



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

Qualità dell'Aria e traffico a Verona

Analisi delle campagne di controllo della qualità dell'aria nel Comune di Verona

2012 - 2015

RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Giancarlo Cunego

Servizio Controlli Ambientali

Dottoressa Francesca Predicatori

Ufficio Informativo Ambientale

Dottoressa Simona De Zolt Sappadina

Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

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

Relazione tecnica n. 4/2015		Data : 25/11/2015
F.to II Tecnico Unità Operativa Fisica dell'Ambiente Dr.ssa Simona De Zolt Sappadina 	F.to II Dirigente Servizio Controlli Ambientali Dr.ssa Francesca Predicatori 	

INDICE

1.	Introduzione e obiettivi specifici della campagna.....	3
2.	Caratterizzazione dei siti e tempi di realizzazione.....	3
3.	Inquinanti monitorati e normativa di riferimento.....	3
4.	Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi.....	3
5.	Analisi dei dati rilevati.....	3
6.	Conclusioni.....	3

1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna

Nel presente rapporto sono stati considerati i dati di monitoraggio della qualità dell'aria, acquisiti negli anni compresi tra il 2012 e il 2015, nel corso delle varie campagne di misura condotte nel Comune di Verona, in posizioni classificate come "traffico stradale". Tali dati sono stati confrontati con quelli delle centraline di misura fisse di Borgo Milano e Cason, per ottenere una descrizione della concentrazione dei principali inquinanti legati al traffico (NOx, PM10, BTEX, IPA, metalli) in alcune postazioni significative nel comune di Verona.

Il confronto di dati relativi e periodi di campionamento diversi è complesso, in quanto la concentrazione degli inquinanti dipende strettamente dalle condizioni meteorologiche. Inoltre, è evidente una generale diminuzione della concentrazione degli inquinanti considerati dal 2011 in poi (vedasi la "Relazione regionale qualità dell'aria dell'anno 2014"), associabile sia alle condizioni meteorologiche sia a una possibile diminuzione delle fonti emissive in seguito al miglioramento delle tecnologie e alla crisi economica che ha caratterizzato gli ultimi anni: questo complica ulteriormente il confronto tra dati di campagne effettuate in anni diversi. Per questi motivi, è fondamentale la valutazione dei dati della singola campagna in rapporto a quelli della stazione fissa di Borgo Milano o di Cason, che forniscono dati in modo continuo in tutti gli anni considerati. La finalità di questo studio è individuare e caratterizzare le postazioni più critiche, anche al fine di una pianificazione delle future campagne di monitoraggio.

2. Caratterizzazione dei siti e tempi di realizzazione

Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile, svolte nel comune di Verona dal 2012 in poi, in posizioni classificabili come di "traffico stradale", sono elencate in Tabella 1.

Campagna	Data inizio	Data fine
Ca' di Cozzi	20/07/2012 00:00	13/09/2012 07:00
	05/11/2012 13:00	10/01/2013 13:00
Via Fincato	13/09/2012 10:00	05/11/2012 09:00
	11/01/2013 13:00	26/02/2013 09:00
Ca di David	17/07/2013 11:00	06/09/2013 08:00
	21/11/2013 14:00	28/01/2014 10:00
Via Vigasio	27/02/2014 14:00	14/05/2014 06:00
	30/06/2014 14:00	14/08/2014 06:00
Piazza Bernardi	28/07/2015 13:00	10/09/2015 08:00
	27/02/2015 14:00	16/04/2015 08:00

Tabella 1. Campagne di misura con stazione rilocabile, svolte nel comune di Verona tra il 2012 e il 2015 in postazioni di "traffico stradale": nome del sito, date di inizio e di fine della campagna.

Postazioni di misura



Figura 1. Mappa dei siti monitorati con stazione rilocabile delle centraline fisse del Comune di Verona.

3. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

La stazione rilocabile è dotata di analizzatori in continuo per il campionamento e la misura degli inquinanti chimici individuati dalla normativa vigente, inerente all'inquinamento atmosferico, e più precisamente monossido di carbonio (CO), anidride solforosa (SO₂), biossido di azoto (NO₂), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O₃).

Contestualmente alle misure eseguite in continuo, sono stati effettuati anche dei campionamenti sequenziali per la determinazione gravimetrica delle polveri inalabili PM₁₀, per l'analisi in laboratorio del benzene, degli idrocarburi policiclici aromatici IPA (con riferimento al benzo(a)pirene) e dei metalli presenti nella frazione PM₁₀ (arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni) e piombo (Pb)).

Sono stati inoltre misurati in continuo alcuni parametri meteorologici quali temperatura, umidità relativa, pressione, intensità e direzione del vento.

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

Gli inquinanti da monitorare e i limiti stabiliti sono rimasti invariati rispetto alla disciplina precedente, fatta eccezione per il particolato PM_{2,5}, i cui livelli nell'aria ambiente vengono per la prima volta regolamentati in Italia con detto decreto.

Nelle Tabelle 1 e 2 si riportano, per ciascun inquinante, i limiti di legge previsti dal D.Lgs. 155/2010, suddivisi in limiti di legge a mediazione di breve periodo, correlati all'esposizione acuta della popolazione, e limiti di legge a mediazione di lungo periodo, correlati all'esposizione cronica della popolazione. In tabella 3 sono indicati i limiti di legge stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione degli ecosistemi, in Tabella 5. Linee guida di qualità dell'aria per i metalli da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

Inquinante	Tipologia	Valore
SO ₂	Soglia di allarme (*)	500 µg/m ³
	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	350 µg/m ³
	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m ³
NO ₂	Soglia di allarme (*)	400 µg/m ³
	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	200 µg/m ³
PM ₁₀	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	50 µg/m ³
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	10 mg/m ³
O ₃	Soglia di informazione (Media 1 h)	180 µg/m ³
	Soglia di allarme (Media 1 h)	240 µg/m ³
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni (altrimenti su 1 anno) Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m ³
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m ³

Tabella 2. Limiti di legge relativi all'esposizione acuta

(*) misurato per 3 ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria in un'area di almeno 100 Km², oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

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

Tabella 3. Limiti di legge relativi all'esposizione cronica.

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

Tabella 4. 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 5. Linee guida di qualità dell'aria per i metalli da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS).

4. 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,

Relazione tecnica n. 4/2015

7

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).

5. Analisi dei dati rilevati

In questo capitolo vengono confrontati i dati di concentrazione dei vari inquinanti relativi alle campagne realizzate con il mezzo mobile e alle due centraline fisse del comune di Verona: la stazione di Cason e quella di Borgo Milano. 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. I parametri sono descritti in modo esteso in Tabella 6.

Inoltre, i dati sono stati rappresentati anche con grafici di tipo box-whisker, che vanno letti come spiegato in Figura 2.

Grandezza statistica	Significato
media	Media
sd	Deviazione Standard
min	Minimo
max	Massimo
mediana	Mediana
N	Numero totale di ore del periodo di analisi
N superamenti limite	Numero di superamenti del limite normativo specifico per il dato inquinante

