

Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Comune di Affi

Via della Repubblica



Disegno dei bambini della scuola elementare don Provolo, Verona. Tema: "La qualità dell'aria in provincia di Verona".

Periodo di attuazione:

09/06/2015 – 28/07/2015 (periodo estivo)

19/12/2016 – 16/01/2017 (periodo invernale, prima parte)

30/01/2017 – 13/02/2017 (periodo invernale, seconda parte)

RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Affi

Direttore: Ing. Giancarlo Cunego

Servizio Controlli Ambientali

Dottorssa Francesca Predicatori

Dottorssa Simona De Zolt Sappadina

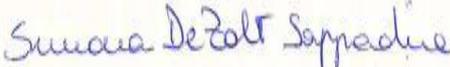
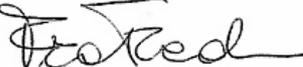
Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

Contestualizzazione meteo-climatica

Massimo Enrico Ferrario

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

Relazione tecnica n. 5/2017		Data : 06/06/2017
F.to Il Tecnico Unità Operativa Fisica dell'Ambiente Dr.ssa Simona De Zolt Sappadina 	F.to Il Dirigente Servizio Controlli Ambientali Dr.ssa Francesca Predicatori 	

INDICE

1.	Introduzione e obiettivi specifici della campagna.....	4
2.	Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione.....	4
3.	Contestualizzazione meteo climatica.....	7
3.1.	09/06/2015 – 28/07/2015 (periodo estivo).....	8
3.2.	19/12/2016 – 16/01/2017 (periodo invernale, prima parte).....	10
3.3.	30/01/2017 – 13/02/2017 (periodo invernale, seconda parte).....	12
4.	Inquinanti monitorati e normativa di riferimento.....	14
5.	Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi.....	15
6.	Efficienza di campionamento.....	16
7.	Analisi dei dati rilevati.....	18
8.	Monossido di carbonio (CO).....	19
9.	Biossido di azoto (NO ₂) – Ossidi di azoto (NO _x).....	19
10.	Biossido di zolfo (SO ₂).....	22
11.	Ozono (O ₃).....	23
12.	Polveri atmosferiche inalabili (PM10).....	24
13.	Benzene (C ₆ H ₆).....	26
14.	Benzo(a)pirene e IPA.....	27
15.	Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria).....	28
16.	Valutazione dei trend storici per il sito di interesse.....	34
17.	Conclusioni.....	37

1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna

La campagna è stata richiesta dal Comune di Affi e rientra nell'attività di monitoraggio programmata annualmente dal Dipartimento ARPAV di Verona. Il monitoraggio, che permette di fornire informazioni sulla qualità dell'aria del comune di Affi, è stato eseguito in via della Repubblica, nel parcheggio antistante il municipio. Il punto di monitoraggio si trova in una zona residenziale in cui la principale fonte di pressione è rappresentata dal traffico: 400 m a est di esso si trovano diversi centri commerciali, che costituiscono un grande attrattore di traffico; 400 m a est del punto di misura passa la strada SP9; 600 m a est termina la tangenziale SR50, che prosegue con il raccordo autostradale per la Autobrennero, che corre un chilometro a sud-est del punto di misura.

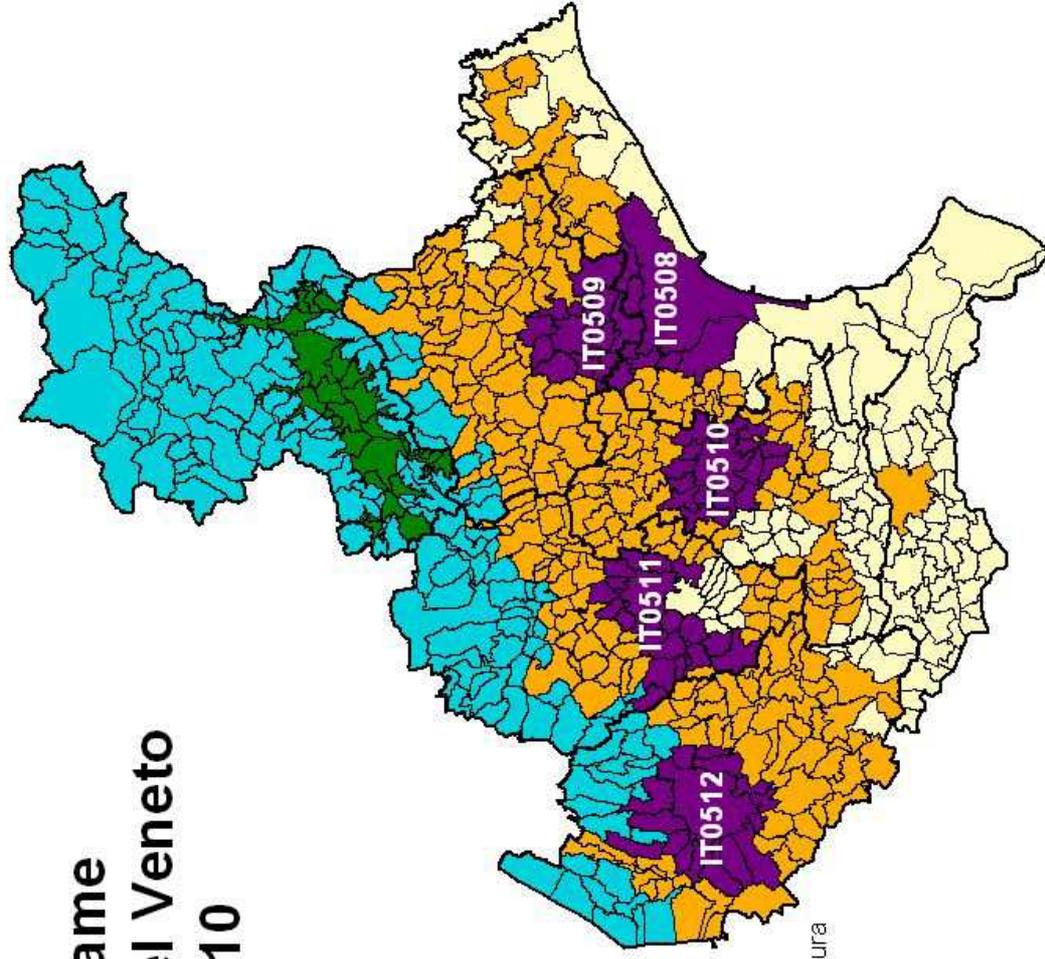
Affi è situata allo sbocco della valle dell'Adige, che si estende a nord-est del punto di misura, con asse NNE-SSW; d'altra parte, il comune si trova a circa 4 km a est del lago di Garda. La particolare posizione geografica fa sì che il punto di misura sia interessato da una circolazione forzata termicamente dagli elevati gradienti di temperatura che si vengono a creare, tra la montagna a nord e la pianura e il lago a sud-ovest. Questo fenomeno causa, specie nel periodo estivo, quando i contrasti termici sono più marcati, una brezza da NNE durante la notte e da ESE durante il giorno. In inverno, la circolazione è meno intensa, e spesso sovrastata da venti sinottici da NE, per cui spesso, anche durante il giorno, il vento proviene dalla val d'Adige. Il vento che interessa questa zona è mediamente più intenso di quello registrato dalle stazioni di pianura: questa particolare condizione meteorologica garantisce una miglior dispersione degli inquinanti.

2. Caratterizzazione del sito e tempi di realizzazione

Le campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile sono state svolte dal 09/06/2015 al 28/07/2015 nel semestre estivo, dal 19/12/2016 al 16/01/2017 e dal 30/01/2017 al 13/02/2017 nel semestre invernale. L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Affi ed è di tipologia "fondo urbano". Il comune di Affi ricade nella zona "Pianura e Capoluogo bassa pianura", ai sensi della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 2130/2012 e rappresentata in figura 1.

In figura 2 è indicata la posizione del mezzo mobile durante le campagne di monitoraggio.

Progetto di riesame della zonizzazione del Veneto D. Lgs. 155/2010



Legenda:

Zonizzazione

- IT0508 Agglomerato Venezia
- IT0509 Agglomerato Treviso
- IT0510 Agglomerato Padova
- IT0511 Agglomerato Vicenza
- IT0512 Agglomerato Verona
- IT0513 Pianura e Capoluogo bassa pianura
- IT0514 Bassa pianura e colli
- IT0515 Prealpi e Alpi
- IT0516 Valbelluna
- Confini Provinciali
- Confini Comunali



Scala 1: 1.200.000

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

**Posizione stazione rilocabile
Via della Repubblica, Affi, VR**

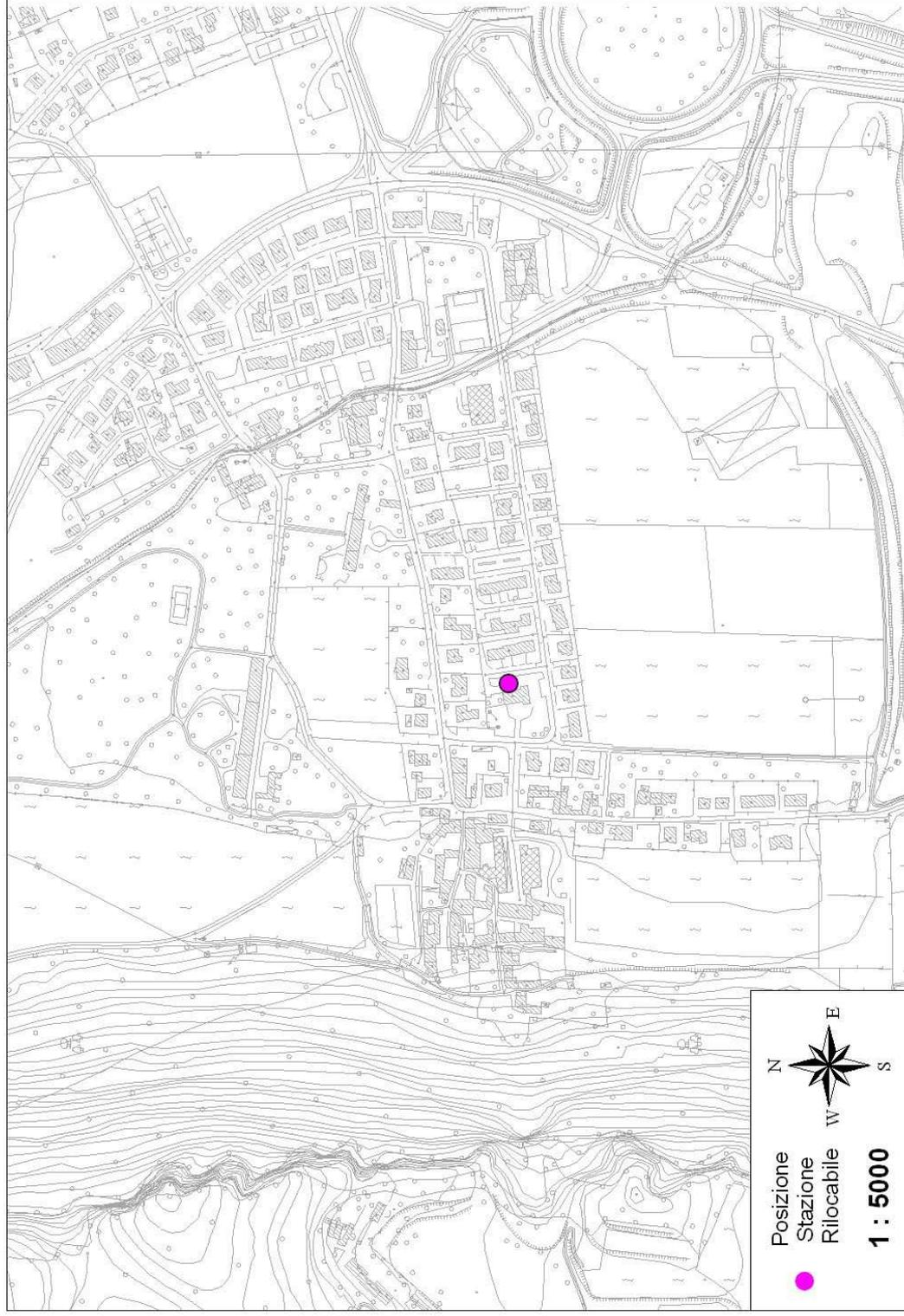


Figura 2. Estratto della Carta Tecnica Regionale, scala 1:5000. Ubicazione del punto sottoposto a monitoraggio e delle principali fonti di pressione.

3. Contestualizzazione meteo climatica.

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

- in rosso (precipitazione giornaliera inferiore a 1 mm e intensità media del vento minore di 1.5 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 1.5 m/s e 3 m/s): situazioni debolmente dispersive;
- in verde (precipitazione giornaliera superiore a 6 mm e intensità media del vento maggiore di 3 m/s): situazioni molto favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

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

Per la descrizione della situazione meteorologica è stata utilizzata la stazione ARPAV 188 - Bardolino-Calmasio (VR), che è dotata di anemometro a 10 m e dista dal sito della campagna di misura circa 5 km. Tale stazione può essere considerata rappresentativa per le precipitazioni e l'intensità del vento, mentre potrebbe essere non del tutto significativa per la direzione del vento, in quanto il sito della stazione e quello della campagna di misura si trovano in un'area caratterizzata dalla presenza di rilievi orografici che potrebbero schermare il vento o determinarne un differente incanalamento.

3.1. 09/06/2015 – 28/07/2015 (periodo estivo)

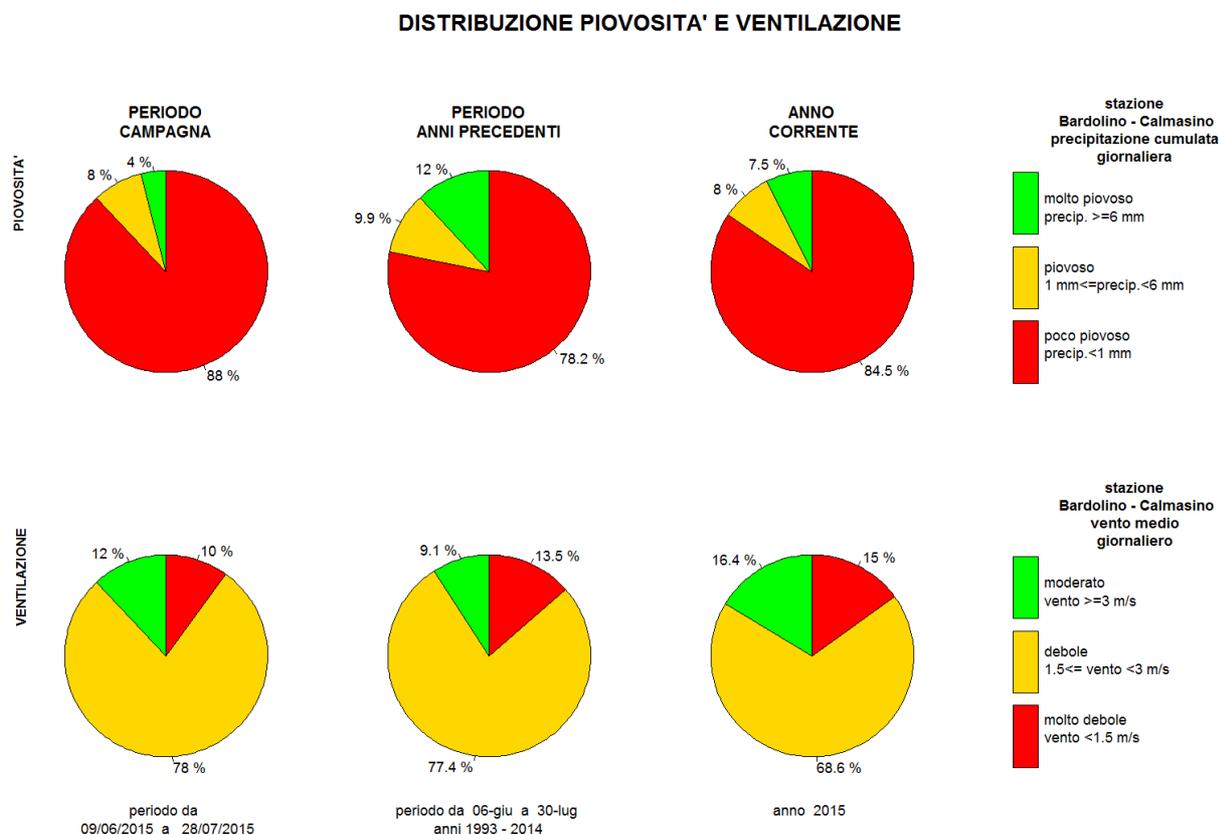


Figura 3: diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadecale corrispondente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

Nella figura 3 si mettono a confronto le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione meteorologica ARPAV di Bardolino - Calmasino in tre periodi:

- 9 giugno - 28 luglio 2015, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 6 giugno - 30 luglio dall'anno 1993 all'anno 2014 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 1 gennaio - 31 dicembre 2015 (ANNO CORRENTE).

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

- i giorni poco piovosi sono stati un po' più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento, con uno scarto maggiore rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti;
- la distribuzione dei giorni in relazione alla ventosità è stata simile a quella dello stesso periodo degli anni precedenti; mentre i giorni con vento debole (situazione intermedia di condizioni debolmente dispersive) sono più frequenti rispetto all'anno corrente.

