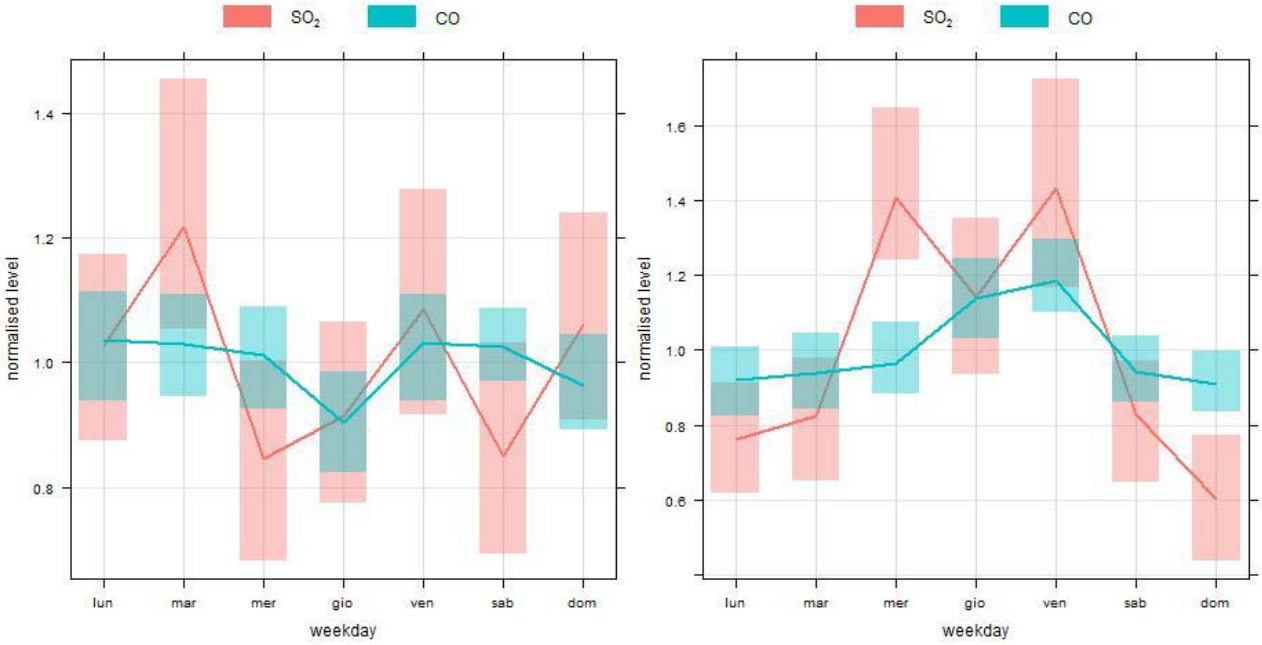


Grafico 13 – Settimana-tipo di SO_2 (µg/m^3) e CO (mg/ m^3). Le fasce ombreggiate rappresentano il 95% confidence interval della media.

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