Tabella 6. esplicativa del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

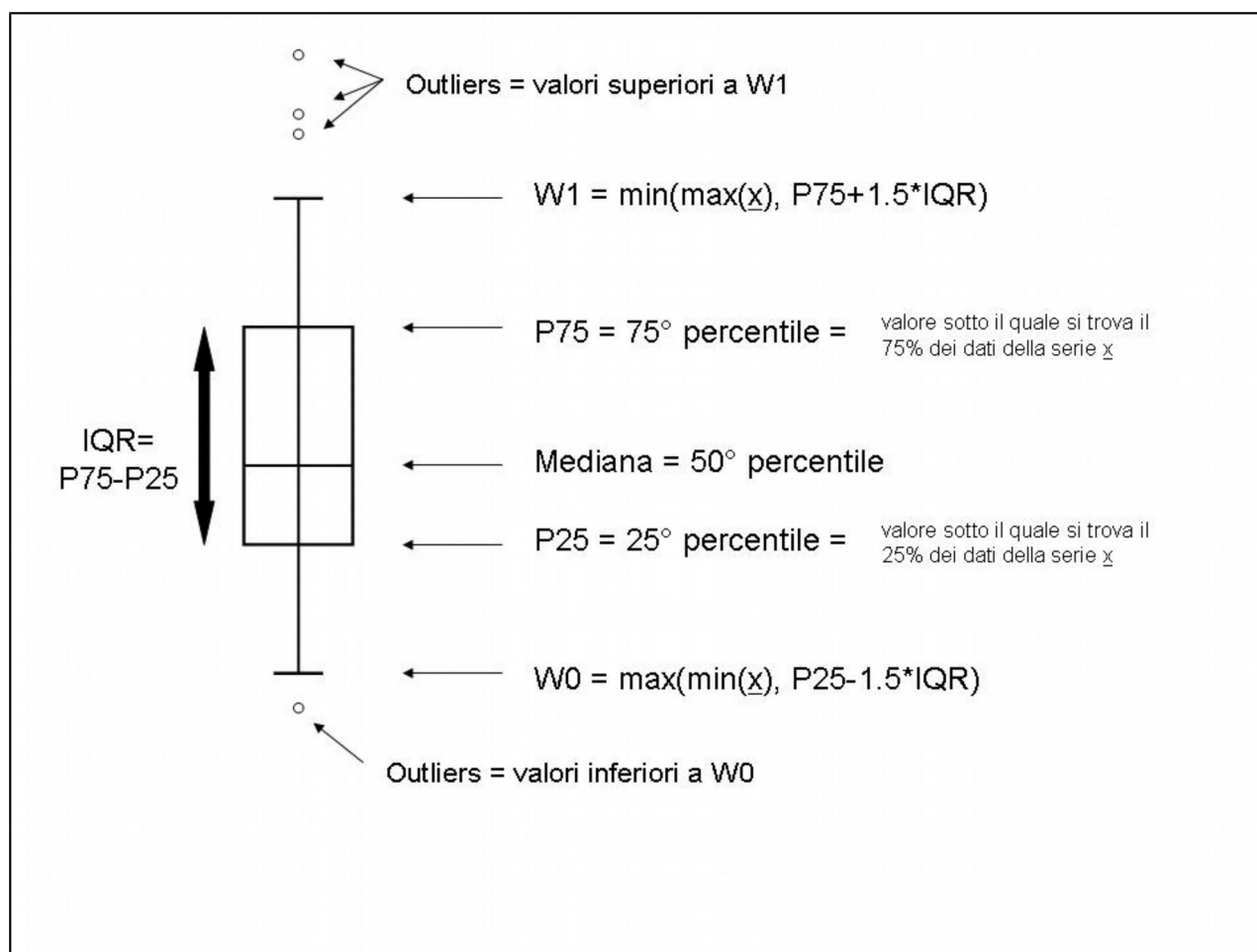


Figura 2. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata 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.

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

In Figura 3 sono riportate le serie temporali della concentrazione media giornaliera di NO₂ misurata dalla centralina di Borgo Milano e presso le diverse postazioni in cui sono state svolte le campagne con il mezzo mobile. Si notano i valori più elevati del periodo invernale rispetto a quello estivo, a causa delle condizioni atmosferiche favorevoli al ristagno degli inquinanti. L'andamento delle serie relative a Ca' di David e via Vigasio si discosta da quello di Borgo Milano, e i valori sono mediamente più elevati; nelle altre postazioni, invece, i valori di concentrazione sono più vicini a quelli di Borgo Milano.

Tale risultato è confermato dal grafico di Figura 4, che rappresenta la differenza tra il valore misurato dal mezzo mobile e quello della centralina. Questo grafico evidenzia, a Cadidavid, alcuni periodi in cui la concentrazione di NO₂ è inferiore rispetto a Borgo Milano: un'analisi puntuale dei dati evidenzia che questo accade nei giorni compresi tra il 9 e il 16 dicembre 2013, in cui, probabilmente, c'è stata una circolazione del traffico anomala legata ai mercatini di Santa Lucia.

Presso le postazioni di misura di piazza Bernardi, via Fincato e Ca' di Cozzi, i valori di NO₂ sono mediamente superiori a quelli di Borgo Milano, ma le differenze sono più basse rispetto a Cadidavid e via Vigasio: questo può essere legato al traffico più intenso e in maggior percentuale di tipo pesante in queste due ultime località.

In Figura 6 e Figura 7 sono rappresentati il giorno e la settimana tipo della concentrazione di NO₂ misurata presso i vari siti. Il grafici sono da interpretare con cautela: infatti i dati che vengono confrontati sono relativi a periodi diversi, e potrebbero essere influenzati dalle condizioni meteorologiche o da altre variazioni legate all'intervallo temporale cui si riferiscono. Tuttavia si può notare come in tutti i punti di misura ci siano, nella giornata, due picchi di concentrazione, presumibilmente dovuti ai due tipici picchi del traffico, al mattino e alla sera. In via Vigasio il primo picco è alle 7 e il secondo alle 21, mentre nelle altre stazioni è più tardi al mattino (tra le 8 e le 9) e più presto alla sera (tra le 19 e le 20). In via Vigasio, inoltre, i valori medi minimi si registrano nelle ore centrali della giornata, mentre nelle altre postazioni sono al mattino. Per quanto riguarda la settimana tipo, i valori minimi si trovano di domenica in tutte le postazioni, in accordo con una diminuzione del traffico stradale nel fine settimana. I valori massimi si trovano il martedì o il mercoledì e il venerdì, tranne a Ca' di Cozzi, dove si trova un solo picco il giovedì.

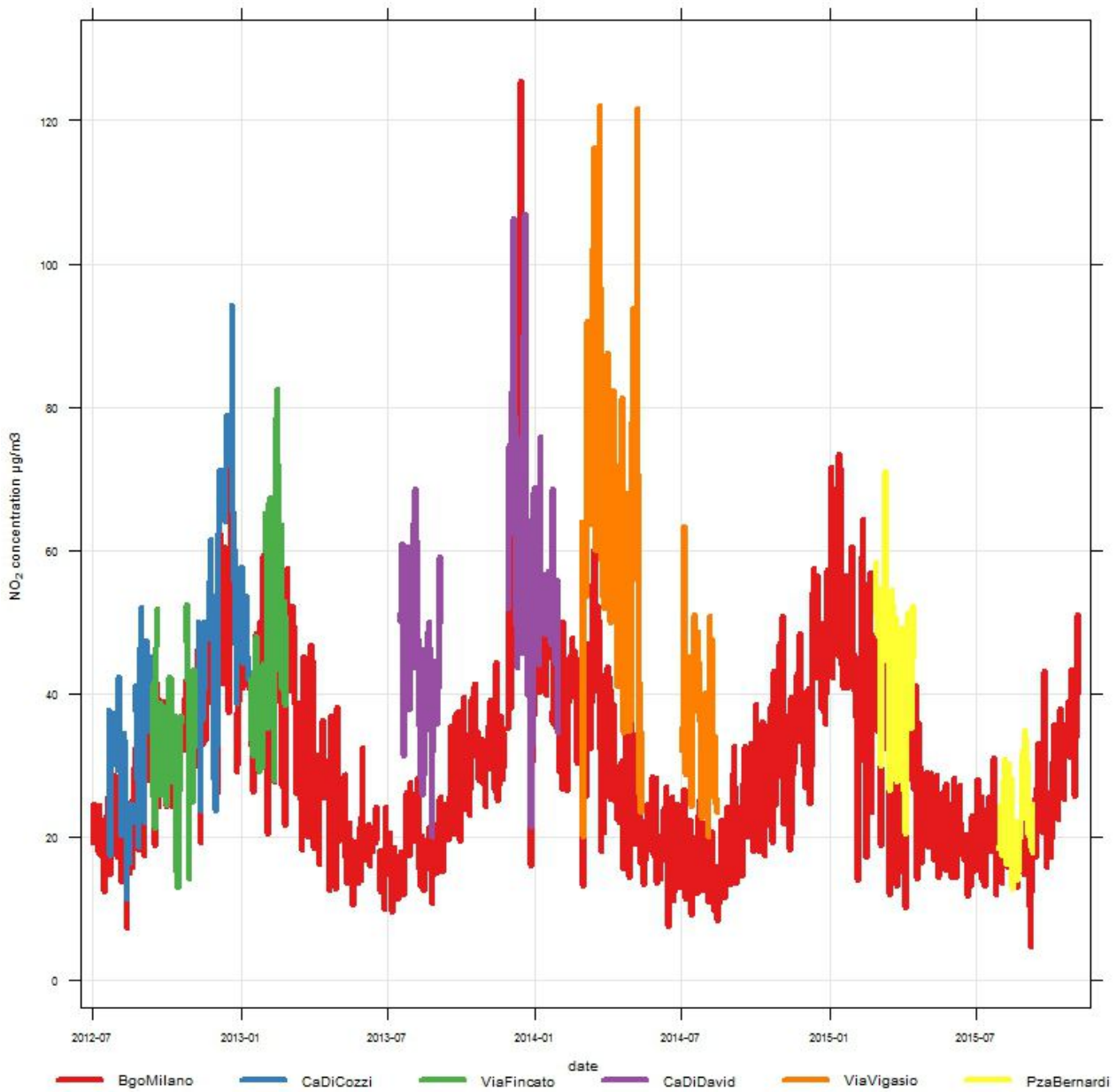


Figura 3. Serie temporale della concentrazione di NO₂ (µg/m³) misurata a Borgo Milano e presso le postazioni delle campagne di misura con il mezzo mobile.