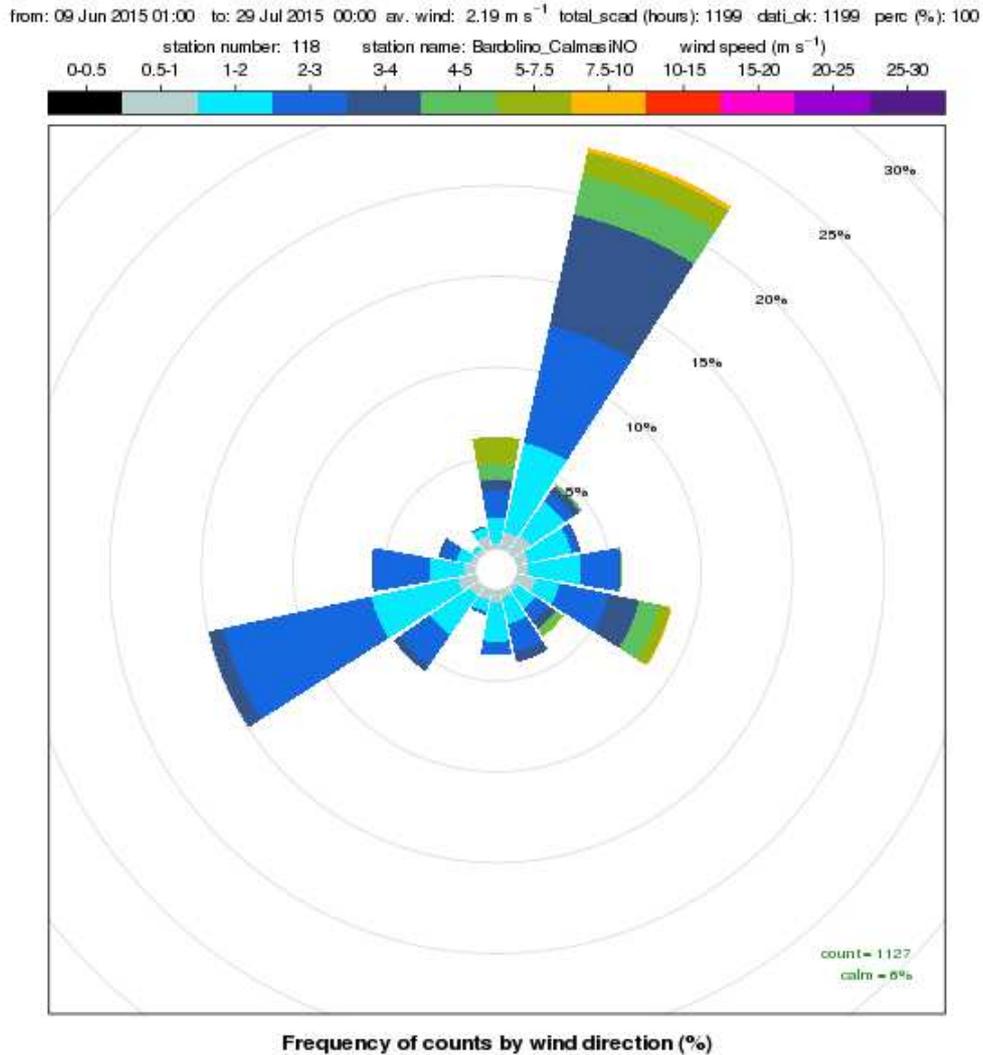


Figura 4: rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Bardolino nel periodo 9 giugno - 28 luglio 2015

In figura 4 si riporta la rosa dei venti registrati presso la stazione di Bardolino durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento è nord-nordest (circa 23% dei casi) seguita da ovest-sudovest (circa 15%) e est-sudest (circa 9%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa il 6%; la velocità media è stata pari a circa 2.2 m/s. Si sottolinea il fatto che la rosa dei venti evidenzia un regime fortemente influenzato dall'orografia circostante e che tale regime potrebbe risultare almeno in parte differente da quello verificatosi nel sito della campagna di misura.

3.2. 19/12/2016 – 16/01/2017 (periodo invernale, prima parte)

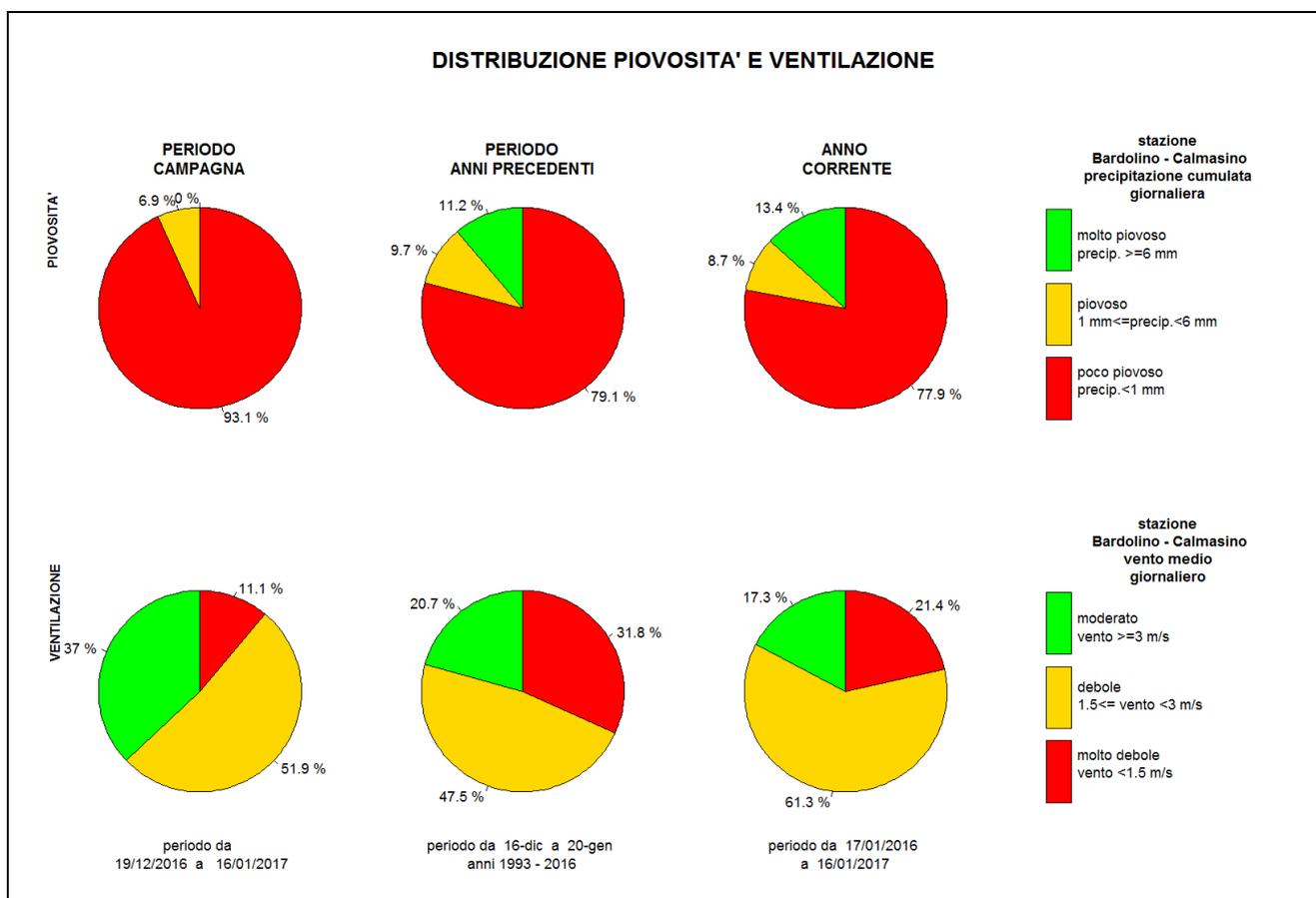


Figura 5: diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadale corrispondente degli anni precedenti (PERIODO ANNI PRECEDENTI) e durante l'intero anno in corso (ANNO CORRENTE).

Nella figura 5 si mettono a confronto le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione meteorologica ARPAV di Bardolino - Calmasino in tre periodi:

- 19 dicembre 2016 - 16 gennaio 2017, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 16 dicembre - 20 gennaio dall'anno 1993 all'anno 2016 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 17 gennaio 2016 - 16 gennaio 2017 (ANNO CORRENTE).

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

- i giorni poco piovosi sono stati più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento, e quelli molto piovosi sono del tutto assenti;
- le giornate con vento moderato sono ben più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento.

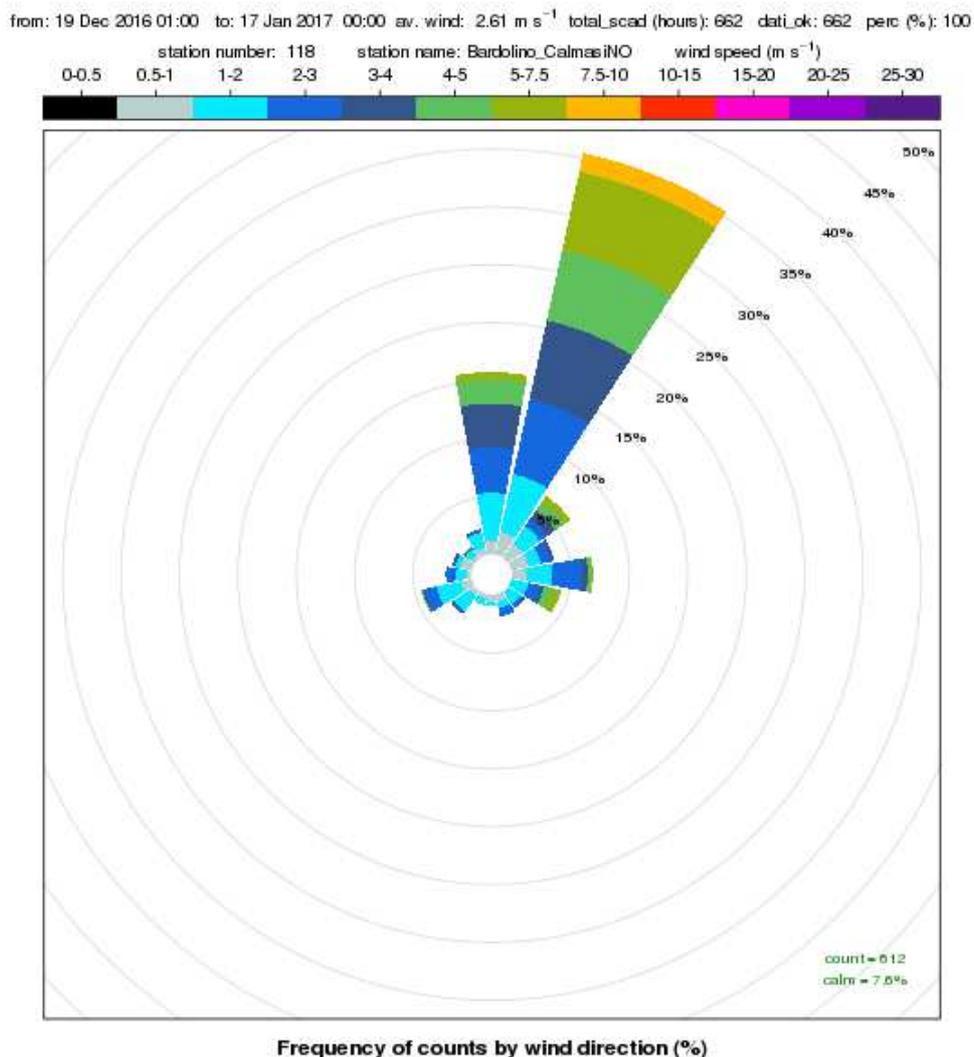


Figura 6: rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Bardolino nel periodo 19 dicembre 2016 - 16 gennaio 2017

In figura 6 si riporta la rosa dei venti registrati presso la stazione di Bardolino durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento è nord-nordest (circa 36% dei casi) seguita da nord (circa 16%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 8%; la velocità media è stata pari a circa 2.6 m/s. Si sottolinea il fatto che la rosa dei venti evidenzia un regime fortemente influenzato dall'orografia circostante e che tale regime potrebbe risultare almeno in parte differente da quello verificatosi nel sito della campagna di misura.

3.3. 30/01/2017 – 13/02/2017 (periodo invernale, seconda parte)

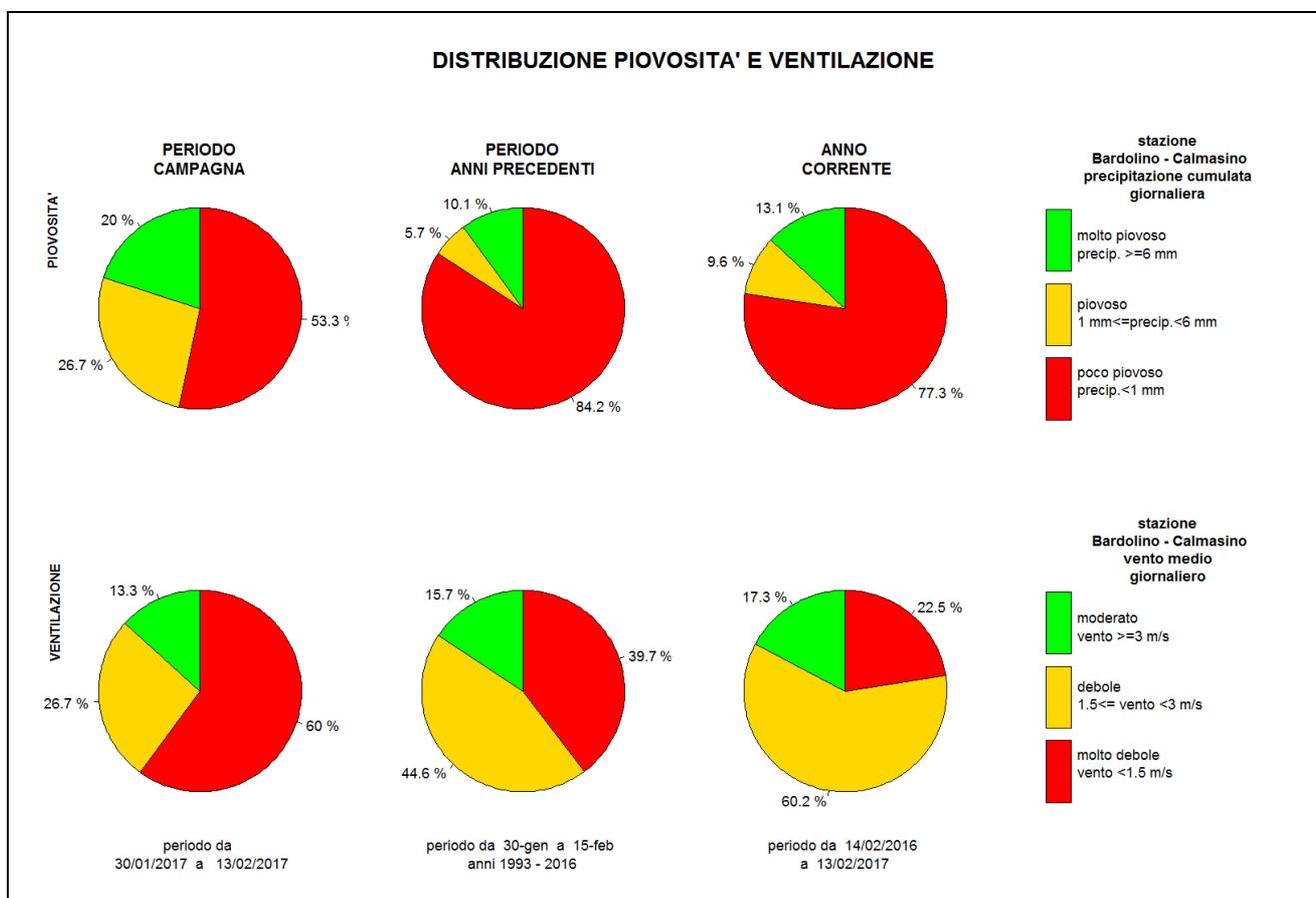


Figura 7: diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadale corrispondente degli anni precedenti (PERIODO ANNI PRECEDENTI) e durante l'intero anno in corso (ANNO CORRENTE).

Nella figura 7 si mettono a confronto le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione meteorologica ARPAV di Bardolino - Calmasino in tre periodi:

- 30 gennaio - 13 febbraio 2017, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 20 gennaio - 15 febbraio dall'anno 1993 all'anno 2016 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 14 febbraio 2016 - 13 febbraio 2017 (ANNO CORRENTE).

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

- i giorni molto piovosi sono stati più frequenti e quelli poco piovosi ben meno frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento;
- i giorni con vento molto debole sono stati ben più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento, con uno scarto maggiore rispetto all'anno corrente.

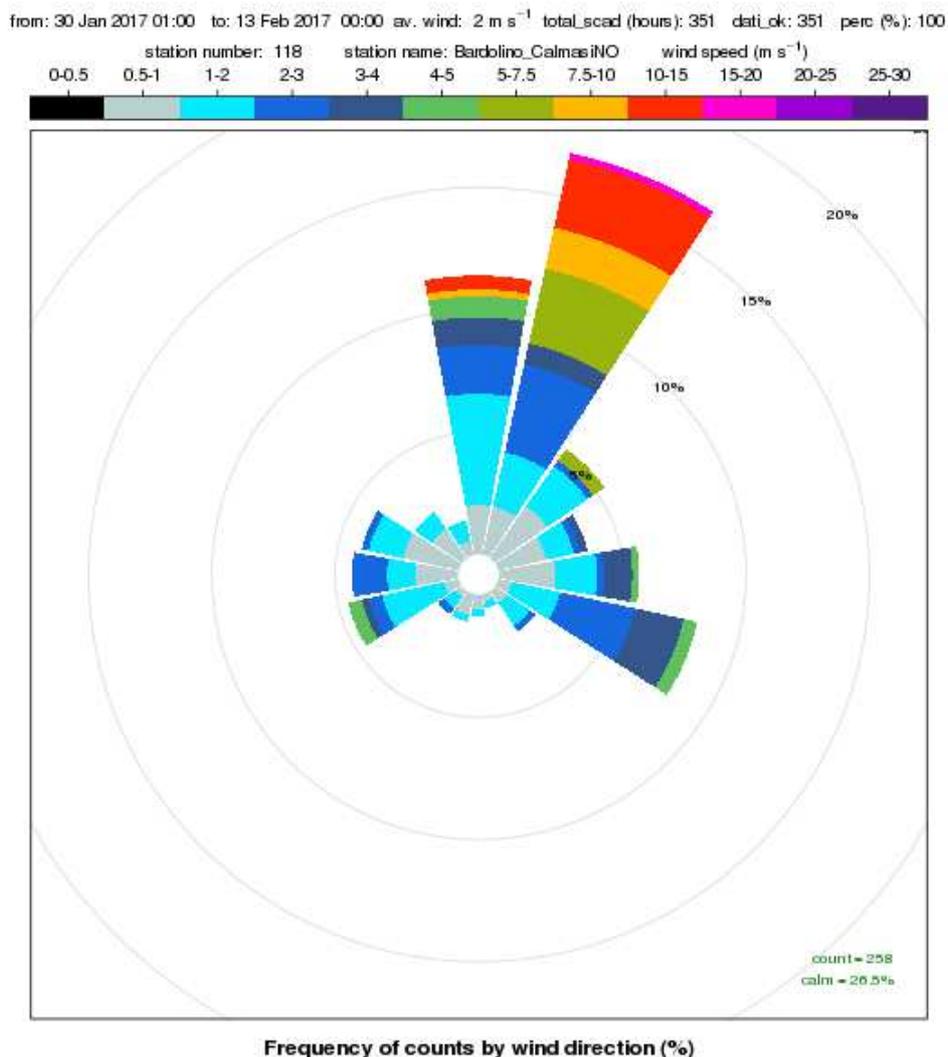


Figura 8: rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Bardolino nel periodo 30 gennaio - 13 febbraio 2017

In figura 8 si riporta la rosa dei venti registrati presso la stazione di Bardolino durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento è nord-nordest (circa 17% dei casi) seguita da nord (circa 11%) e est-sudest (circa 8%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 26.5%; la velocità media è stata pari a circa 2 m/s. Si sottolinea il fatto che la rosa dei venti evidenzia un regime fortemente influenzato dall'orografia circostante e che tale regime potrebbe risultare almeno in parte differente da quello verificatosi nel sito della campagna di misura.

4. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento

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

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

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

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

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

Nelle Tabelle 1 e 2 si riportano, per ciascun inquinante, i limiti di legge previsti dal D.Lgs. 155/2010, suddivisi in limiti di legge a mediazione di breve periodo, relativi all'esposizione acuta della popolazione, e limiti di legge a mediazione di lungo periodo, relativi all'esposizione cronica della popolazione. In Tabella 3 sono indicati i limiti di legge stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione degli ecosistemi.

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

Tabella 1. Limiti di legge relativi all'esposizione acuta

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

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

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

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

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

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 per il PM10 ("metodo UNI EN 12341:1999") e cromatografia liquida ad alta prestazione per gli IPA (HPLC "metodo UNI EN 15549:2008").

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 51 giorni/anno); in particolare le misurazioni possono essere uniformemente distribuite nell'arco dell'anno civile o, in alternativa, effettuate per otto settimane equamente distribuite nell'arco dell'anno. Nella pratica, le otto settimane di misura nell'arco dell'anno possono essere organizzate con rilievi svolti in due periodi di quattro settimane consecutive ciascuno, tipicamente nel semestre invernale (1ottobre-31marzo) e in quello estivo (1aprile-30 settembre), caratterizzati da una diversa prevalenza delle condizioni di rimescolamento dell'atmosfera.

Per l'ozono, nelle misurazioni indicative, il periodo minimo di copertura necessario per raggiungere gli obiettivi per la qualità dei dati deve essere maggiore del 10% durante l'estate (pari a 36 giorni/anno) con una resa minima del 90%.

Anche per il PM10 misurato con metodo gravimetrico, gli IPA, e il benzene la percentuale per le misurazioni indicative è pari al 14% (51 giorni), con una resa minima del 90%; è comunque possibile applicare un periodo di copertura più basso, ma non inferiore al 6% (22 giorni), purché si dimostri che l'incertezza estesa nel calcolo della media annuale sia rispettata.

Il numero di giorni dell'anno in cui è stato effettuato il campionamento e la resa di campionamento per i vari inquinanti sono riportati in tabella 4. Si vede che il periodo di campionamento con dati validi è stato superiore al minimo richiesto.

	CO	NO ₂	NOx	O ₃ estate	SO ₂	PM10	metalli	Benzo(a) pirene	Benzene
N giorni di campionamento	91	91	91	49	91	74	11	63	76
N <u>minimo</u> di giorni di campionamento	51	51	51	36	51	51		da 22 a 51	da 22 a 51
Resa di campionamento (%)	95	97	92	88	97	100	100	100	100
Resa di campionamento <u>minima</u> (%)	90	90	90	90	90	90		90	90
N giorni di campionamento con dati validi	86	88	84	43	88	74	11	63	76
N <u>minimo</u> di giorni di campionamento con dati validi	46	46	46	32	46	46		20	20

Tabella 4. Numero di giorni in cui è stata eseguita la misurazione dei vari inquinanti e resa di campionamento: valori relativi alle campagne di misura e valori minimi necessari.

7. Analisi dei dati rilevati

In questo capitolo vengono analizzati i risultati delle analisi della concentrazione dei vari inquinanti, misurata durante le campagne di monitoraggio. Ove possibile, è stato realizzato un confronto con i corrispondenti valori rilevati presso due centraline fisse di riferimento: la stazione di Legnago e quella di San Bonifacio, della provincia di Verona. La prima, essendo situata lontano da fonti emmissive dirette come strade e industrie, è un punto di campionamento rappresentativo di un'area in cui l'inquinamento è determinato prevalentemente dal trasporto delle emissioni dall'area urbana al di fuori di essa, e si definisce stazione di fondo urbano. La centralina di San Bonifacio, 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 a Affi. I parametri sono descritti in modo esteso in tabella 5.

Per rappresentare graficamente i risultati delle analisi sono stati utilizzati anche dei grafici tipo box-whisker, che sono spiegati in dettaglio nella figura 22 in Allegato.

Grandezza statistica	Significato
N	Numero totale di ore del periodo di analisi
dati mancanti	Numero di ore in cui il dato è mancante
data.capture	Percentuale di dati validi in tutto il periodo di analisi
media	Media
sd	Deviazione Standard
min	Minimo
max	Massimo
mediana	Mediana
max giornaliero	Massimo calcolato sulle medie giornaliere
N superamenti limite	Numero di superamenti di un certo limite

Tabella 5, esplicitiva del significato dei principali parametri statistici calcolati e riportati nella presente relazione.

8. Monossido di carbonio (CO)

La tabella 6 e il grafico 1 in Allegato mostrano che durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di monossido di carbonio è sempre stata ampiamente inferiore al valore limite di 10 mg/m³ (applicato alla media mobile di 8 ore), in linea con quanto si rileva presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona. In entrambe le stagioni, i valori medi sono stati vicini al limite di rivelabilità dello strumento, pari a 0,1 mg/m³.

CO (mg/m ³)	ESTATE	INVERNO	ESTATE+ INVERNO
media	0.1	0.4	0.3
sd	0.1	0.3	
min	≤0.1	≤0.1	≤0.1
max	0.4	1.5	1.5
mediana	0.1	0.3	
N	1173	1008	2181
dati mancanti	56	47	103
data.capture (%)	95	95	95
max giornaliero	0.3	0.9	0.9
max.rolling.8	0.4	1.4	
95°percentile	0.2	0.9	
99°percentile	0.3	1.3	
N superamenti 10 mg/m ³	0	0	0

Tabella 6. Concentrazione di CO: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura ad Affi. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m³.

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

Come si può vedere in tabella 7 e figura 9, durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di biossido di azoto non ha superato il valore limite orario relativo all'esposizione acuta di 200 µg/m³. Nello stesso periodo, anche nelle stazioni di riferimento di San Bonifacio e Legnago non sono stati rilevati dei superamenti. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è pari a 24 µg/m³, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³. Il valore medio di NO_x, pari a 37 µg/m³ (tabella 8) supera il limite annuale per la protezione della vegetazione di 30 µg/m³ (tuttavia il confronto con il valore limite di protezione degli ecosistemi rappresenta un riferimento puramente indicativo, in quanto il sito indagato non risponde esattamente alle caratteristiche previste dal D.Lgs. 155/10¹). I valori medi riferiti alla postazione di Affi sono inferiori rispetto ai corrispondenti relativi a San Bonifacio e molto vicini a quelli di Legnago, in entrambe le stagioni. I valori massimi sono inferiori a quelli di entrambe le stazioni di riferimento.

Il valore medio di concentrazione di NO₂ relativo al periodo invernale è superiore a quello del periodo estivo, ad Affi come anche presso le centraline di riferimento. Questo è in accordo con quanto in genere ci si attende, in quanto le condizioni meteorologiche tipiche invernali sono più favorevoli al ristagno degli inquinanti.

Nel grafico 9 in Allegato, è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO₂, calcolato per i due periodi di campagna. In entrambe le stagioni sono evidenti due picchi, al mattino e alla sera, in corrispondenza delle ore di maggiore traffico, in tutte le tre postazioni di misura. Tuttavia i picchi

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.

sono più pronunciati nella stazione di traffico di San Bonifacio rispetto alle altre due postazioni. Questo tipo di analisi indica che i valori relativi ad Affi sono molto vicini a quelli di Legnago.

Analoghe rappresentazioni, relative alla settimana tipo, sono riportate in Grafico 10 in Allegato e mostrano che la giornata in cui la concentrazione di NO₂ è maggiore è il mercoledì in inverno e il giovedì d'estate. I valori più bassi si trovano il sabato e la domenica. Un comportamento simile si trova anche nelle stazioni di riferimento. Anche questi grafici confermano che il punto di misura di Affi mostra le caratteristiche di un sito di "fondo urbano" come Legnago.

NO ₂ (µg/m ³)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago
media	13	22	14	37	57	38	24	41	27
sd	7	17	11	17	24	18			
min	≤4	≤4	≤4	≤4	6	≤4	≤4	≤4	≤4
max	54	96	72	83	149	116	83	149	116
mediana	12	17	11	37	56	40			
N	1173	1173	1173	1008	1345	1345	2181	2518	2518
dati mancanti	56	78	50	5	84	4	61	162	54
data.capture	95	93	96	100	94	100	97	94	98
max giornaliero	21	44	29	55	84	60	55	84	60
95°percentile	28	57	37	63	98	67			
99°percentile	39	72	47	74	124	83			
N superamenti 200 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N superamenti 400 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 7. Concentrazione di NO₂: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di San Bonifacio e della centralina di fondo urbano di Legnago. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m³.

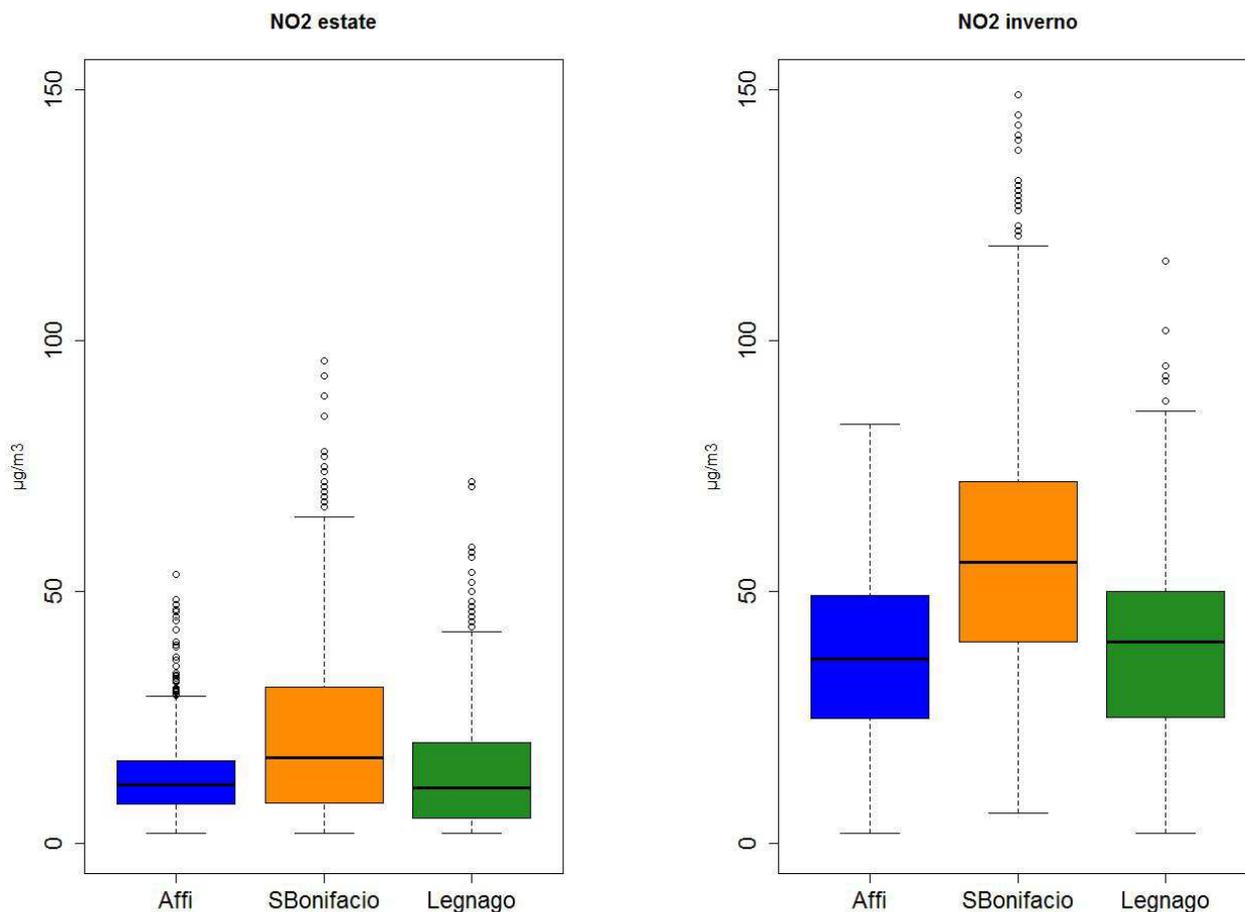


Figura 9. Box-plot della concentrazione di NO₂. Dati relativi a Affi e alle due centraline di riferimento di San Bonifacio e Legnago. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernale (pannello a destra).

NO _x (µg/m ³)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago
media	13	24	21	65	144	84	37	88	54
sd	10	21	13	49	122	61			
min	≤4	≤4	≤4	5	6	4	≤4	≤4	≤4
max	233	169	82	272	800	498	272	800	498
mediana	11	18	18	51	108	70			
N	1173	1173	1173	1008	1345	1345	2181	2518	2518
dati mancanti	56	78	50	5	84	4	61	162	54
data.capture	95	93	96	100	94	100	97	94	98
max giornaliero	27	48	33	200	404	222	200	404	222
95°percentile	28	63	45	177	393	199			
99°percentile	38	105	59	218	552	286			

Tabella 8. Concentrazione di NO_x: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di San Bonifacio e della centralina di fondo urbano di Legnago. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m³.

10. Biossido di zolfo (SO₂)

Durante le due campagne di monitoraggio, la concentrazione di biossido di zolfo è stata ampiamente inferiore ai valori limite di 350 µg/m³ e 500 µg/m³ (Tabella 9 e Allegato – Grafico 3), come tipicamente accade presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona.

I valori medi misurati nei due periodi di campagna sono vicini al limite di rivelabilità strumentale analitica (3 µg/m³), quindi ampiamente inferiori al limite per la protezione degli ecosistemi (20 µg/m³). Anche presso la centralina di riferimento di San Bonifacio, i valori medi di concentrazione di questo inquinante, nel periodo di campagna, sono vicini al limite di rivelabilità. Per quanto riguarda invece i valori massimi, essi sono inferiori a quelli di San Bonifacio in entrambe le stagioni.

SO ₂ (µg/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Affi	SBonifacio	Affi	SBonifacio	Affi	SBonifacio
media	≤3	≤3	≤3	3	≤3	3
sd	2	2	0	3		
min	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
max	10	14	10	18	10	18
mediana	≤3	≤3	≤3	≤3		
N	1173	1173	1008	1345	2181	2518
dati mancanti	206	90	47	81	253	171
data.capture	82	92	95	94	88	93
max giornaliero	4	8	≤3	9	4	9
95°percentile	6	7	≤3	9		
99°percentile	8	11	≤3	12		
N superamenti 350 µg/m ³	0	0	0	0	0	0
N superamenti 125 µg/m ³	0	0	0	0	0	0

Tabella 9. Concentrazione di SO₂: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina fissa di traffico urbano di San Bonifacio. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 3 µg/m³.

11. Ozono (O₃)

L'ozono è un inquinante che si forma a partire da precursori quali ossidi di azoto e composti organici volatili, in presenza di radiazione solare. Per questo motivo le sue concentrazioni sono particolarmente elevate durante il periodo estivo e nelle ore centrali della giornata, quando la radiazione solare è più intensa (grafico 11 in Allegato).

Durante la campagna estiva di Affi sono stati registrati 31 superamenti del limite di 120 µg/m³ sulla media mobile di 8 ore (tabella 10 e grafico 5 in Allegato). Essi si sono verificati prevalentemente tra il 2 e il 7 luglio e tra il 16 e il 24 luglio, in corrispondenza di giornate soleggiate in cui le temperature si sono alzate (vedasi grafico 12 in Allegato). I superamenti della soglia di informazione di 180 µg/m³ sul dato orario (grafico 4 in Allegato) sono stati 38. I valori medi e massimi, sono superiori ai corrispondenti valori relativi a Legnago, e il numero dei superamenti della soglia di informazione è decisamente più elevato rispetto alla centralina fissa di riferimento.

O ₃ (µg/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Affi	Legnago	Affi	Legnago	Affi	Legnago
media	108	95	23	19	69	54
sd	38	39	21	19		
min	24	10	≤4	≤4	≤4	≤4
max	220	206	82	78	220	206
mediana	103	91	15	8		
N	1173	1173	1008	1345	2181	2518
dati mancanti	99	70	67	29	166	99
data.capture	92	94	93	98	92	96
max giornaliero	143	127	61	50	143	127
max.rolling.8	185	177	73	69		
95°percentile	176	163	67	57		
99°percentile	191	175	75	69		
N superamenti 120 µg/m ³ sulla media mobile di 8h	31	31	0	0	31	31
N superamenti 180 µg/m ³	38	4	0	0	38	4
N superamenti 240 µg/m ³	0	0	0	0	0	0

Tabella 10. Concentrazione di O₃: principali parametri statistici. Dati della campagna di misura e della centralina di fondo urbano di Legnago. Il limite di rivelabilità dello strumento è 4 µg/m³.