NO2 daily means: differenza campagna-BgoMilano

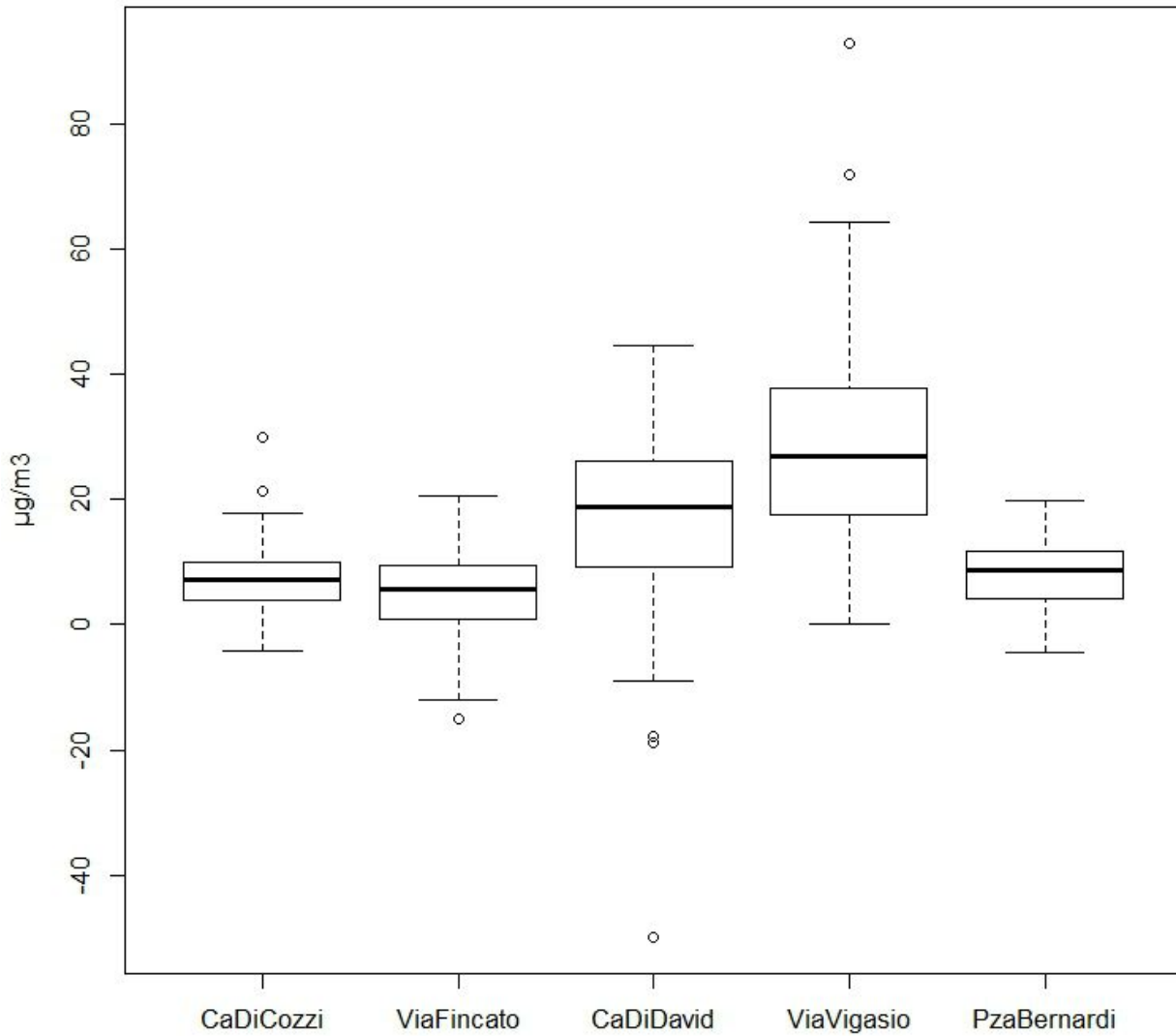


Figura 4. Box-whisker plot della differenza tra la concentrazione media giornaliera di NO₂ misurato nelle campagne con il mezzo mobile e quella misurata a Borgo Milano.

NO₂ differenza media rispetto a Borgo Milano



Figura 5. Differenza tra la concentrazione media giornaliera di NO₂ misurata nelle campagne con il mezzo mobile e quella misurata a Borgo Milano.

NO ₂ (µg/m ³)	Ca' di Cozzi	Cadidavid	via Fincato	via Vigasio	Pza Bernardi
mean	40	53	42	55	33
sd	15	16	14	24	13
min	11	20	13	20	13
max	94	107	83	122	71
N	99	113	92	121	92

Tabella 7. Concentrazione di NO₂ (µg/m³): media dei valori giornalieri in ogni campagna di misura.

NO ₂ (µg/m ³) Differenza da Borgo Milano	diff Ca' di Cozzi	diff via Fincato	diff CadiDavid	diff via Vigasio	diff PzaBernardi
mean	7	6	17	29	8
sd	5	7	14	15	5
min	-4	-15	-50	0	-4
max	30	20	45	93	20
N	94	84	110	121	92

Tabella 8. Concentrazione di NO₂ (µg/m³): differenza rispetto al valore di concentrazione di Borgo Milano.

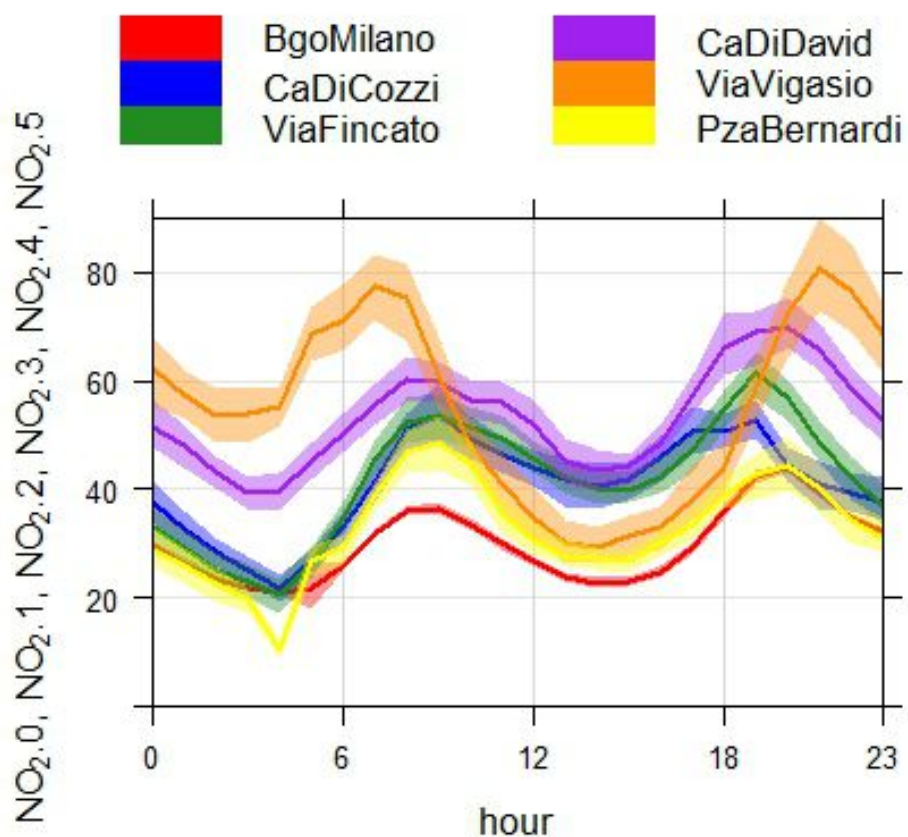


Figura 6. Giorno tipo per la concentrazione di NO₂ nelle diverse postazioni di misura. In ordinata è riportata la concentrazione media di NO₂ (µg/m³), in ascissa l'ora del giorno.

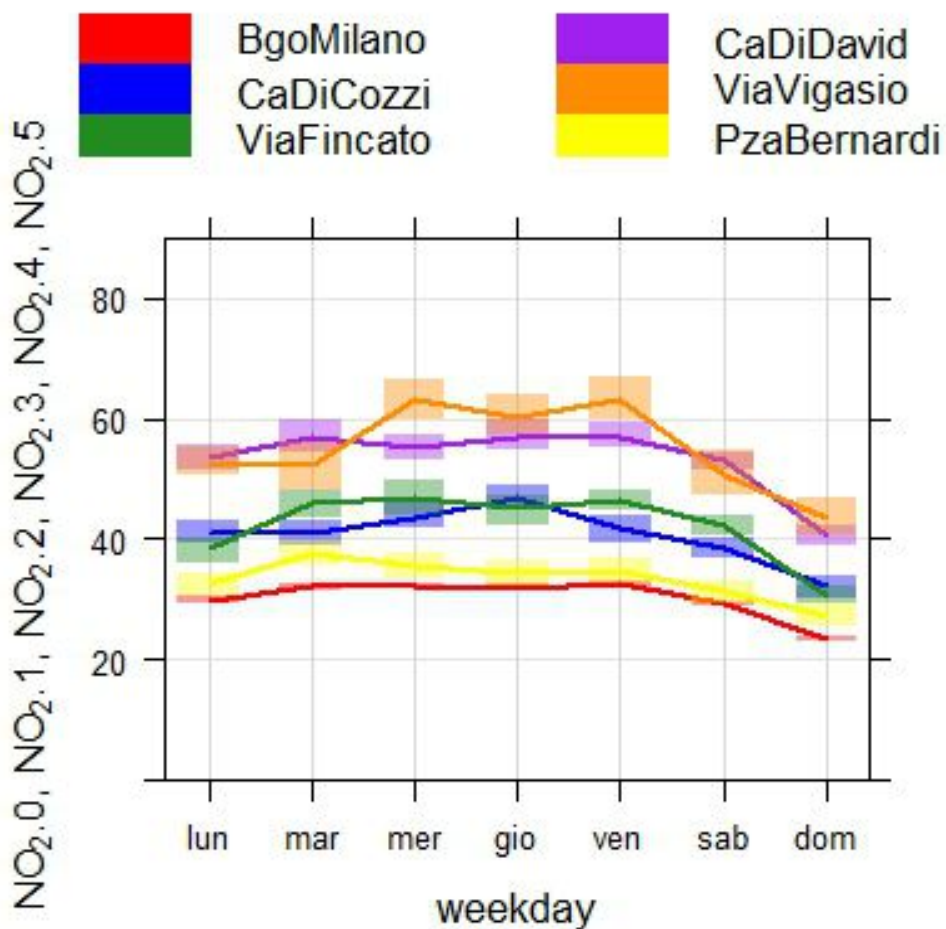


Figura 7. Settimana tipo per la concentrazione di NO₂ nelle diverse postazioni di misura. In ordinata è riportata la concentrazione media di NO₂ (µg/m³), in acissa il giorno della settimana.

5.2. Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

In Figura 8 è rappresentata la serie temporale della concentrazione di PM10 (µg/m³) misurata a Borgo Milano e presso le postazioni delle campagne di misura con il mezzo mobile. Essa mostra che le serie temporali della concentrazione di PM10, misurata nelle varie campagne di misura con mezzo mobile, sono simili a quelle relative alla centralina di Borgo Milano: infatti il PM10 è un inquinante secondario, che mostra variazioni spaziali di concentrazione contenute.

Le differenze sono efficacemente rappresentate in Figura 9 attraverso il box-wisker plot, e rispecchiano la situazione evidenziata per gli ossidi di azoto. Esse sono positive solo a Cadidavid e in via Vigasio, postazioni in cui il traffico pesante è più intenso. In via Fincato i valori di PM10 sono più bassi rispetto a Borgo Milano. Invece a Ca' di Cozzi e Piazza Bernardi le differenze sono trascurabili.

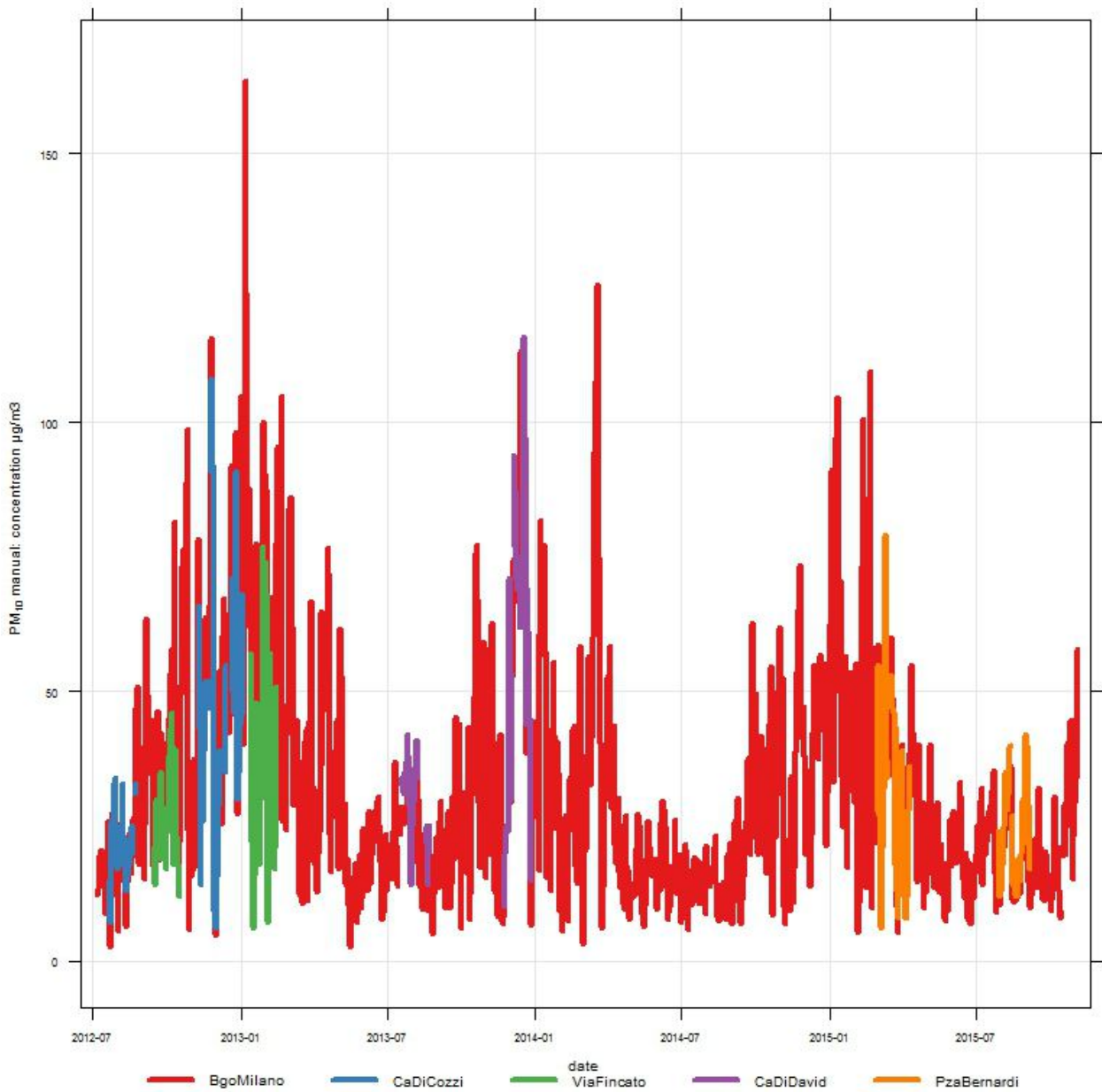


Figura 8. Serie temporale della concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurata a Borgo Milano e presso le postazioni delle campagne di misura con il mezzo mobile.