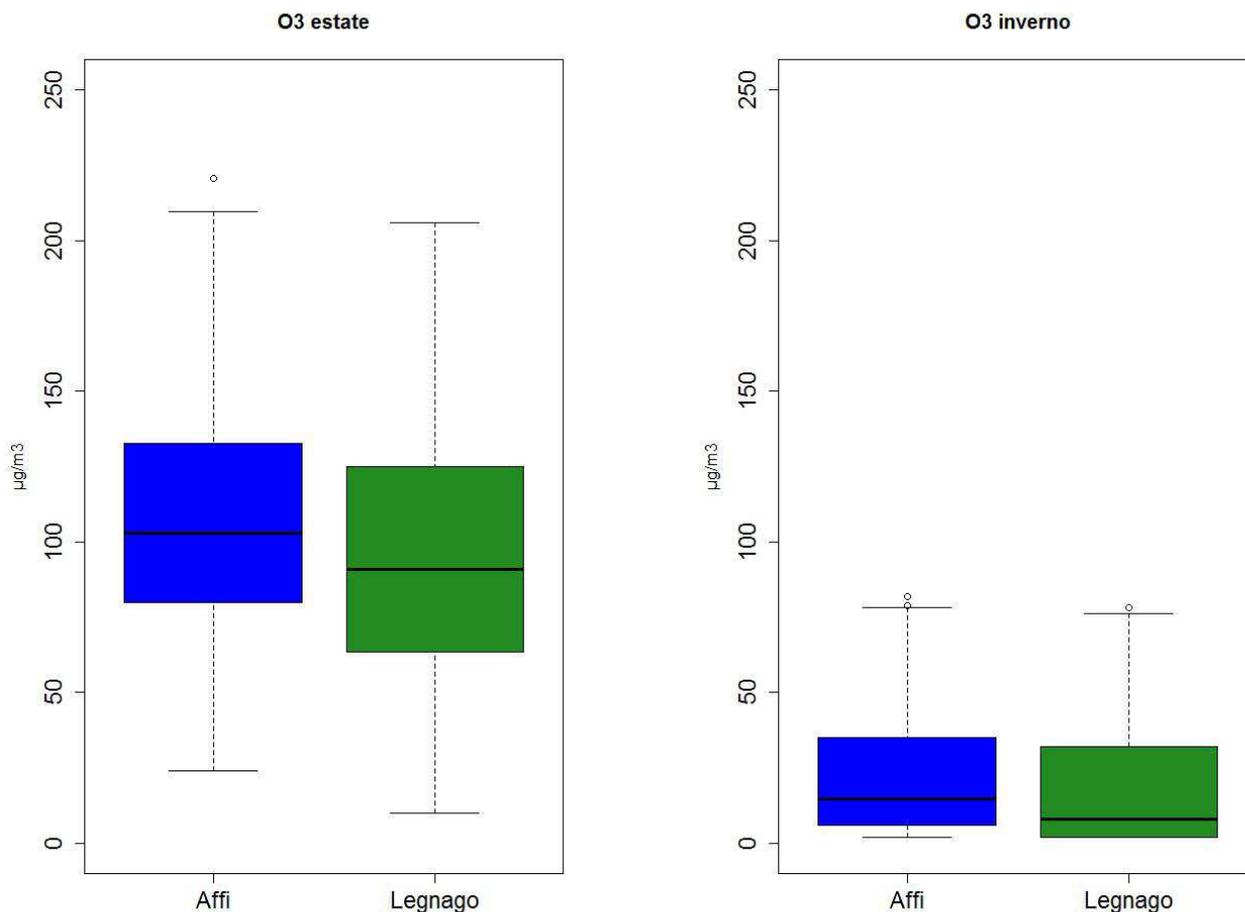


Figura 10. Box-plot della concentrazione di O₃. Dati relativi a Affi e alla centralina di riferimento di Legnago. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernale (pannello a destra).

12. Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

Le polveri sottili sono un inquinante ubiquitario nelle zone a intensa attività umana, essendo per buona parte di natura secondaria e avendo lunghi tempi di permanenza in atmosfera: la loro distribuzione è quindi abbastanza uniforme su vaste aree.

In tabella 11, sono riportate le statistiche relative alle concentrazioni di PM10, misurate con metodo gravimetrico ad Affi durante le campagne di misura. Nei 74 giorni di misurazione, sono stati registrati 5 superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m³ (che non deve essere superato più di 35 volte all'anno), corrispondenti al 7% del periodo monitorato. Tali superamenti sono avvenuti durante la campagna invernale, l'11 e il 13 gennaio, e tra il 31 gennaio e il 2 febbraio 2017, in corrispondenza di periodi di inversione termica, con tempo stabile e fresco e debole ventilazione (grafico 12 in Allegato).

In tabella 12, i dati relativi ad Affi sono stati confrontati con quelli delle due centraline di riferimento di San Bonifacio e Legnago. Si consideri che mentre le misure della campagna di Affi 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: i dati relativi ad Affi, usati per produrre questa tabella, sono quindi di meno rispetto a quelli utilizzati per le statistiche di tabella 11, e questo spiega le leggere discrepanze. Le statistiche relative ai dati sono rappresentate graficamente in figura 11. I valori medi e massimi di concentrazione di PM10 sono più bassi ad Affi rispetto alle centraline di riferimento, in entrambe le stagioni, ma in modo più

evidente in inverno. Nei giorni in cui sono disponibili dati per tutte e tre le postazioni, ad Affi sono avvenuti 4 superamenti, contro i 19 di San Bonifacio e i 16 di Legnago.

Allo scopo di valutare il rispetto dei valori limite di legge previsti dal D.Lgs. 155/10 per il parametro PM10 (ovvero il rispetto del Valore Limite sulle 24 ore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e del Valore Limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nei siti presso i quali si realizza una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria di lunghezza limitata (misurazioni indicative), è stata utilizzata una metodologia di calcolo elaborata dall'Osservatorio Regionale Aria di ARPAV.

Tale metodologia prevede di confrontare il "sito sporadico" (campagna di monitoraggio) con una stazione fissa, considerata rappresentativa per vicinanza o per stessa tipologia di emissioni e di condizioni meteorologiche. Sulla base di considerazioni statistiche è possibile così stimare, per il sito sporadico, il valore medio annuale e il 90° percentile delle concentrazioni di PM10; quest'ultimo parametro statistico è rilevante in quanto corrisponde, in una distribuzione di 365 valori, al 36° valore massimo. Poiché per il PM10 sono consentiti 35 superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in una serie annuale di 365 valori giornalieri, il rispetto del valore limite è garantito se il 36° valore in ordine di grandezza è minore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In base ai risultati dell'analisi dei dati, il sito di Affi è stato confrontato con la stazione fissa di riferimento di traffico urbano di Legnago. La metodologia di calcolo stima, per il sito sporadico di Affi, il valore medio annuale di $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (inferiore al valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e il 90° percentile di $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (inferiore al valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE	INVERNO	ESTATE + INVERNO
media	22	41	31
N giorni	38	36	74
sd	7	32	
max	36	162	162
min	9	6	6
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	5	5

Tabella 11. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), misurata con metodo gravimetrico ad Affi. Sono stati utilizzati tutti i dati raccolti nei due periodi di campagna di misura.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago
media	23	34	24	38	54	52	30	44	38
N giorni	34	34	34	34	34	34	68	68	68
sd	7	8	11	24	27	26			
max	34	53	54	122	118	141	122	118	141
min	9	24	4	6	12	14	6	12	4
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	2	1	4	17	15	4	19	16

Tabella 12. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di PM10: dati della campagna di misura, della centralina fissa di traffico urbano di San Bonifacio e della centralina fissa di fondo urbano di Legnago. Per il calcolo, sono stati considerati solo i giorni in cui il dato era disponibile per tutte e tre le postazioni. Il limite di rivelabilità dello strumento è $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

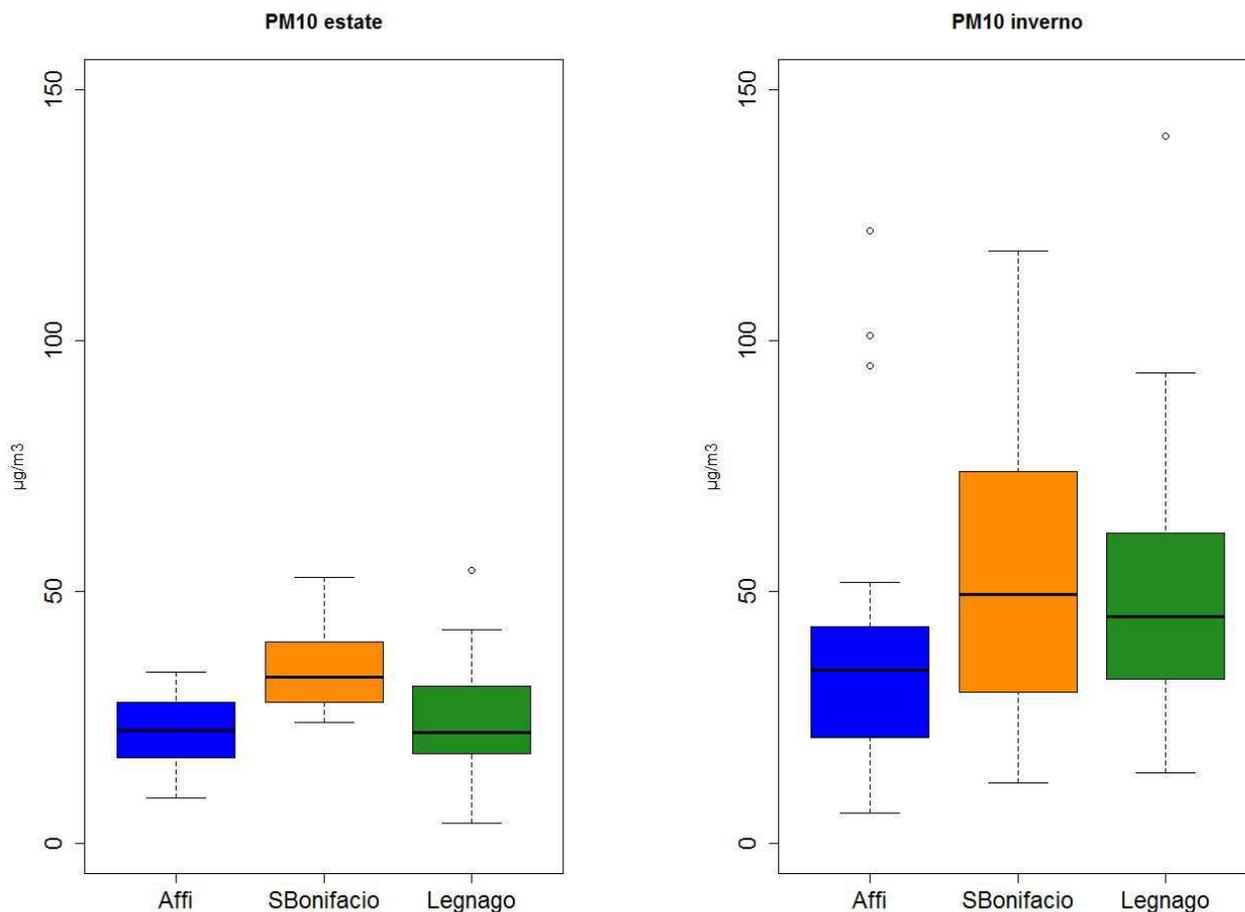


Figura 11. Box-plot della concentrazione di PM₁₀. Dati relativi a Affi e alle centraline di riferimento di San Bonifacio e Legnago. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernale (pannello a destra).

13. Benzene (C₆H₆)

In tabella 13 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene misurata con campionatori passivi nei due periodi di campagna ad Affi e nelle stazioni fisse di riferimento di San Bonifacio e Legnago. Il confronto è indicativo, in quanto questo tipo di misura comporta l'esposizione di un radiello per circa 15-20 giorni, e i periodi di esposizione dei radielli delle tre postazioni non coincidono esattamente. I dati utilizzati per elaborare le statistiche in tabella sono rappresentati graficamente in Allegato–Grafico 7. In tabella 13, si può vedere che in estate, in tutte le postazioni, i valori medi delle concentrazioni di benzene sono inferiori alla soglia di rivelabilità strumentale. In inverno, il valore medio calcolato per Affi è inferiore a quelli relativi a San Bonifacio e Legnago. Il valore misurato nel periodo di campagna presso le centraline di riferimento (San Bonifacio e Legnago) è superiore alla media annuale relativa alle stesse postazioni, alla quale è riferito il limite normativo di 5 µg/m³ (vedasi capitolo 9): tuttavia, in base ai dati annuali, nel 2016 il limite è stato ampiamente rispettato (vedasi Cap 9). Il confronto tra i dati dei diversi siti di misura indica che è probabile che anche nel sito di Affi il limite annuale possa essere stato rispettato.

In tabella 14 sono riportati i valori medi di tutti gli idrocarburi aromatici misurati (benzene, etilbenzene, xilene e toluene) nelle diverse postazioni di misura e nei due periodi di campagna: si vede che per gli idrocarburi diversi dal benzene, i valori di Affi sono vicini a quelli di Legnago e inferiori a quelli di San Bonifacio; L'unica eccezione è rappresentata dallo xilene, che in estate è più elevato ad Affi, e comunque presenta valori molto vicini a quelli delle centraline.

benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE			INVERNO			ESTATE + INVERNO		
	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago	Affi	SBonifacio	Legnago
Media	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	1.8	2.6	2.2	1.1	1.5	1.4
N giorni	34	36	35	42	43	44	76	79	79
sd	0	0	0	0.6	0.8	0.5			
max	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	2.3	3.6	2.7	2.3	3.6	2.7
min	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	1.2	2.1	1.7	1.2	2.1	1.7

Tabella 13. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene: dati della campagna di misura di Affi, della centralina fissa di traffico urbano di San Bonifacio e della centralina fissa di fondo urbano di Legnago. I dati delle quattro postazioni non si riferiscono esattamente agli stessi giorni di campionamento, pertanto il confronto è solamente indicativo. Il limite di rivelabilità dello strumento è $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE					INVERNO				
	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	N	Benzene	Etilbenzene	Toluene	Xilene (o+m+p)	N
Affi	0.3	0.3	1.4	1.3	34	1.8	0.3	3.1	3.4	42
SBonifacio	0.3	0.4	3.9	1.1	36	2.6	1.2	9.4	6.3	43
Legnago	0.3	0.3	0.9	0.8	35	2.2	0.7	5.2	3.8	44

Tabella 14. Concentrazione media delle varie specie di idrocarburi aromatici nelle diverse postazioni di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura per tutti gli inquinanti è $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. N indica il numero di giorni di esposizione.

14. Benzo(a)pirene e IPA

In tabella 15 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzo(a)pirene per le postazioni di Affi e di altre centraline fisse di riferimento. Le concentrazioni di IPA misurate nella campagna di monitoraggio sono state confrontate con quelle misurate dalla stazione di fondo urbano di Verona, nonostante quest'ultima sia la stazione di riferimento di una zona diversa rispetto a quella di appartenenza del comune di Affi ("agglomerato Verona" rispetto a "Pianura e capoluogo bassa pianura"). Si tratta infatti della stazione fissa più vicina al sito di monitoraggio in cui vengono rilevati gli IPA. Nel 2015 la stazione di fondo urbano di Verona si trovava in località Cason del Chievo, a partire dal 1 gennaio 2016 è stata rilocata in via Belluno presso il Parco dell'Adige Sud (località Giarol).

I parametri di tabella 15 sono stati calcolati a partire dai soli dati relativi a giorni in cui sono disponibili misure per entrambe le località. Invece, in tabella 16, gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando tutti i dati disponibili per Affi, per tutte le specie di IPA misurate. Tutti i dati sono visibili nella serie temporale rappresentata nel Grafico 8 in Allegato.

I dati delle tabelle e le serie temporali del Grafico 8 in allegato mostrano che, mentre in estate la concentrazione media giornaliera è inferiore al limite di rivelabilità strumentale, in inverno i valori sono più alti, e superano sempre il limite normativo di $1 \text{ ng}/\text{m}^3$, che però si riferisce a una media annuale. Il valore medio calcolato per Affi, considerando tutti i dati disponibili nelle campagne di misura, è $1.03 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Il comportamento di questo inquinante esibisce una forte stagionalità, assumendo valori elevati in inverno. Le concentrazioni misurate ad Affi durante la campagna invernale mostrano un valore medio superiore a quello di VR-Giarol, dove d'altra parte ci sono però singoli picchi più elevati.

Benzoapirene (ng/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Affi	VR-Cason	Affi	VR-Giarol	Affi	VR-Cason-Giarol
media	≤0.02	≤0.02	1.88	1.27	0.95	0.64
N	14	14	14	14	28	28
sd	0	0	0.31	0.87		
max	≤0.02	≤0.02	2.21	3.3	2.21	3.3
min	≤0.02	≤0.02	1.04	0.29	≤0.02	≤0.02

Tabella 15. Concentrazione di benzo(a)pirene: dati della campagna di misura ad Affi e della centralina fissa di fondo urbano di Legnago. I principali parametri statistici sono stati calcolati solo in base ai dati relativi a giorni in cui sono disponibili misure per entrambe le postazioni di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.02 ng/m³.

(ng/m ³)	ESTATE					INVERNO					ESTATE + INVERNO			
	N	media	sd	max	min	N	media	sd	max	min	N	media pesata	max	min
Benzoantracene	27	≤0.02	≤0.02	0.03	≤0.02	36	1.6	0.66	2.8	0.63	63	0.92	2.8	≤0.02
Benzoapirene	27	≤0.02	0	≤0.02	≤0.02	36	1.8	0.39	2.21	1.04	63	1.03	2.21	≤0.02
Benzobfluorantene	27	≤0.02	≤0.02	0.03	≤0.02	36	1.6	0.39	1.9	0.89	63	0.92	1.9	≤0.02
Benzoghiperilene	27	≤0.02	0	≤0.02	≤0.02	36	1.51	0.34	1.93	0.9	63	0.87	1.93	≤0.02
Benzokfluorantene	27	≤0.02	0	≤0.02	≤0.02	36	0.85	0.2	1.03	0.48	63	0.49	1.03	≤0.02
Dibenzoantracene	27	≤0.02	0	≤0.02	≤0.02	36	0.24	0.35	1.1	0.06	63	0.14	1.1	≤0.02
Indeno123cdpirene	27	≤0.02	0	≤0.02	≤0.02	36	1.14	0.17	1.41	0.93	63	0.66	1.41	≤0.02
Crisene	27	≤0.02	≤0.02	0.03	≤0.02	36	1.55	0.46	2.03	0.73	63	0.9	2.03	≤0.02

Tabella 16. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di diverse specie di IPA, misurata ad Affi, calcolati utilizzando tutti i dati di campagna disponibili.

15. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria)

Un indice di qualità dell'aria è una grandezza che permette di rappresentare in maniera sintetica lo stato di qualità dell'aria tenendo conto contemporaneamente del contributo di molteplici inquinanti atmosferici. L'indice utilizzato è associato a una scala di 5 giudizi sulla qualità dell'aria: buona, accettabile, mediocre, scadente, pessima.

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

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

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

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

In figura 12 e figura 13 è riportata la percentuale di giorni ricadenti in ciascuna classe dell'IQA, per le due campagne di misura, estiva e invernale, rispettivamente. Durante la campagna estiva prevalgono le giornate in cui la qualità dell'aria è stata "mediocre" (22 giorni, pari al 44%), si sono verificate 2 giornate con qualità dell'aria "scadente" (4%), e 9 giornate con qualità dell'aria accettabile (18%). Nel corso della campagna invernale la qualità dell'aria è stata prevalentemente

“Accettabile” (23 giorni, pari al 40%), in 8 giornate è stata “Buona” (14%), una sola giornata è stata “Mediocre” (2%), e in 3 giornate è stata “Scadente” o “Pessima” (6% in tutto).

E' stato effettuato un confronto tra la qualità dell'aria in Affi e quella della stazione fissa di riferimento dell'area “Agglomerato Verona”. A tal fine sono stati calcolati l'IQA di Affi e quello di Legnago nei giorni della campagna in cui il dato è disponibile per entrambe le postazioni: il risultato è rappresentato in figura 14 e figura 15, per le campagne estiva e invernale, rispettivamente. Nelle stesse figure è stata riportata la statistica dell'IQA di Legnago relativa a tutta la stagione, l'estate 2015 o l'inverno 2016-2017. Il confronto consente di concludere che la qualità dell'aria a Affi è stata peggiore di quella di Legnago durante la campagna estiva, a causa delle più elevate concentrazioni di ozono, mentre nel corso della campagna invernale essa è stata migliore della stazione fissa di riferimento. Inoltre, la campagne sono state svolte in un periodo in cui la qualità dell'aria della stazione di riferimento di Legnago è stata peggiore rispetto a quella di tutta la stagione che rappresentano.

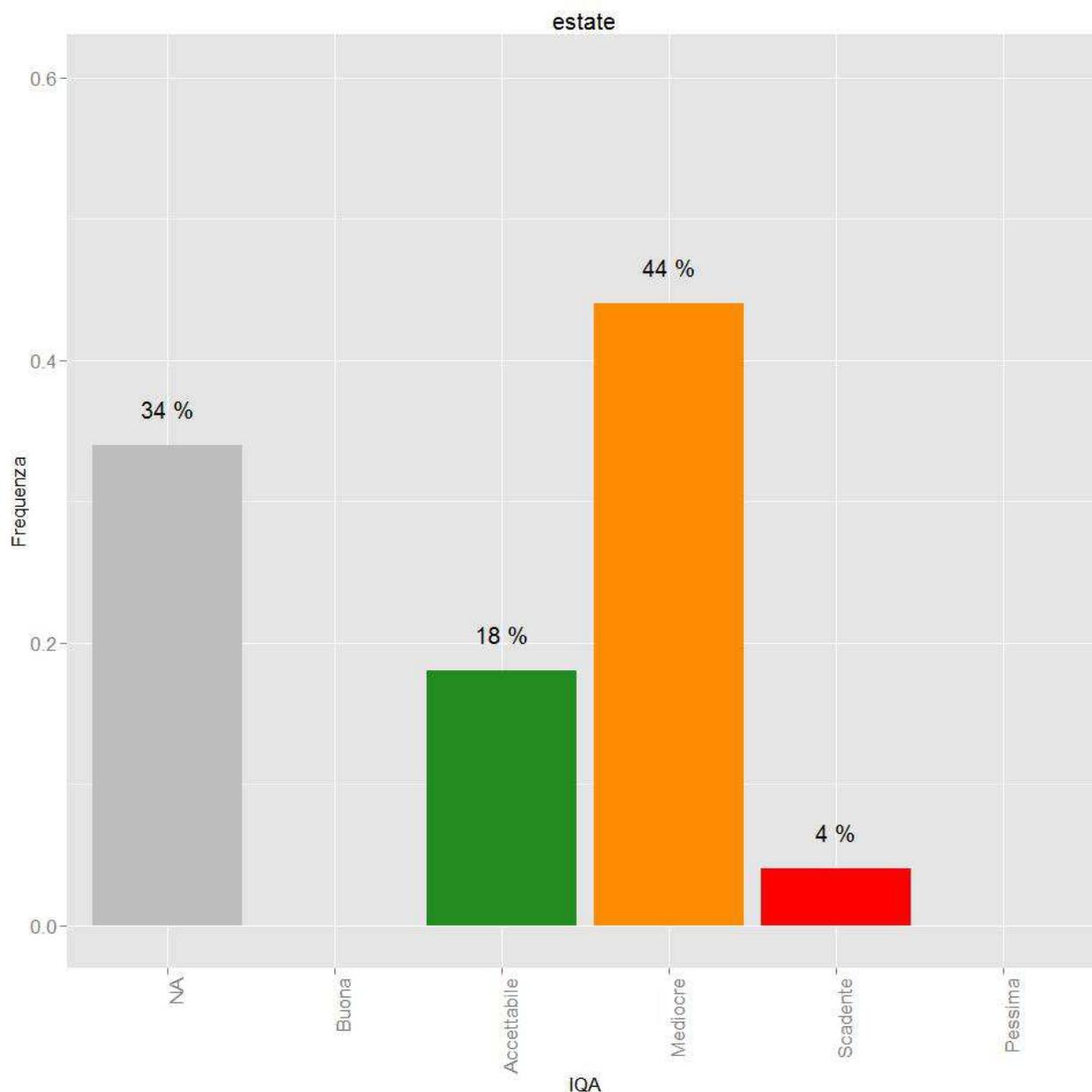


Figura 12. Indice di Qualità dell'aria ad Affi, campagna ESTIVA: frequenza delle diverse “classi” di qualità dell'aria. Elaborazione eseguita a partire da tutti i dati disponibili per Affi.

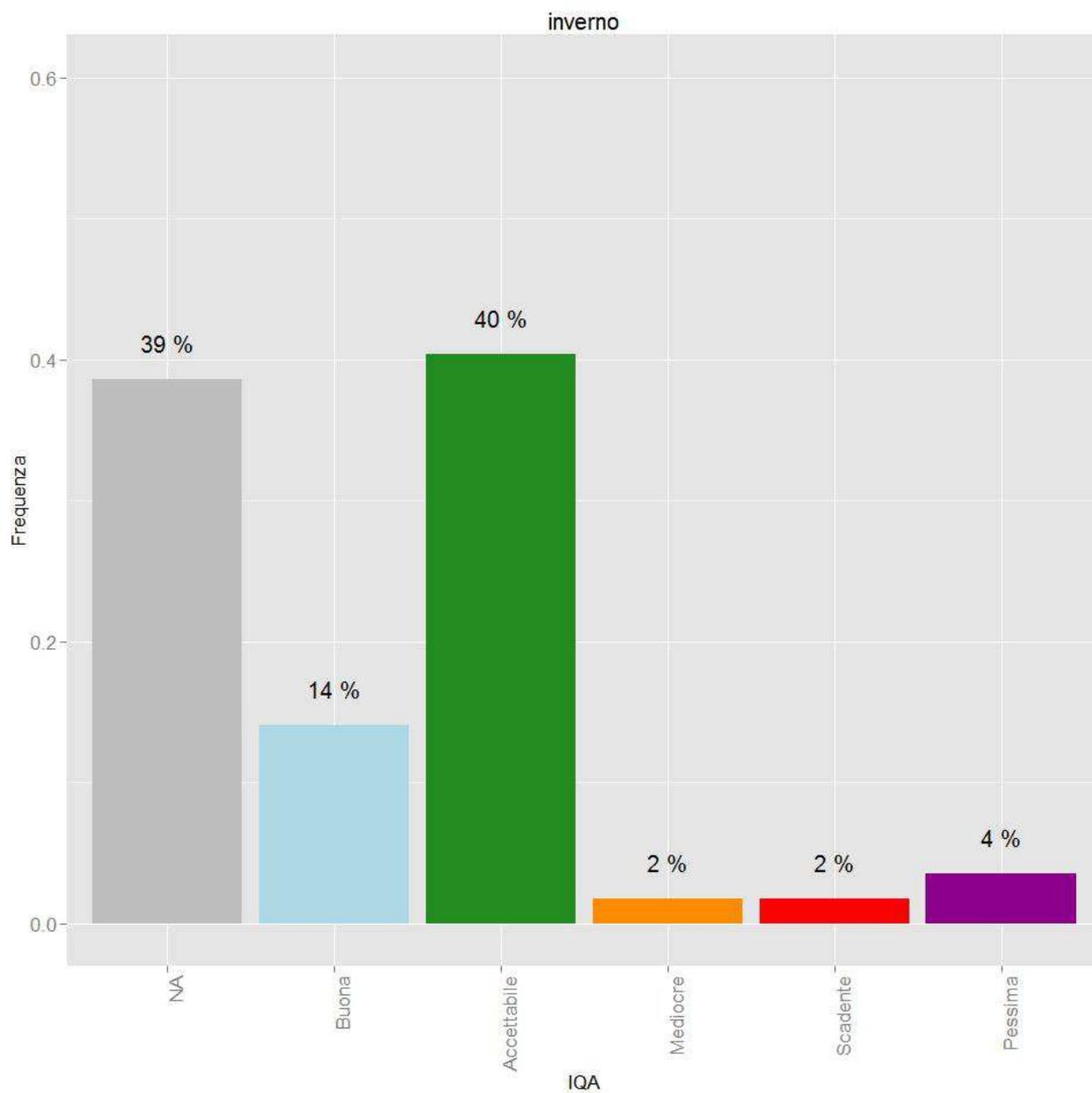


Figura 13. Indice di Qualità dell'aria ad Affi, campagna INVERNALE: frequenza delle diverse "classi" di qualità dell'aria. Elaborazione eseguita a partire da tutti i dati disponibili per Affi.

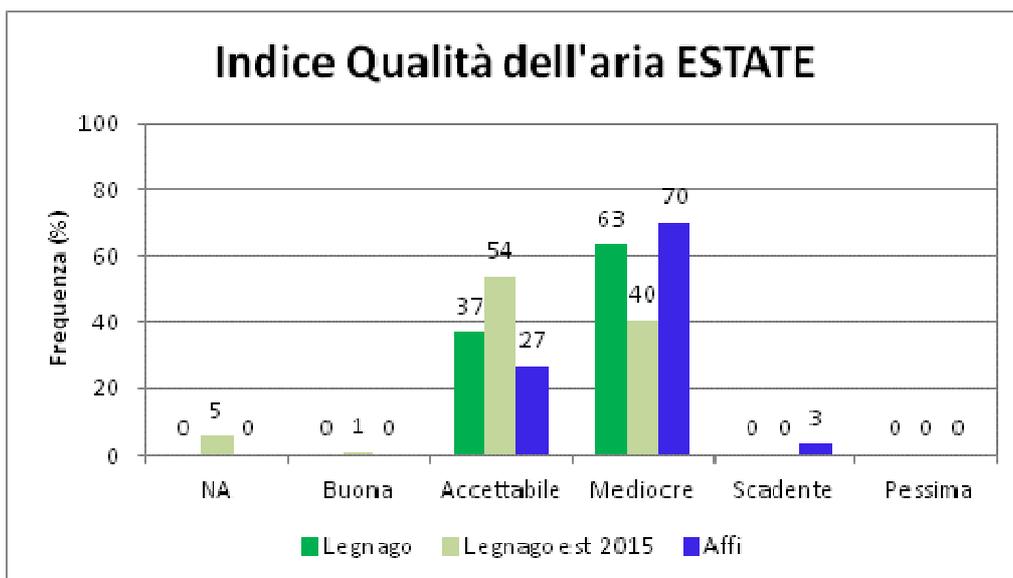


Figura 14 . Indice sintetico di qualità dell'aria, stagione estiva. Le tre serie si riferiscono ai dati di Legnago nel periodo in cui è stata svolta la campagna di misura a Affi ("Legnago"), ai dati di Legnago in tutta l'estate 2016 ("Legnago_ESTATE_2016"), ai dati della campagna estiva ad Affi ("Affi"). Per la serie "Legnago" e la serie "Affi" sono stati considerati solo i giorni in cui è disponibile il dato in entrambe le postazioni, al fine di effettuare un confronto sullo stesso periodo.

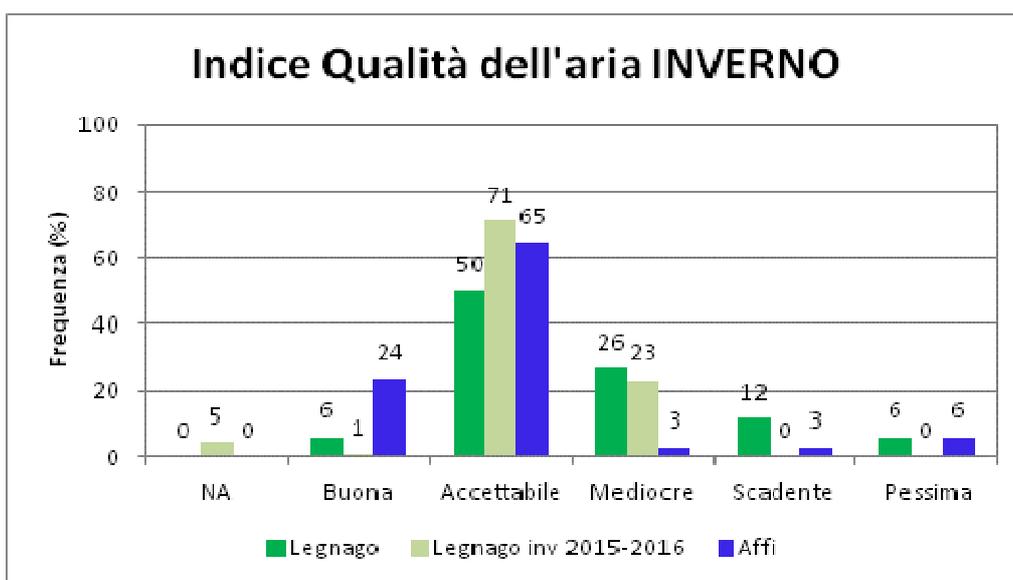


Figura 15. Indice sintetico di qualità dell'aria, stagione invernale. Le tre serie si riferiscono ai dati di Legnago nel periodo in cui è stata svolta la campagna di misura ad Affi ("Legnago"), ai dati di Legnago nei mesi invernali del 2016 ("Legnago_INVERNO_2016"), ai dati della campagna invernale a Affi ("Affi"). Per la serie "Legnago" e la serie "Affi" sono stati considerati solo i giorni in cui è disponibile il dato in entrambe le postazioni, al fine di effettuare un confronto sullo stesso periodo.

Indice di qualità dell'aria



Figura 16. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria, campagna di Affi, ESTATE 2015.

Indice di qualità dell'aria



Indice di qualità dell'aria



Figura 17. Grafico-calendario dell'indice di qualità dell'aria, campagna di Affi, INVERNO 2016-2017.

16. Valutazione dei trend storici per il sito di interesse

La centralina di traffico urbano di San Bonifacio, posta circa 42 km a sud-est di Affi, e la centralina di fondo urbano di Legnago, 57 km a sud-est, sono le stazioni di riferimento per il monitoraggio della qualità dell'aria nell'area individuata dalla zonizzazione come IT0513 "Pianura e capoluogo bassa pianura", a cui appartiene anche il punto di monitoraggio di Affi. È stato effettuato un confronto tra i dati degli inquinanti più significativi (NO₂, benzene, PM10 e benzo(a)pirene) misurati durante il periodo di campagna e i corrispondenti valori medi registrati negli anni precedenti presso le stazioni fisse di riferimento. I risultati sono riportati in forma grafica nelle figure da 18 a 21. Nelle figure sono rappresentate le due serie temporali della concentrazione media annua di un inquinante misurata dalle centraline fisse di San Bonifacio (linea-quadrato arancione), Legnago (linea-quadrato verde), Schio (linea-pallino fucsia); le barre di istogramma si riferiscono invece alla concentrazione media durante le campagne di monitoraggio, misurata dal mezzo mobile in Affi (barra blu), e dalle centraline di San Bonifacio (barra arancione) e Legnago (barra verde).

Per quanto riguarda il biossido di azoto, si osserva una tendenza alla diminuzione della concentrazione di questo inquinante negli anni analizzati, sia presso la stazione di traffico di San Bonifacio sia presso la stazione di fondo di Legnago. I valori misurati presso le stazioni fisse nel periodo di campagna sono superiori alla rispettiva media annuale. Il valore medio durante la campagna ad Affi è più basso delle medie di campagna registrate dalle stazioni fisse, e vicino alla media annuale di Legnago per l'anno 2016.

Il benzene, negli anni considerati, mostra una tendenza alla diminuzione, anche se il valore del 2016 è di poco più elevato di quello dell'anno precedente. Nei due periodi di campagna di misura, la concentrazione di benzene a San Bonifacio e Legnago è stata più alta del valore medio corrispondente relativo all'anno 2016, ma comunque vicina ad esso, e decisamente più bassa del limite annuale di 5 µg/m³. Il valore medio misurato durante la campagna di Affi è più basso del corrispondente valore relativo alle centraline di riferimento, e indica che con elevata probabilità il limite normativo è stato rispettato.

La concentrazione di PM10 mostra una tendenza alla diminuzione tra il 2010 e il 2016, pur essendoci un massimo locale nel 2011 e nel 2015. Nel periodo di campagna i valori medi di PM10 di San Bonifacio e Legnago sono superiori a quello medio del 2016. La concentrazione media ad Affi è inferiore a quella di entrambe le stazioni di riferimento.

Il benzo(a)pirene, negli anni tra il 2010 e il 2015 ha avuto un andamento variabile, con valori medi annuali superiori al limite annuale di 1 ng/m³ solo nell'anno 2012 a Schio e nell'anno 2015 a VR-Cason, e una tendenza all'aumento a VR-Cason a partire dal 2010. I valori misurati durante la campagna di misura, sia ad Affi sia nella stazione di fondo urbano di Verona, sono superiori al valore medio annuale misurato nel 2016. Il valore relativo ad Affi è stato superiore a quello di VR-Giarol, e si presenta come valore critico, molto vicino al limite normativo.

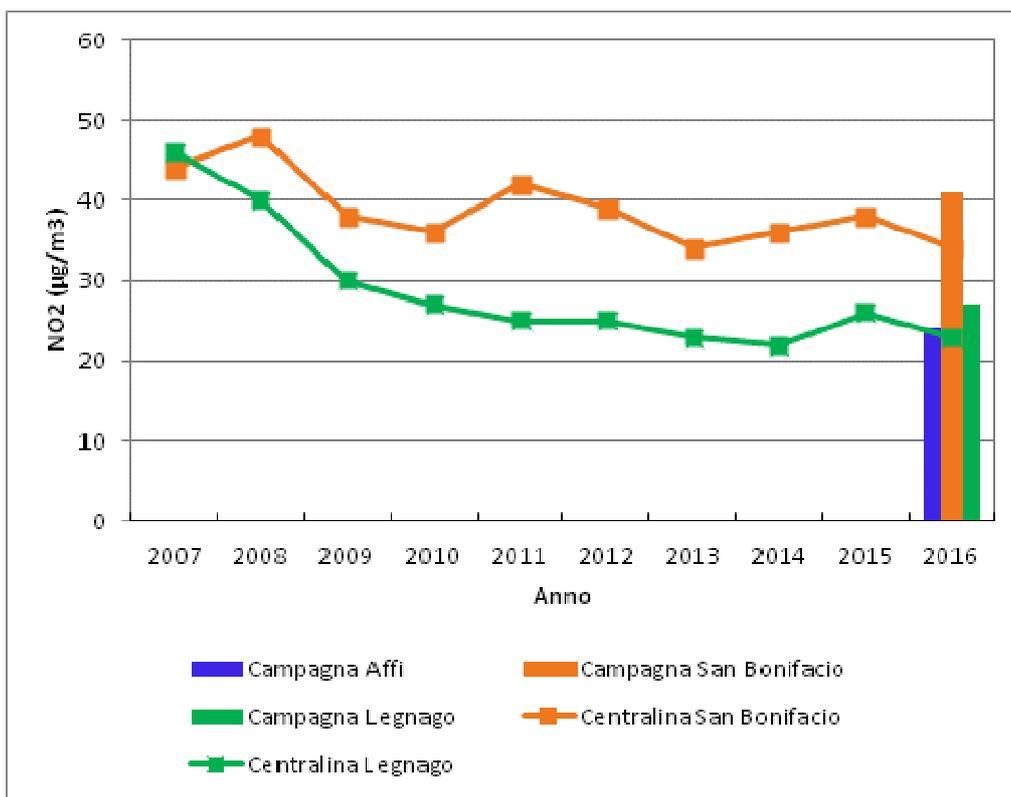


Figura 18: NO₂. Serie temporali della concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di San Bonifacio (linea-quadratinio arancione) e Legnago (linea-quadratinio verde). Le barre di istogramma si riferiscono alla concentrazione media durante le campagne di misura del 2016, misurata dal mezzo mobile ad Affi (barra blu), e dalle centraline di San Bonifacio (barra arancione) e Legnago (barra verde).