pm10 manual daily means: differenza campagna-BgoMilano

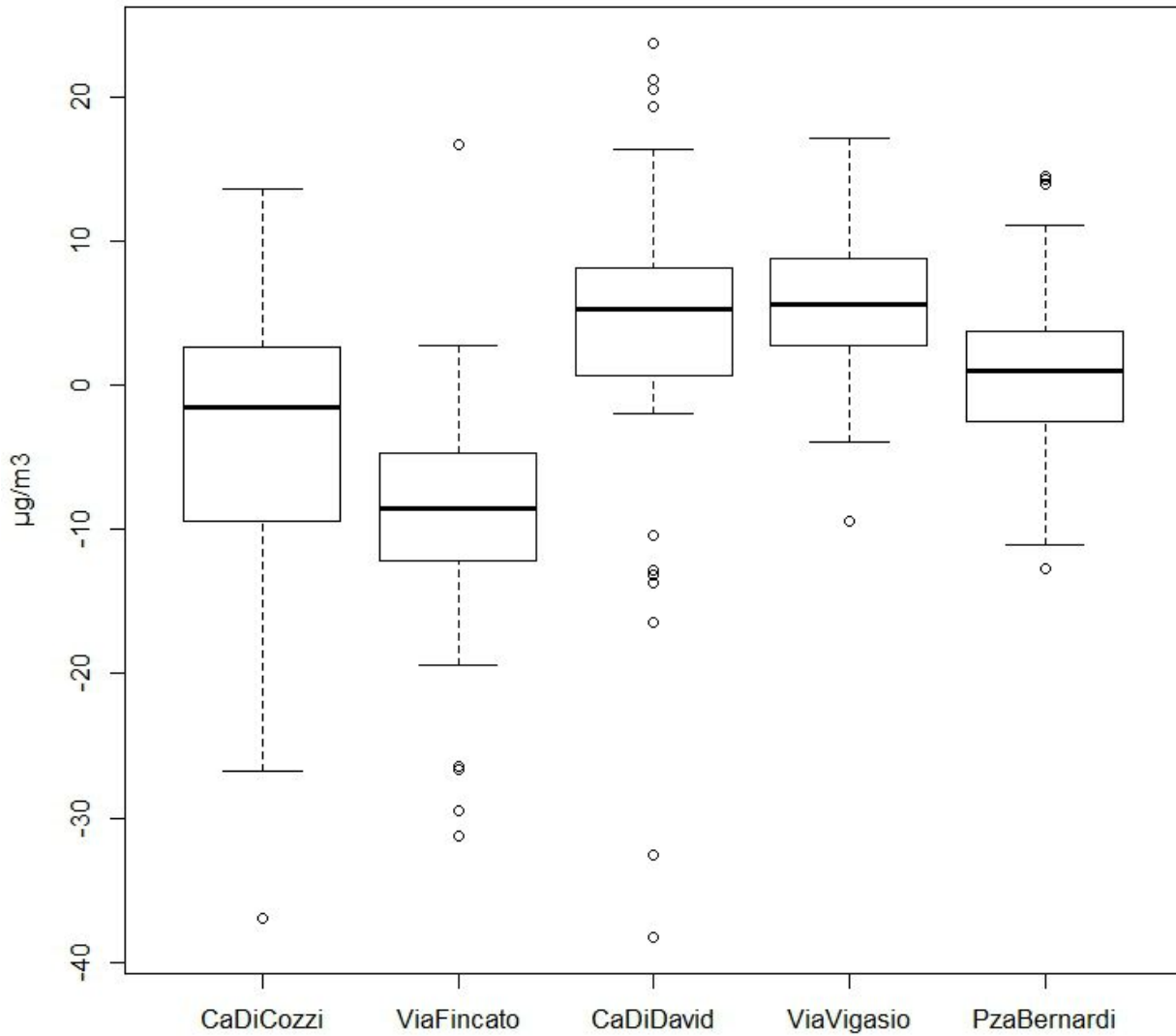


Figura 9. Box-wisker plot della differenza tra la concentrazione media giornaliera di PM10 misurata nelle campagne con il mezzo mobile e quella misurata a Borgo Milano.

PM₁₀ manuale: differenza rispetto a BgoMilano



Figura 10. Della differenza tra la concentrazione media giornaliera di PM₁₀ misurata nelle campagne con il mezzo mobile e quella misurata a Borgo Milano.

PM ₁₀ (µg/m ³)	Ca' di Cozzi	Cadidavid	Pza Bernardi	via Fincato	Via Vigasio
mean	35	44	27	32	34
sd	22	26	14	15	27
min	6	10	6	6	9
max	108	116	79	77	123
n	72	60	74	61	73

Tabella 9. Concentrazione di PM₁₀ (µg/m³): media dei valori giornalieri in ogni campagna di misura.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Differenza da Borgo Milano	Ca' di Cozzi	via Fincato	Cadidavid	via Vigasio	Piazza Bernardi
mean	-4	-9	3	6	0
sd	9	8	11	4	6
min	-37	-31	-38	-9	-13
max	14	17	24	17	15
n	72	61	56	71	74

Tabella 10. Concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): differenza media rispetto al valore di Borgo Milano.

5.3. BTEX (Benzene, Toluene, Etilbenzene, Xileni)

I BTEX sono composti che rientrano nell'ampia classe dei COV (Composti Organici Volatili). La loro presenza in atmosfera è dovuta anche alle emissioni di origine antropica causate dalla combustione incompleta degli idrocarburi e all'evaporazione di solventi e carburanti. In particolare, il benzene, che è l'unico composto COV per il quale è previsto un limite di legge in aria ambiente, è un inquinante primario legato prevalentemente al traffico (per più dell'80%, EEAA, 2007; ATSDR, 2008), e pertanto le maggiori concentrazioni vengono rilevate in vicinanza delle strade.

I BTEX sono misurati attraverso un campionatore passivo che viene esposto per circa 15-20 giorni, e i periodi di esposizione nella località della campagna con mezzo mobile e a Borgo Milano o Cason non coincidono esattamente.

In figura 11 sono rappresentate le serie temporali del benzene misurato a Borgo Milano e presso le postazioni delle campagne di misura con il mezzo mobile. Sono evidenti i valori più elevati del periodo invernale in Borgo Milano, come anche presso le altre postazioni. I valori sono tali da rispettare il limite di legge di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che si applica alla media annuale.

In figura 12 sono rappresentati i valori medi di benzene nelle diverse postazioni di misura.

media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	benzene	etilbenzene	toluene	xilene
Ca' di Cozzi	0.67	0.83	3.54	3.63
Cadidavid	1.19	0.84	8.62	2.30
PzaBernardi	0.81	0.88	5.05	4.10
Via Fincato	1.14	0.96	6.53	4.09
Via Vigasio	0.66	0.64	3.53	3.33
Bgo Milano	0.85	0.66	3.01	2.69
Cason	0.84	0.48	2.44	1.81

Tabella 11. Valori medi di concentrazione di diverse specie di BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), misurata



Figura 11. Serie temporali della concentrazione di benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurata a Cason (rosso), Ca' di Cozzi (blu), Via Fincato (verde), Ca' di David (viola), via Vigasio (arancione), Piazza Bernardi (giallo), Borgo Milano (marrone), e infine a Borgo Milano ma con campionamento tramite fiale anziché campionatori passivi (rosa).

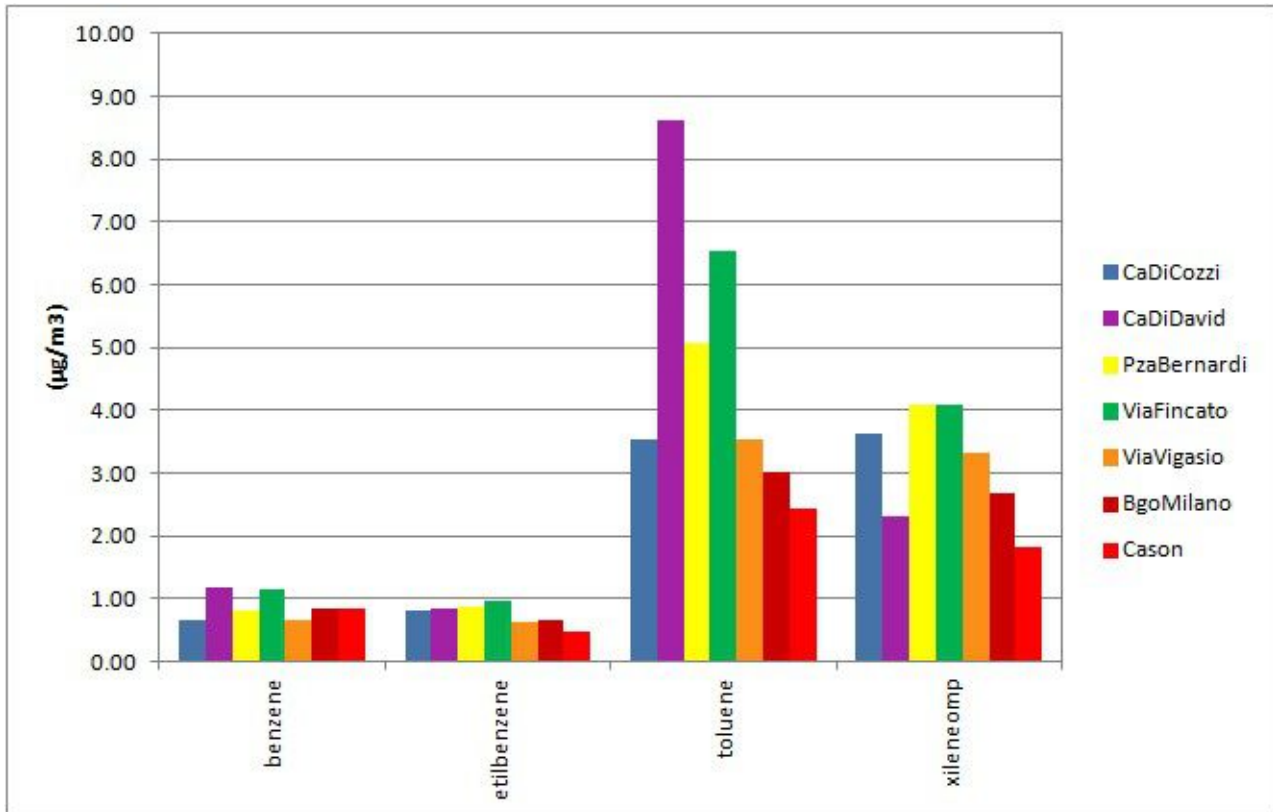


Figura 12. Valore medio di benzene, etilbenzene, toluene, xilene misurato in Borgo Milano e presso le diverse postazioni in cui sono state effettuate le campagne di misura con il mezzo mobile.

5.4. IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici)

Gli idrocarburi policiclici aromatici, indicati con l'acronimo IPA, sono inquinanti che si liberano dalle sostanze organiche sottoposte a combustione incompleta. Essi possono essere in forma di particolato o gas. Nel monitoraggio di controllo della qualità dell'aria vengono misurate le specie IPA più significative presenti nel PM10 sotto forma di particolato: benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(ghi)perilene, benzo(k)fluorantene, crisene, dibenzo(ah)antracene, indeno123cdpirene.

In figura 13 sono rappresentate le serie temporali della concentrazione di benzo(a)pirene misurata a Cason (i dati della centralina di Borgo Milano sono disponibili solo per l'anno 2012) e nei luoghi dove sono state svolte le campagne col mezzo mobile. Anche in questo caso, dalla serie temporale relativa a Cason, si nota che i valori sono più elevati in inverno rispetto all'estate, a causa delle condizioni meteo favorevoli al ristagno degli inquinanti.

I valori medi annuali relativi a Cason sono inferiori al limite normativo di 1 ng/m^3 . Dal confronto tra i dati delle campagne e Cason si può inferire che il limite sia rispettato anche nei siti dove esse sono state svolte, essendo i valori relativi alle diverse postazioni piuttosto vicini. Anche i valori medi delle altre specie di IPA sono contenuti (Tabella 12).

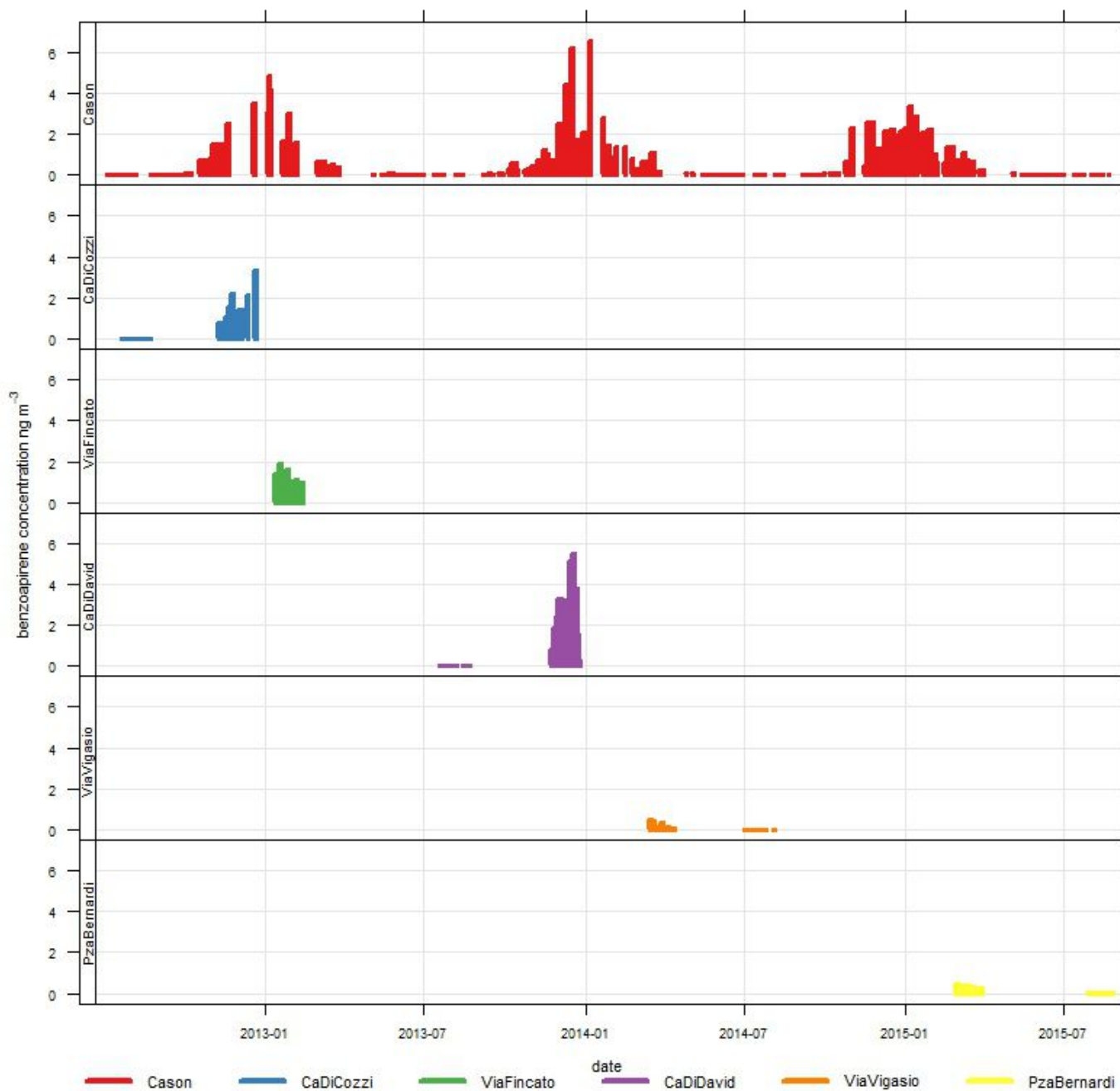


Figura 13. Serie temporali della concentrazione di benzoapirene (ng/m³) misurata a Cason e presso le postazioni delle campagne di misura con il mezzo mobile.