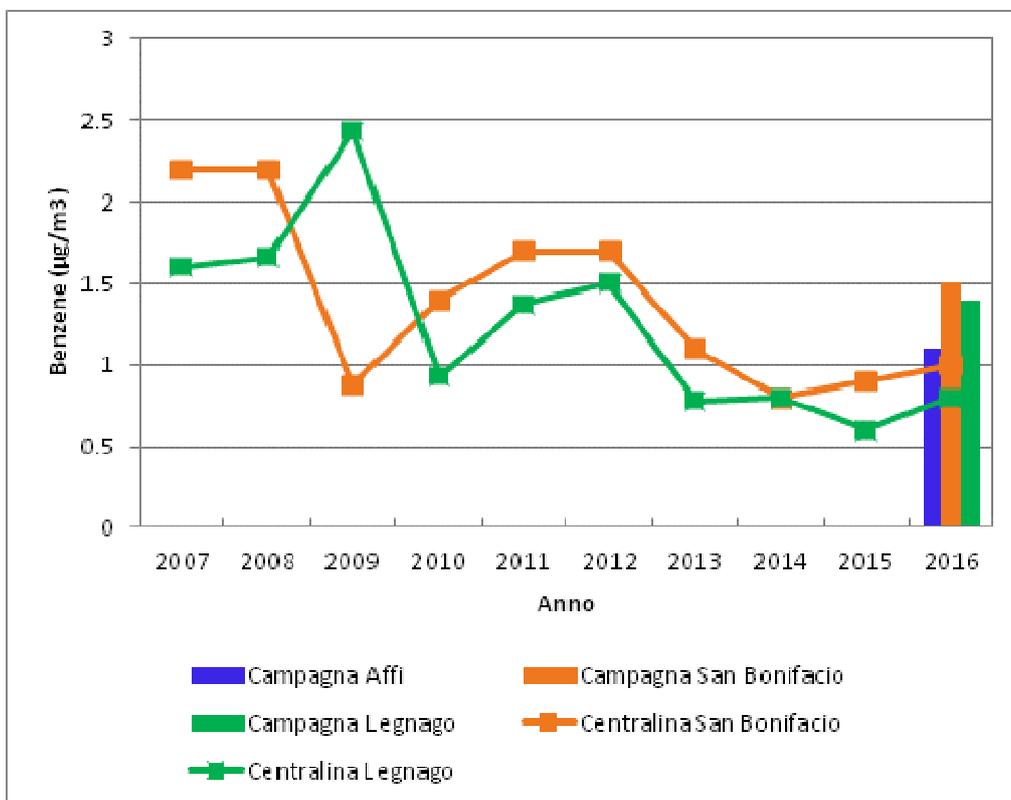


Figura 19. Benzene: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di San Bonifacio e Legnago, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015-2016-2017, misurata dal mezzo mobile da Affi, e dalle centraline di San Bonifacio e Legnago (come in figura 18).

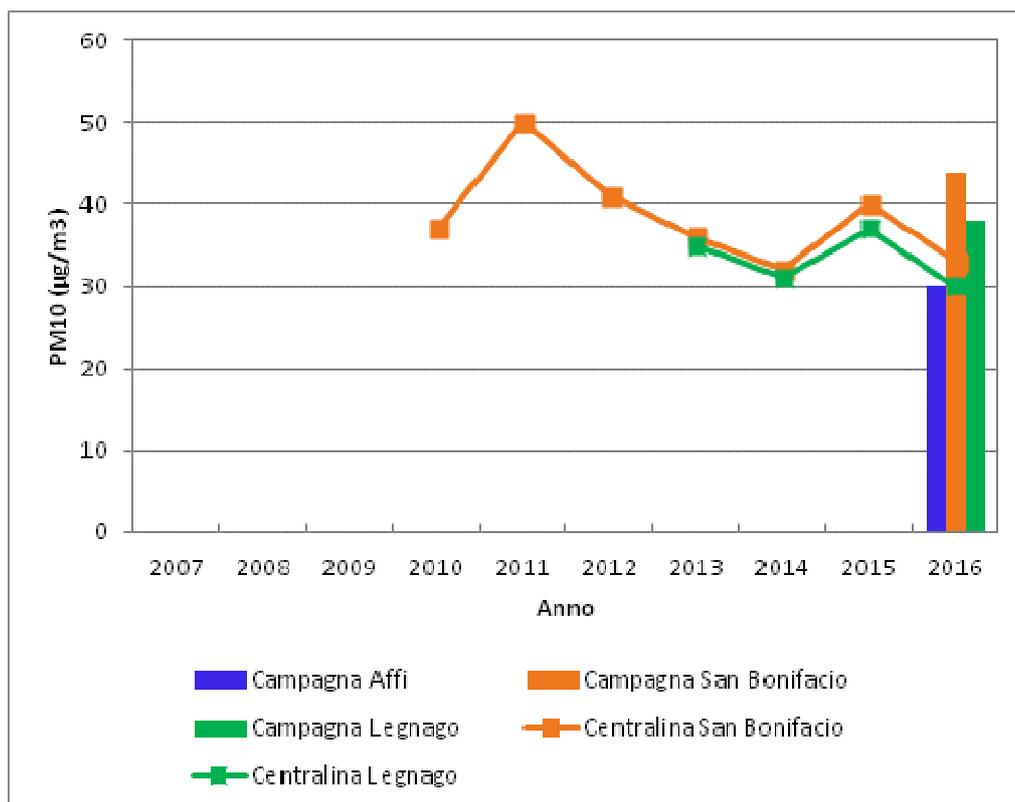


Figura 20. PM10: concentrazione media annua misurata dalle centraline fisse di San Bonifacio e Legnago, e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015-2016-2017, misurata dal mezzo mobile ad Affi, e dalle centraline di San Bonifacio e Legnago (come in figura 18).

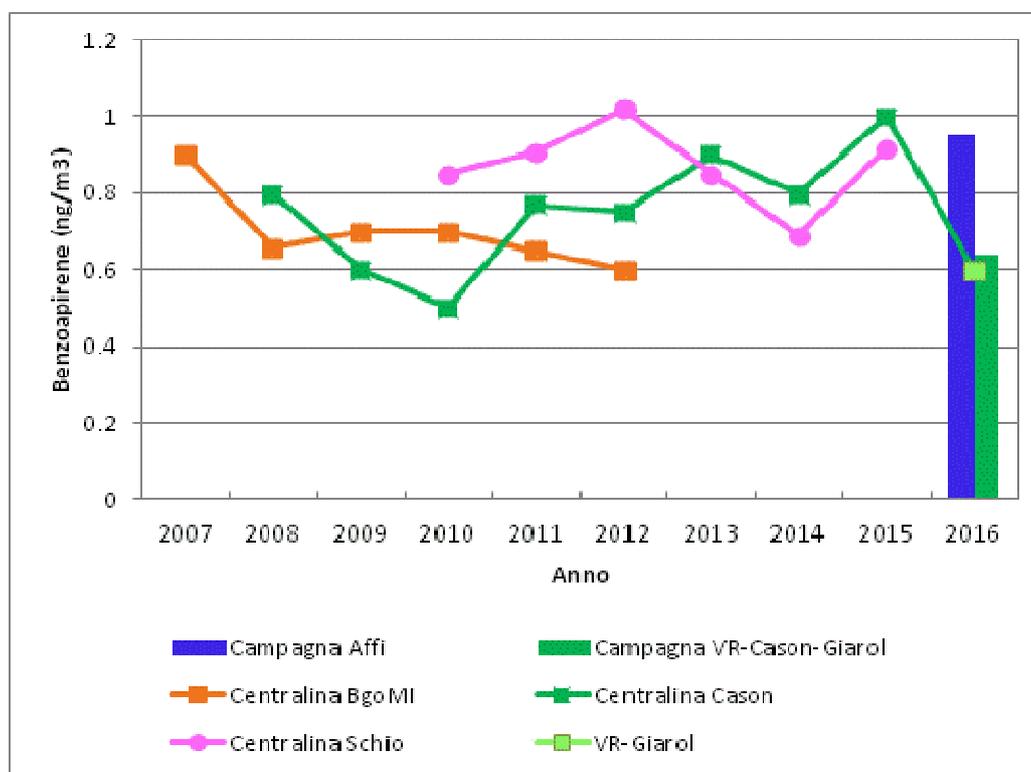


Figura 21. Benzo(a)pirene: concentrazione media annua misurata presso le centraline fisse di VR-Cason, VR-Giarol, VR-Bgo Milano e Schio (VI) e concentrazione media durante le campagne di misura del 2015-2016-2017, misurata dal mezzo mobile ad Affi, e dalla centralina di VR-Cason e VR-Giarol (come in figura 18).

17. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Affi in prossimità del municipio del paese. Affi si trova allo sbocco meridionale della Val d'Adige, 4 km a est del lago di Garda, ed è attraversata dall'autostrada del Brennero. In prossimità dell'abitato sorgono vari centri commerciali.

La particolare posizione geografica in cui il comune è situato, determina la presenza di una brezza monte-valle che scorre dalla val d'Adige verso il lago di notte e viceversa di giorno, indotta dai particolari gradienti termici superficiali che si vengono a creare specialmente nella stagione estiva. Questo tipo di circolazione determina condizioni meteorologiche favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

La campagna di misura estiva di Affi, è stata svolta dal 09 giugno al 28 luglio 2015. Quella invernale, è stata realizzata in due periodi: dal 19 dicembre 2016 al 16 gennaio 2017 e dal 30 gennaio al 13 febbraio 2017. La campagna estiva è stata svolta in un periodo con piovosità e ventilazione inferiore alla media tipica di questo periodo dell'anno; quella invernale è stata caratterizzata da una piovosità nella media e da una ventilazione leggermente migliore di quella tipica di questo periodo.

Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO_x, SO₂, O₃, le medie giornaliere di PM10 e benzo(a)pirene, e la media su un periodo di più giorni del benzene.

E' stata realizzata un'analisi dei dati, sono stati calcolati vari parametri statistici ed è stato effettuato un confronto con le due stazioni fisse di riferimento: quella di traffico urbano di San Bonifacio e quella di fondo urbano di Legnago.

L'ozono si è rivelato l'inquinante più critico ad Affi. I valori medi e massimi di concentrazione sono superiori a quelli misurati presso la centralina fissa di fondo urbano di Legnago. Il limite di 120 µg/m³ sulla media mobile di 8 ore, relativo all'esposizione cronica, è stato superato 31 giorni su 49 durante la campagna estiva, ad Affi come anche presso la centralina di Legnago. Il limite di 180 µg/m³, relativo all'esposizione acuta per le fasce deboli della popolazione, è stato superato 38 volte ad Affi, un numero ben superiore rispetto alle 4 di Legnago.

Il benzo(a)pirene è un altro inquinante critico ad Affi. La sua concentrazione esibisce una forte stagionalità, rimanendo sempre inferiore al limite di rivelabilità in estate, e assumendo in inverno valori elevati, sempre superiori al limite normativo relativo a questo inquinante (limite che tuttavia si applica alla media annuale). Il valore medio, calcolato considerando tutti i dati disponibili nelle due campagne di misura, è 1.03 ng/m³, che supera il valore limite annuale di 1 ng/m³.

Gli ossidi di azoto non si sono rivelati critici per il sito monitorato, nonostante la presenza di importanti fonti di pressione relative a questo inquinante, quali l'Autobrennero, della quale Affi costituisce una uscita molto frequentata, e i numerosi centri commerciali, che rappresentano degli attrattori di traffico. Non è avvenuto alcun superamento dei limiti normativi relativi all'esposizione acuta (ad Affi come anche nelle stazioni di riferimento della provincia di Verona), e i valori medi e massimi registrati ad Affi sono più bassi di quelli misurati a San Bonifacio e a Legnago. L'andamento delle concentrazioni medie nel corso della giornata e della settimana ad Affi è molto simile a quello di Legnago, indicando che il punto di monitoraggio mostra le caratteristiche di un sito di fondo urbano. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi è stata calcolata pari a 24 µg/m³, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³.

Anche le polveri sottili rappresentano un inquinante meno critico per la postazione di Affi rispetto alla maggioranza delle postazioni della pianura veronese. Nei due periodi di campagna si sono verificati 7 superamenti, pari al 7% del periodo monitorato. Nelle stazioni di riferimento, invece i superamenti sono stati molto più numerosi, arrivando a coprire più del 24% del periodo monitorato. La stima del valore medio annuale per il sito di Affi, ottenuta dal confronto con i valori della centralina fissa più rappresentativa del sito stesso (Legnago), è stata 30 µg/m³, inferiore al valore

limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In base alla stessa metodologia si stima il 90° percentile pari a $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il che non determina un superamento del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per un numero di volte superiore al limite di 35 su base annua.

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 vicini al limite di rilevabilità strumentale.

Il benzene, misurato con campionatori passivi, in estate presenta valori medi inferiori al limite di rilevabilità strumentale, ad Affi come anche presso le centraline di riferimento; in inverno, i valori medi e massimi sono inferiori a quelli delle centraline di riferimento. Il confronto con i dati delle centraline di riferimento e con i dati storici, suggerisce che il limite annuale per questo inquinante ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sia rispettato anche ad Affi.

L'indice di qualità dell'aria, durante la campagna di monitoraggio estiva ad Affi, è risultato per il 44% giorni mediocri, per il 18% accettabile e per il 4% buono. Una tale prevalenza di condizioni mediocri in questa stagione è causata dagli elevati livelli di ozono. In inverno la situazione è migliore, con il 40% di giorni accettabili, il 14% dei giorni con qualità dell'aria buona, il 2% mediocri e il 6% dei giorni con qualità dell'aria scadente o pessima.

ALLEGATO

In questa relazione sono stati riportati anche alcuni grafici di tipo “box-whisker”, il cui significato è illustrato in figura 22.

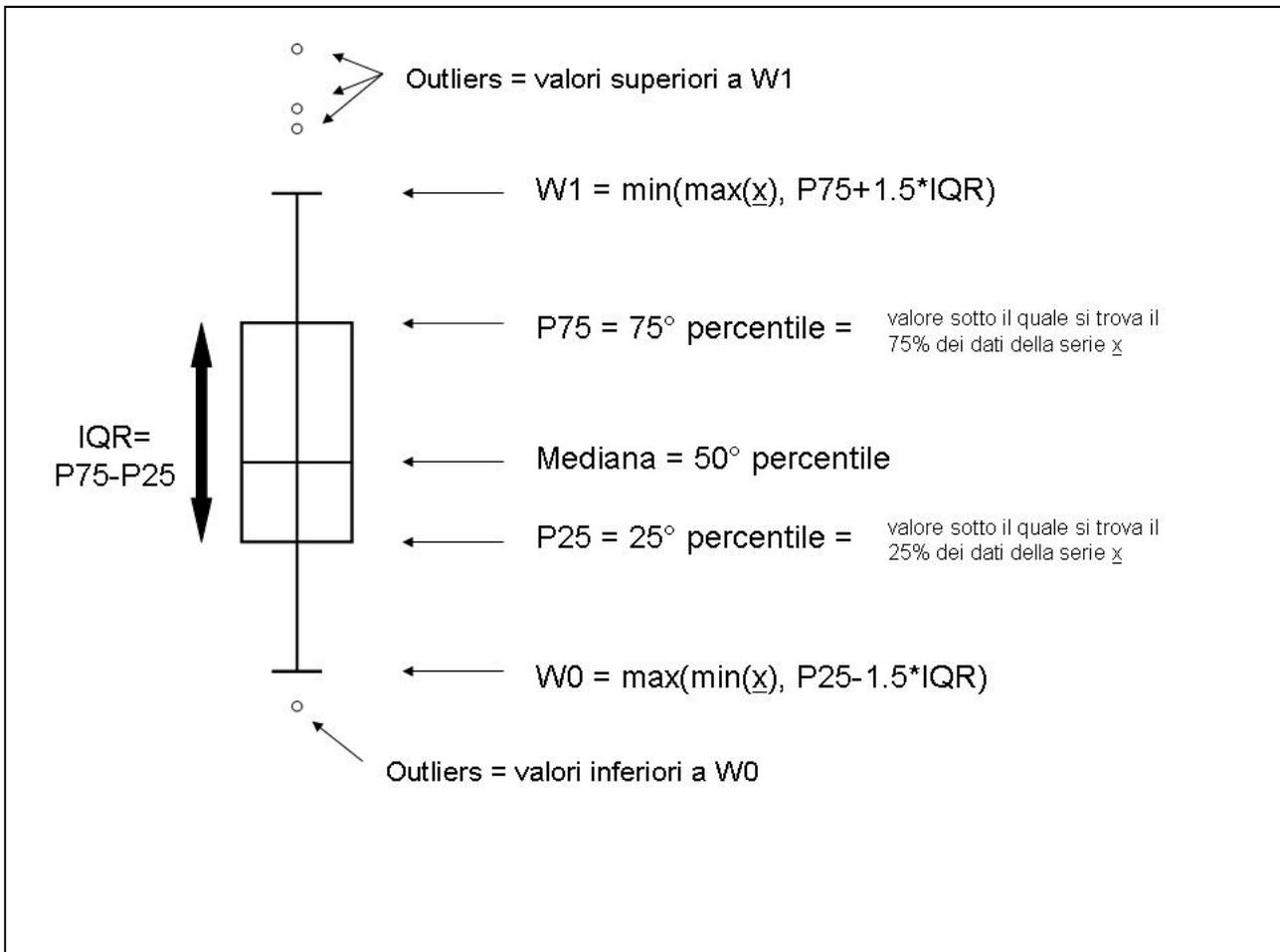


Figura 22. Schema esplicativo del box-whisker plot, utilizzato più volte nella presente relazione. La linea orizzontale nel mezzo della scatoletta (“box”) indica il valore della mediana (o 50° percentile) della distribuzione, cioè di quel valore rispetto al quale il 50% dei dati della popolazione rappresentata dal grafico è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita inferiormente il “box” è il 25° percentile, cioè il valore rispetto al quale il 25% dei dati è inferiore. Il segmento orizzontale che delimita superiormente il “box” è il 75° percentile, cioè il valore rispetto al quale il 75% dei dati è inferiore. La differenza tra il 25° e 75° percentile si definisce “Inter Quartile Range” (IQR). In base all’IQR si definiscono i “baffi”, cioè le barre che si estendono in alto e in basso: lo spazio tra esse compreso dà un’indicazione della dispersione dei dati della serie rappresentata. Oltre i baffi, si trovano solo pochi dati della popolazione rappresentata, i valori minimi e massimi, che vengono chiamati “outliers” e indicati con dei pallini.

Grafico 1 – Concentrazione di CO (mg/m³), media mobile di 8 ore, box-wisker plot. Campagna di misura estiva (pannello sopra) e invernale (pannello sotto).

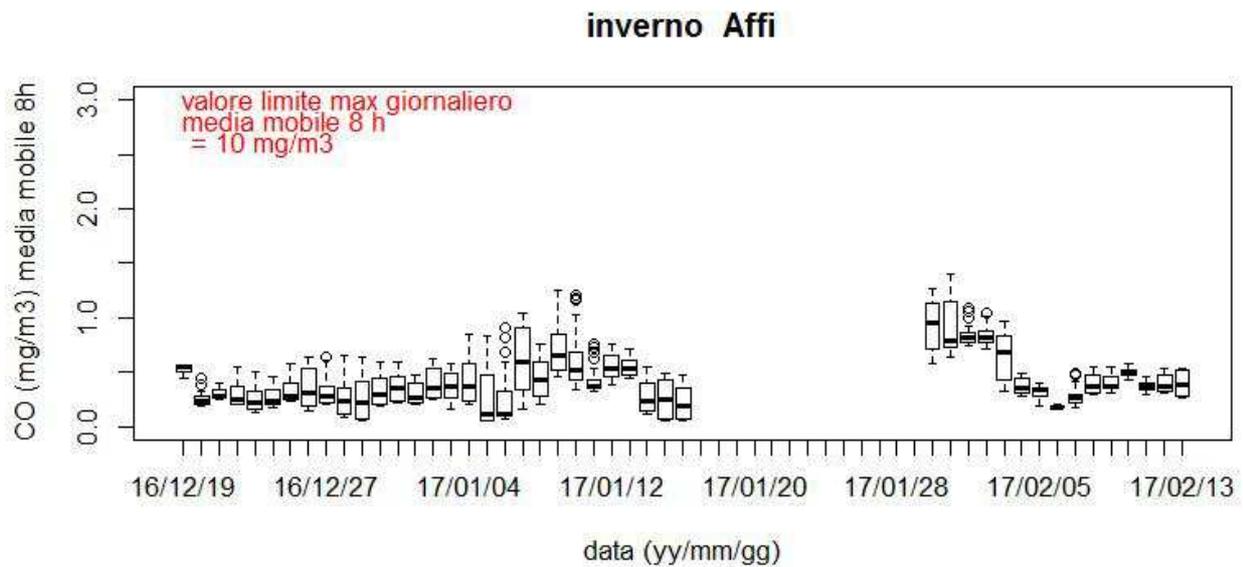
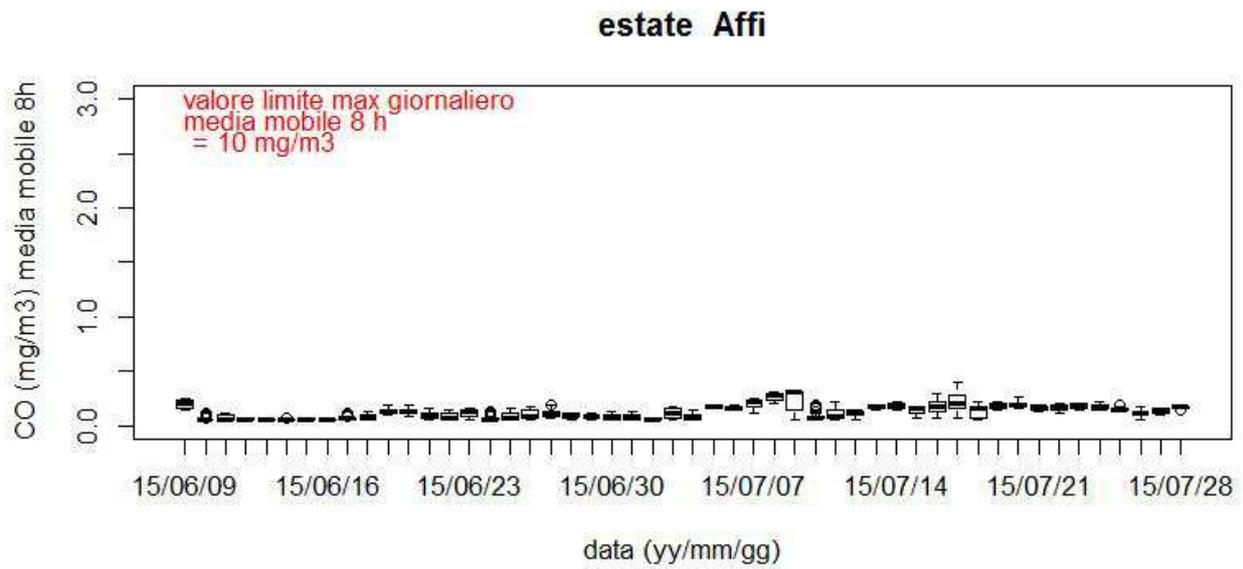


Grafico 2 – Concentrazione di NO₂ (µg/m³), box-wisker plot. Campagna di misura estiva (pannello sopra) e invernale (pannello sotto).

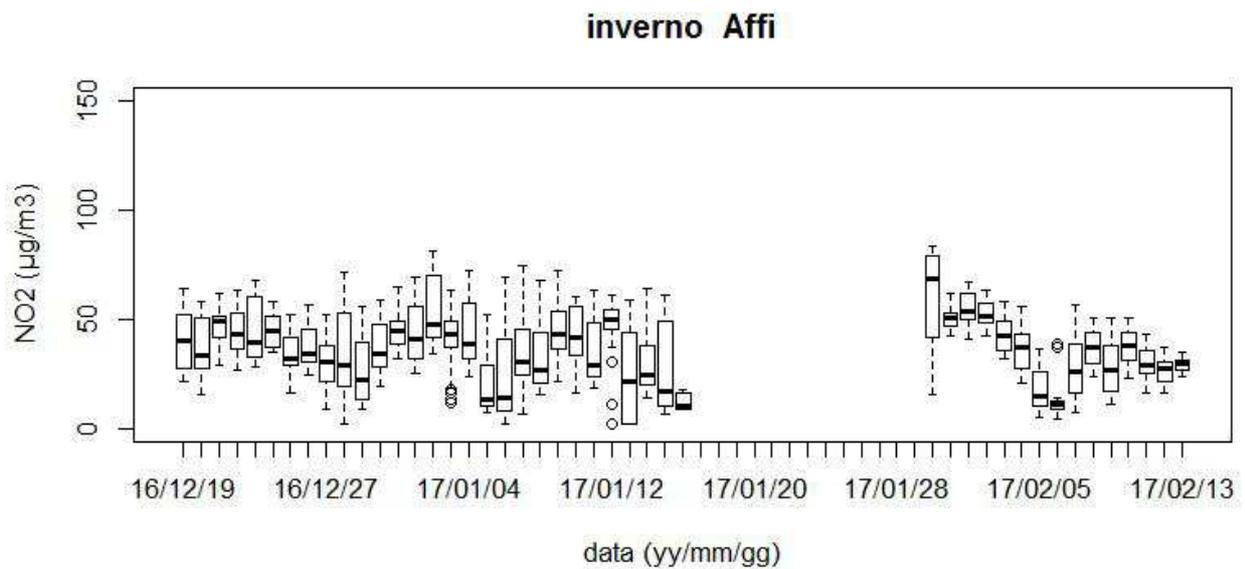
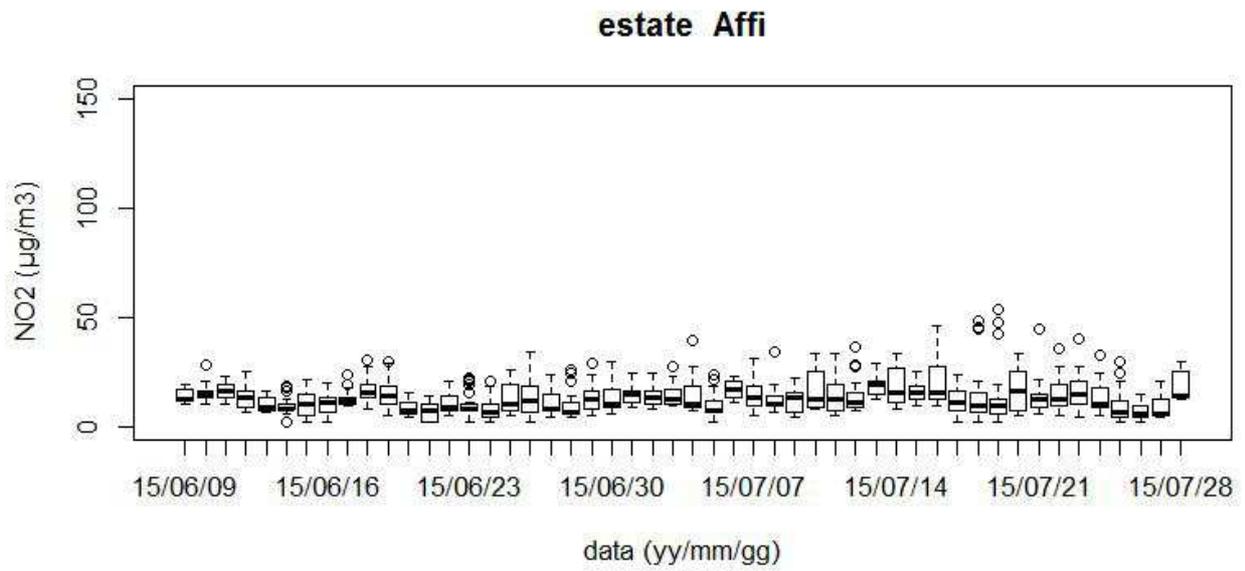


Grafico 3 – Concentrazione di SO₂ (µg/m³), box-wisker plot. Campagna di misura estiva (pannello sopra) e invernale (pannello sotto).

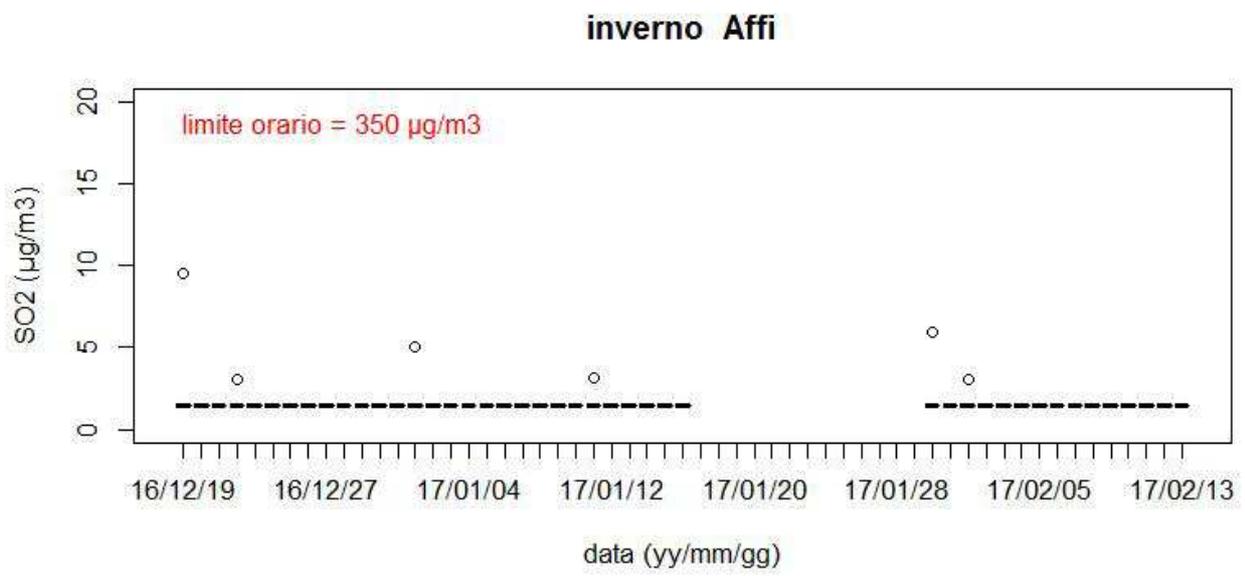
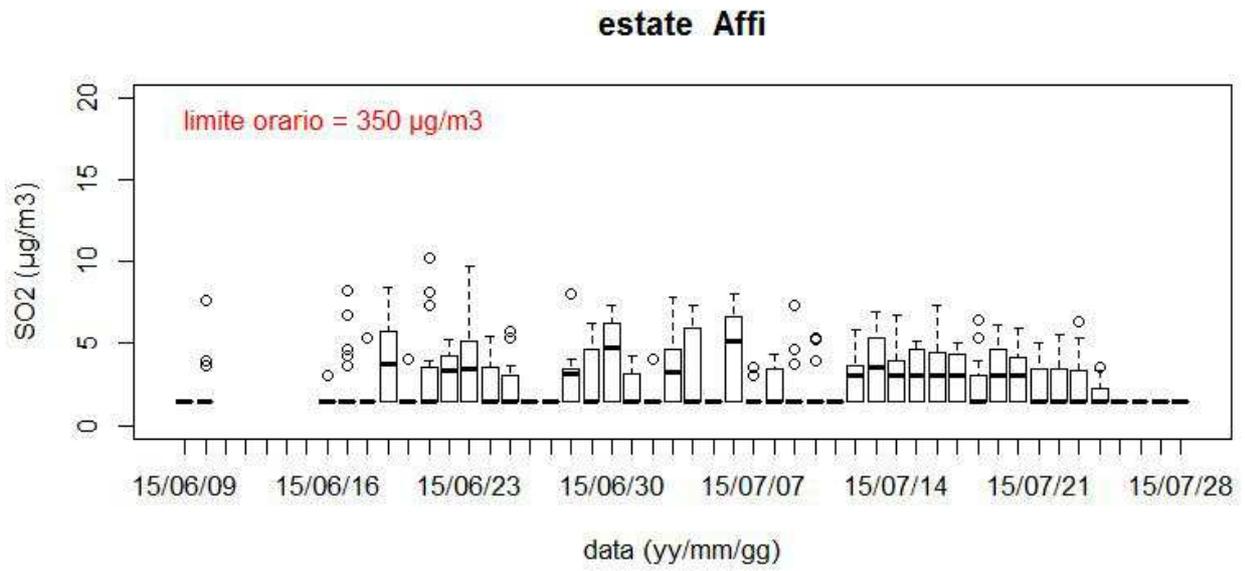


Grafico 4 – Concentrazione di O₃ (µg/m³), box-wisker plot. Campagna di misura estiva (pannello sopra) e invernale (pannello sotto).

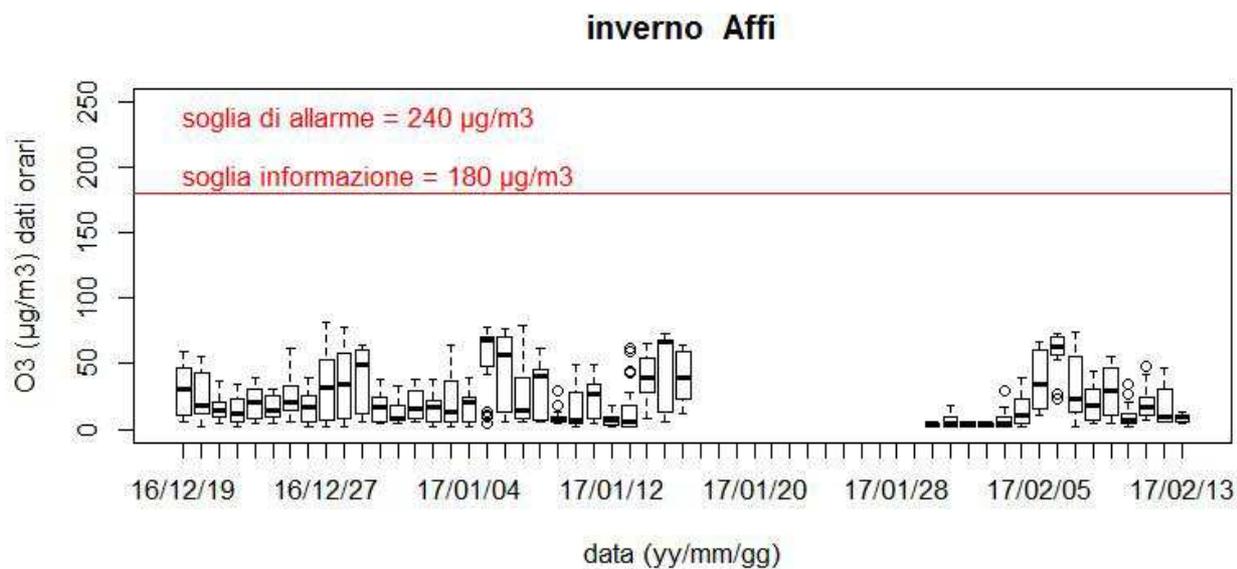
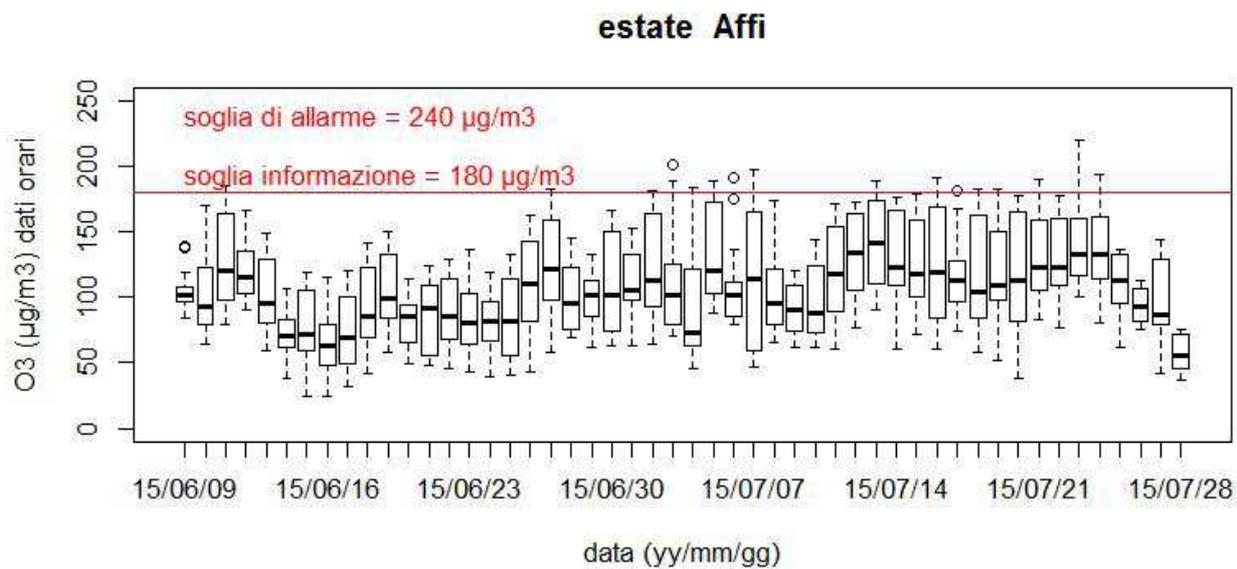


Grafico 5 – Concentrazione di O₃ (µg/m³), media mobile di 8 ore, box-wisker plot. Campagna di misura estiva (pannello sopra) e invernale (pannello sotto).