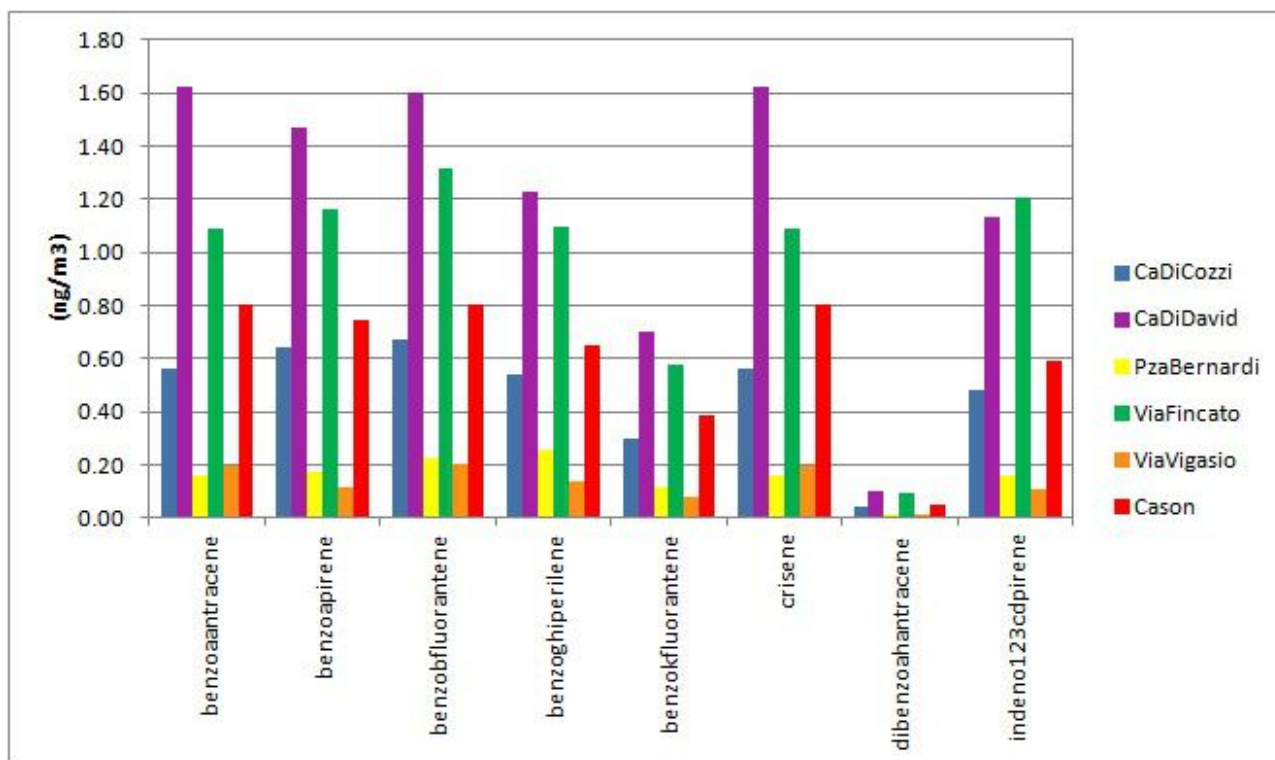


Figura 14. Valore medio delle diverse specie di IPA misurate a Cason e presso le diverse postazioni in cui sono state effettuate le campagne di misura con il mezzo mobile.

(ng/m ³)	benzo(a)antracene	benzo(a)pirene	benzofluorantene	benzoghiperilene	benzokfluorantene	crisene	dibenzo(a,h)antracene	indeno(1,2,3-cd)pirene	somma
Ca di Cozzi	0.33	0.64	0.67	0.54	0.29	0.56	0.04	0.48	3.55
Cadidavid	0.94	1.47	1.60	1.23	0.70	1.63	0.10	1.13	8.79
Pza Bernardi	0.10	0.17	0.22	0.25	0.11	0.16	0.02	0.16	1.19
Via Fincato	0.58	1.16	1.32	1.09	0.58	1.09	0.09	1.21	7.12
Via Vigasio	0.07	0.11	0.20	0.13	0.08	0.19	0.01	0.11	0.91
Bgo Milano	0.11	0.18	0.23	0.19	0.10	0.22	0.02	0.14	1.19
Cason	0.62	0.74	0.80	0.65	0.39	0.80	0.05	0.59	4.64

Tabella 12. Valori medi delle specie di IPA misurate (ng/m³).

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

In Tabella 13 è riportata la concentrazione di arsenico, cadmio, nichel e piombo misurata nelle centraline del Comune di Verona e nei siti dove sono state svolte le campagne con il mezzo mobile. Gli stessi dati sono rappresentati graficamente nelle Figure 12 e 13. I valori sono molto più bassi dei limiti normativi. I valori medi misurati sono compatibili con quelli tipici dei siti di fondo urbano per arsenico, cadmio e nichel; invece per il piombo i valori sono compatibili con quelli delle aree urbane.

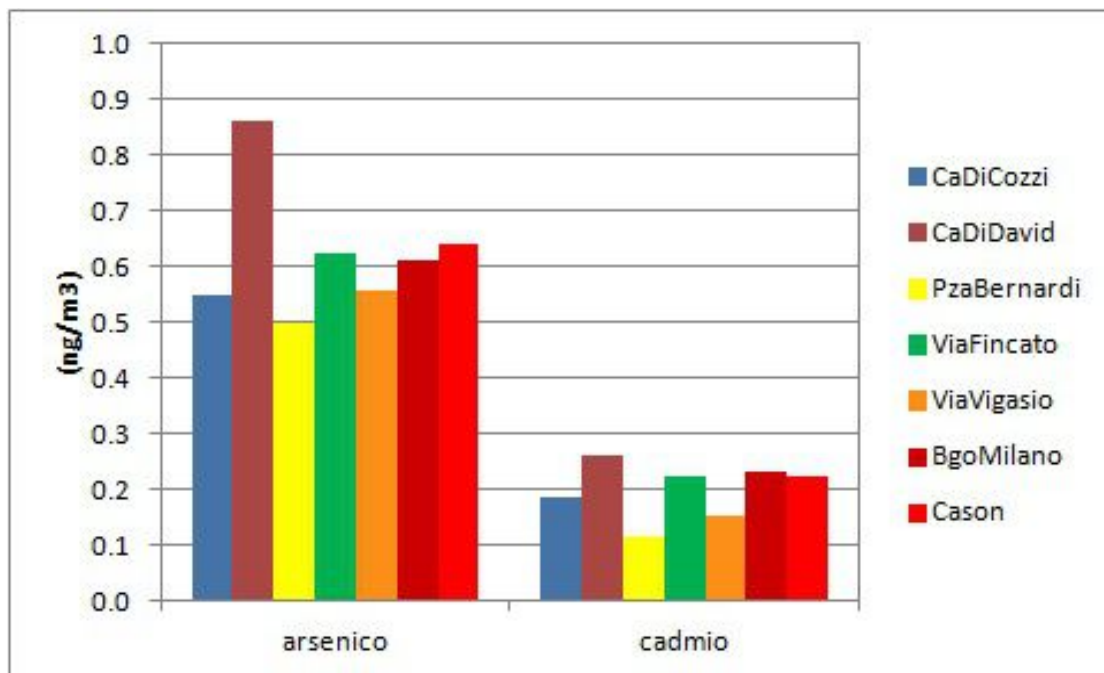


Figura 15. Concentrazione di arsenico e cadmio misurata nelle centraline del Comune di Verona e nei siti dove sono state svolte le campagne con il mezzo mobile.

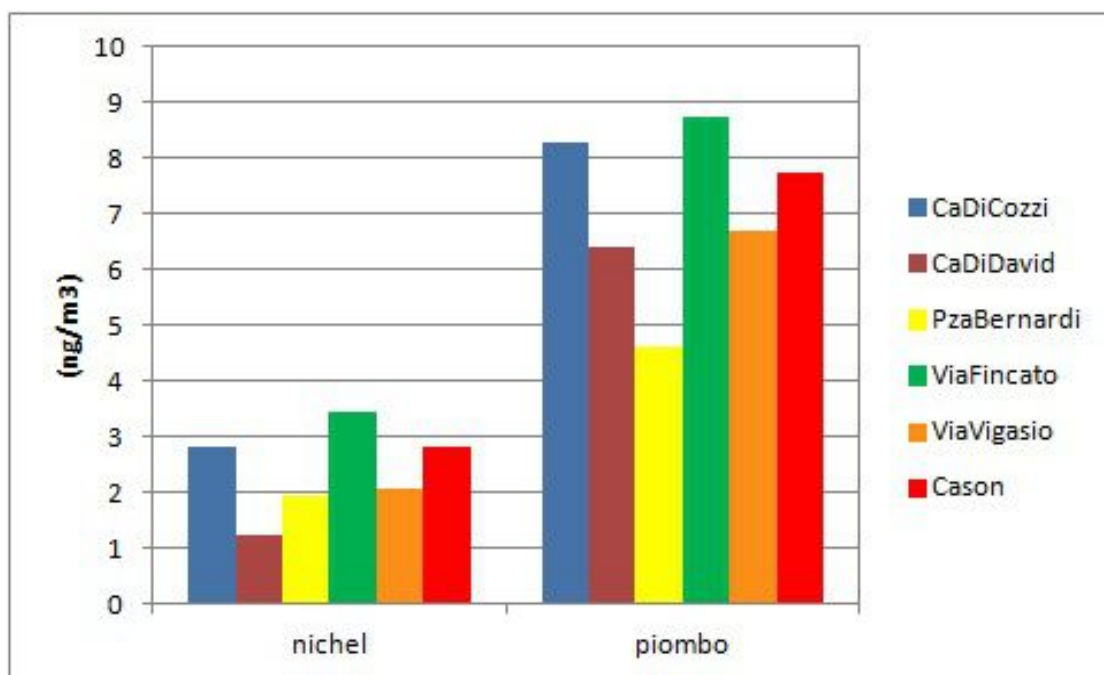


Figura 16. Concentrazione di nichel e piombo misurata nelle centraline del Comune di Verona e nei siti dove sono state svolte le campagne con il mezzo mobile.

site	arsenico	cadmio	nicel	piombo
CaDiCozzi	0.6	0.2	3	8
CaDiDavid	0.9	0.3	1	6
PzaBernardi	0.5	0.1	2	5
ViaFincato	0.6	0.2	3	9
ViaVigasio	0.6	0.2	2	7
BgoMilano	0.6	0.2	4	10
Cason	0.6	0.2	3	8
Limite esposizione cronica	6.0	5.0	20	500
livello di fondo	da 1 a 3	0.1	1	0.6
aree urbane	da 20 a 30	da 1 a 10	da 9 a 60	5-500

Tabella 13. Concentrazione di arsenico, cadmio, nichel e piombo misurata nelle centraline del Comune di Verona e nei siti dove sono state svolte le campagne con il mezzo mobile.

6. Conclusioni

In questo studio sono state considerate le campagne di misura effettuate con il mezzo mobile di ARPAV in siti di traffico del comune di Verona, negli anni tra il 2012 e il 2015 con lo scopo di confrontare la qualità dell'aria di questi siti.

Considerato che le condizioni meteorologiche sono un fattore molto importante per la variazione della concentrazione in aria degli inquinanti, e che le campagne sono state svolte in periodi diversi, un confronto diretto dei dati medi riferiti ai vari siti non è attuabile. I dati delle campagne sono stati pertanto confrontati con quelli delle stazioni di misura fisse del comune di Verona (site a Borgo Milano e a Cason del Chievo), che rilevano dati con continuità in tutto il periodo considerato. Per ogni sito e per ogni inquinante è stata valutata la differenza rispetto alla stazione fissa e le differenze relative fra i valori misurati nelle diverse campagne.

Gli inquinanti considerati sono quelli tipici dei siti di traffico: il biossido di azoto (NO₂), le polveri sottili (PM10), i BTEX (benzene, toluene, etilene, xilene, che sono una classe di idrocarburi aromatici), gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e i metalli.

Le postazioni di misura si trovano su quattro arterie di ingresso/uscita dalla città (via Fincato, via Ca' di Cozzi, via Roma a Cadidavid e via Vigasio) e su una strada di collegamento periferia-centro (piazza Bernardi) caratterizzata da una morfologia tipica del "canyon urbano", relativamente stretta e contornata da edifici.

L'analisi dell'NO₂ e del PM10 ha evidenziato che i valori più elevati rispetto alla centralina di Borgo Milano si trovano in via Vigasio e a Cadidavid. Questo è compatibile con il traffico pesante che caratterizza queste due postazioni rispetto alle altre.

Durante la campagna di monitoraggio invernale la concentrazione di biossido di azoto in via Vigasio ha superato il valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 µg/m³ per tre volte. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 55 µg/m³, ed è quindi ampiamente superiore sia al valore limite annuale di 40 µg/m³ sia al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 µg/m³. 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 (si veda la relazione finale del monitoraggio condotto in via Vigasio <http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-verona/aria/dap-verona-campagne-di-monitoraggio-qualita-dellaria>).

La concentrazione media di biossido di azoto, nei due periodi di campagna a Cadidavid, è pari a $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e supera sia il limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia il limite annuale per la protezione degli ecosistemi di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$; le medie orarie sono sempre state inferiori al valore limite orario relativo all'esposizione acuta di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Presso le postazioni di Cadidavid e via Vigasio sono state misurate le differenze maggiori con le concentrazioni di biossido di azoto rilevate in borgo Milano (figura 4).

Anche via Ca di Cozzi è caratterizzata da un flusso intenso di veicoli: il flusso di traffico in agosto nei giorni feriali è pari a circa 46.000 veicoli/giorno, e scende a circa 34000 veicoli/giorno nei giorni festivi. A settembre, sia nei giorni feriali che nei giorni festivi, si ha un aumento di circa il 20% rispetto ad agosto (dati riferiti all'anno 2012 fonte Settore Traffico e Mobilità comune di Verona). I valori medi di NO_2 risultano superiori a quelli misurati presso la stazione di Borgo Milano, con differenze più contenute rispetto a Cadidavid e via Vigasio.

In via Fincato sono stati rilevate concentrazioni simili a quelle misurate in via Ca' di Cozzi, ma differenze maggiori con le concentrazioni misurate nello stesso periodo a Borgo Milano nonostante il volume di traffico sia inferiore a quello di via Ca' di Cozzi (circa 12.000 veicoli giorno contro i 57.000 di via Ca' di Cozzi): la geometria della strada, la velocità del flusso di traffico, la presenza o meno di incolonnamenti possono influire in modo significativo sulla concentrazione di inquinanti.

Anche le concentrazioni di NO_2 misurate a Piazza Bernardi sono superiori a quelle misurate a Borgo Milano ($+ 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) come per via Fincato e via Ca' di Cozzi pur essendo la tipologia di strada e quindi il flusso di traffico diverso: in questo caso la morfologia della strada stessa può dare un contributo determinante.

La differenza fra la concentrazione media giornaliera di PM10 misurata nelle campagne con il mezzo mobile e quella misurata a Borgo Milano è compresa fra $-9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di via Fincato e $+6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di via Vigasio: mostra pertanto una minore variabilità rispetto agli ossidi di azoto, coerentemente con le caratteristiche di questo inquinante solo in parte legato alla emissione diretta degli autoveicoli, ed in gran parte prodotto in atmosfera da reazioni fra gli inquinanti primari quali NO_x , NH_3 , SO_x etc... Inoltre, una parte del PM10 presente in atmosfera, in particolare in vicinanza delle arterie stradali, è legata all'abrasione di freni e pneumatici, al risollevarsi di polvere dovuto al passaggio dei mezzi. Le arterie a grande traffico, con significativa presenza di veicoli pesanti quali Cadidavid e via Vigasio mostrano valori superiori di PM10 rispetto a Borgo Milano. In via Fincato e via Ca' di Cozzi le concentrazioni medie sono inferiori, mentre in piazza Bernardi, nonostante sia prossima al centro storico le concentrazioni sono pari a quelle misurate in Borgo Milano.

Per quanto riguarda i BTEX, i valori sono sempre bassi rispetto ai limiti legislativi.

La concentrazione di benzo(a)pirene appare critica a Cadidavid, e in via Fincato (dove però è disponibile il solo dato invernale): in particolare a Cadidavid è probabile il superamento del valore obiettivo annuale di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Negli altri siti di misura analizzati il valore medio annuale risulta inferiore al valore obiettivo annuale.

La concentrazione media dei metalli è quella tipica dei siti di fondo urbano per arsenico, cadmio e nichel; per il piombo i valori sono compatibili con quelli delle aree urbane.

Tutte le arterie considerate evidenziano criticità in particolare legate agli inquinanti tipici delle emissioni da traffico quali NO_x , e, in parte, PM10. Particolarmente significative le concentrazioni nelle strade caratterizzate da un maggiore flusso di veicoli pesanti e nelle strade a "canyon" urbane.

Le concentrazioni annuali di NO_2 misurate a Borgo Milano sono pressoché costanti nel periodo 2012-2015 e inferiori al limite annuale pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Presso le postazioni di traffico considerate sono sempre superiori a quelle rilevate presso la stazione fissa, e pari o superiori al limite annuale con l'eccezione di Piazza Bernardi.

Le concentrazioni di PM10 sono più omogenee dal punto di vista spaziale, in accordo con la caratteristica di inquinante prevalentemente secondario, nondimeno si segnalano le concentrazioni superiori a quelle di Borgo Milano misurate a Cadidavid e in via Vigasio.

via Ca di Cozzi

Cadidavid

via Vigasio

piazza Bernardi