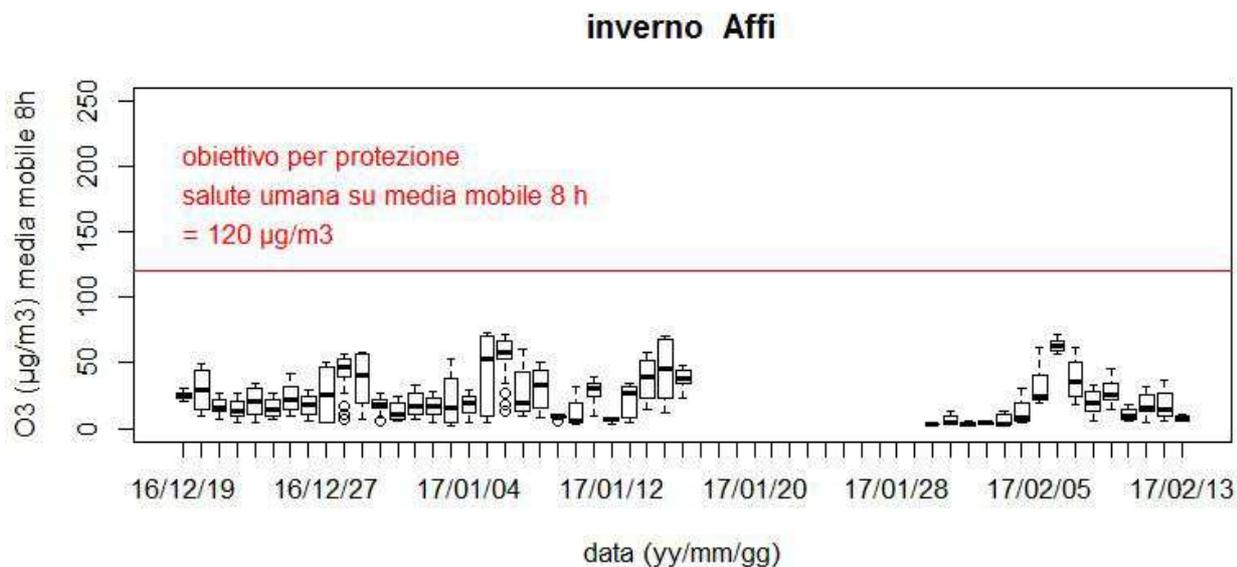
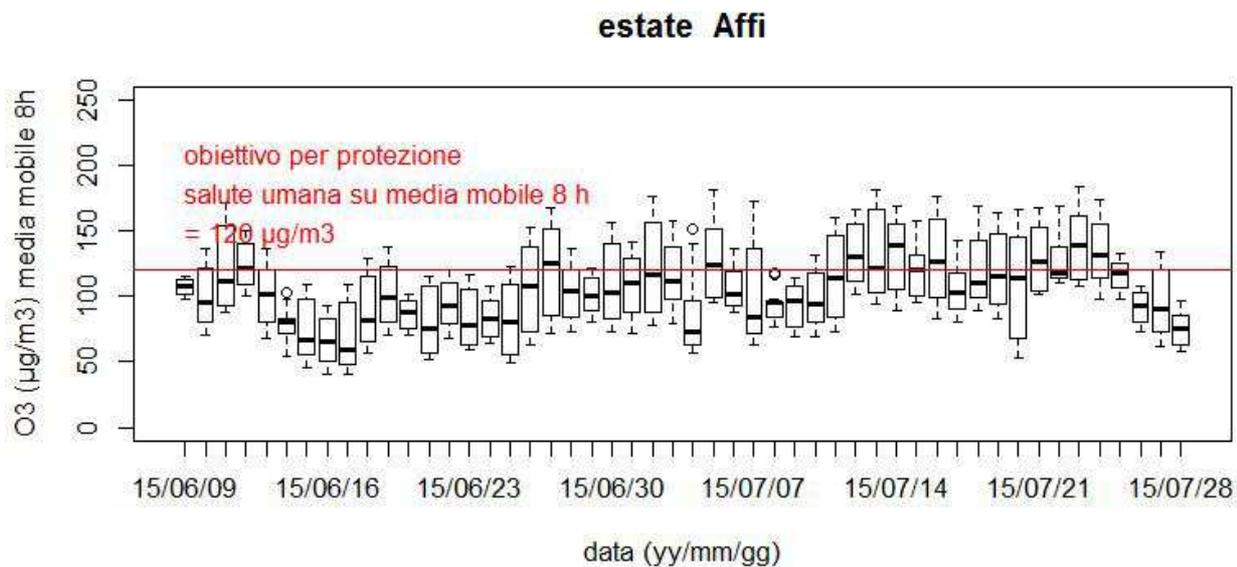


Grafico 6 – Concentrazione giornaliera di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a Affi, San Bonifacio e Legnago. La linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte l'anno.

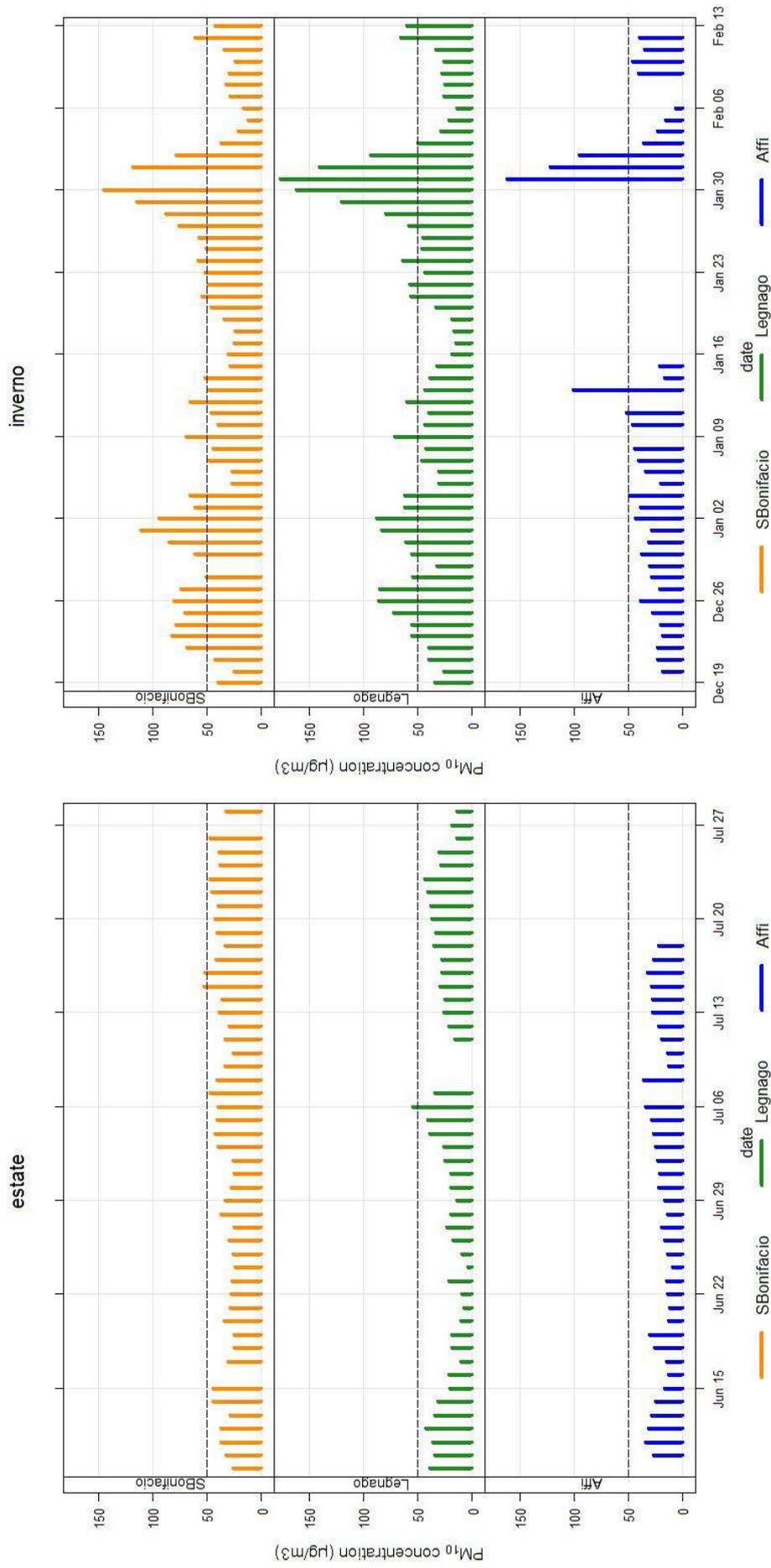


Grafico 7 – Concentrazione di benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a Legnago, San Bonifacio e Affi nella campagna di misura estiva (a sinistra) e invernale (a destra). La linea tratteggiata indica il valore obiettivo (annuale) di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il valor medio, misurato tramite campionatore passivo esposto per un certo numero di giorni, viene attribuito a ogni giorno di esposizione.

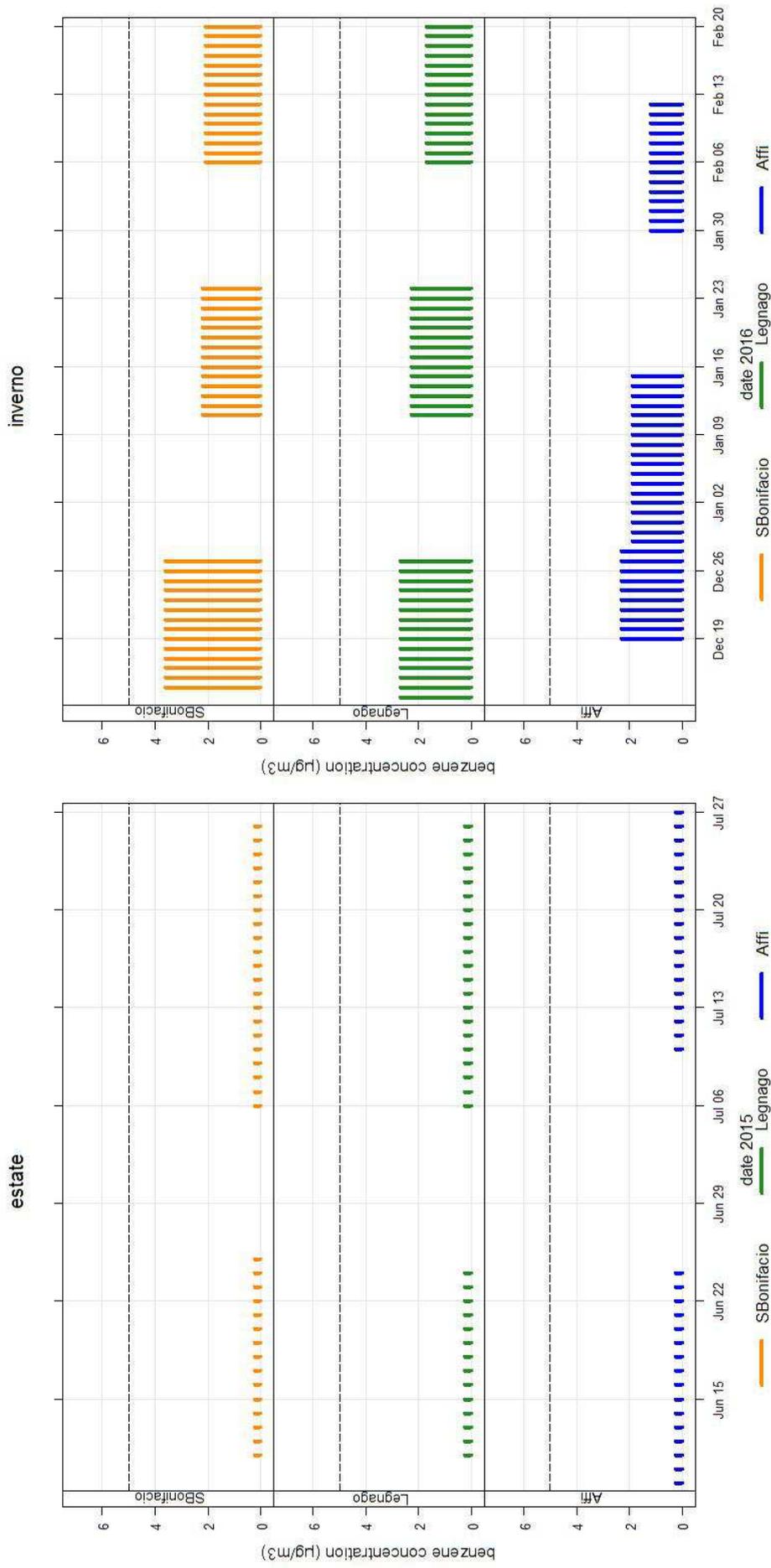


Grafico 7 – Concentrazione di benzo(a)pirene (ng/m³) a Legnago, San Bonifacio e Affi nella campagna di misura estiva (a sinistra) e invernale (a destra).
 La linea tratteggiata indica il valore obiettivo (annuale) di 1 ng/m³.

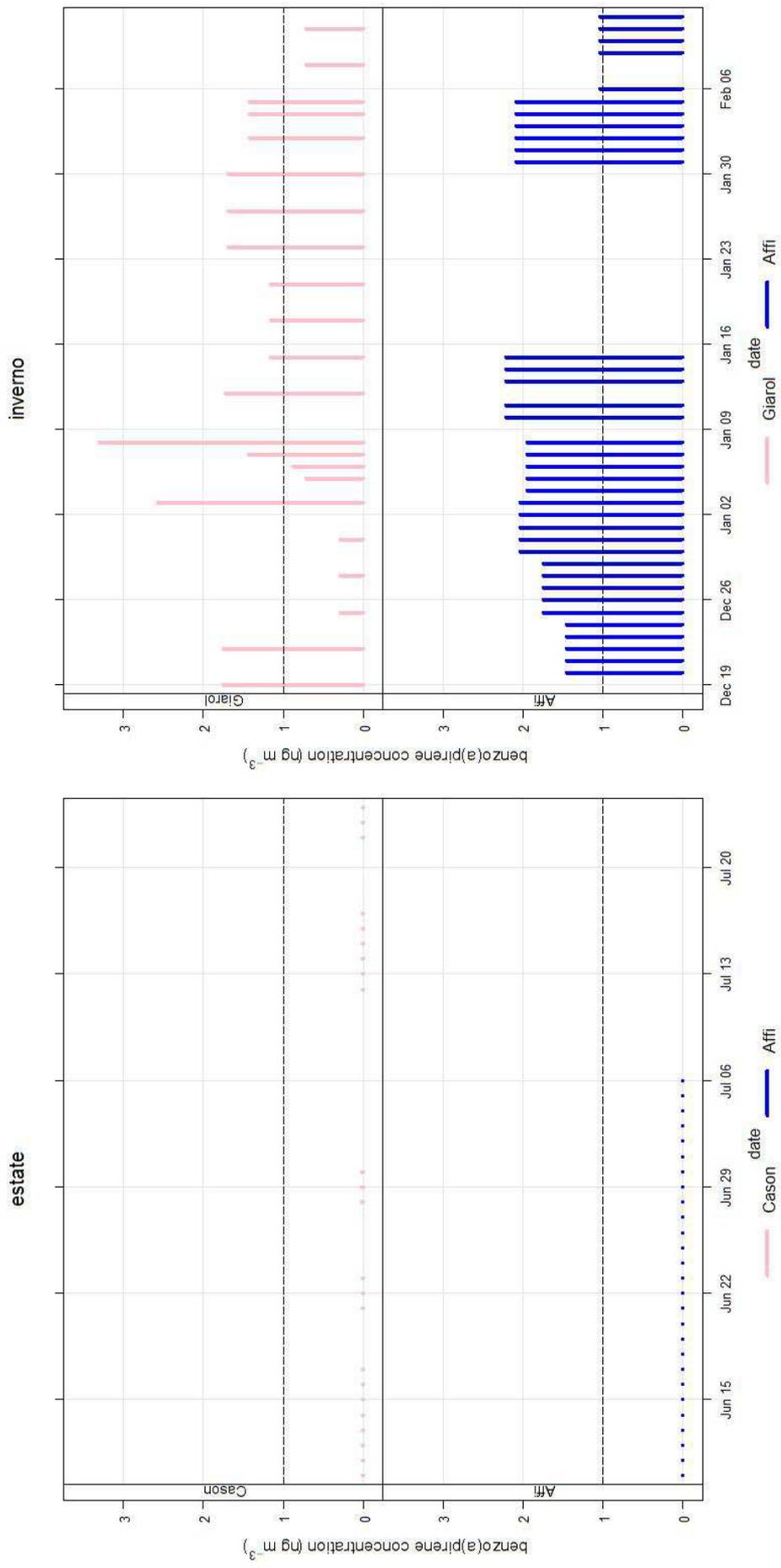


Grafico 9 – Giorno-tipo di NO₂ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernata (pannello a destra).

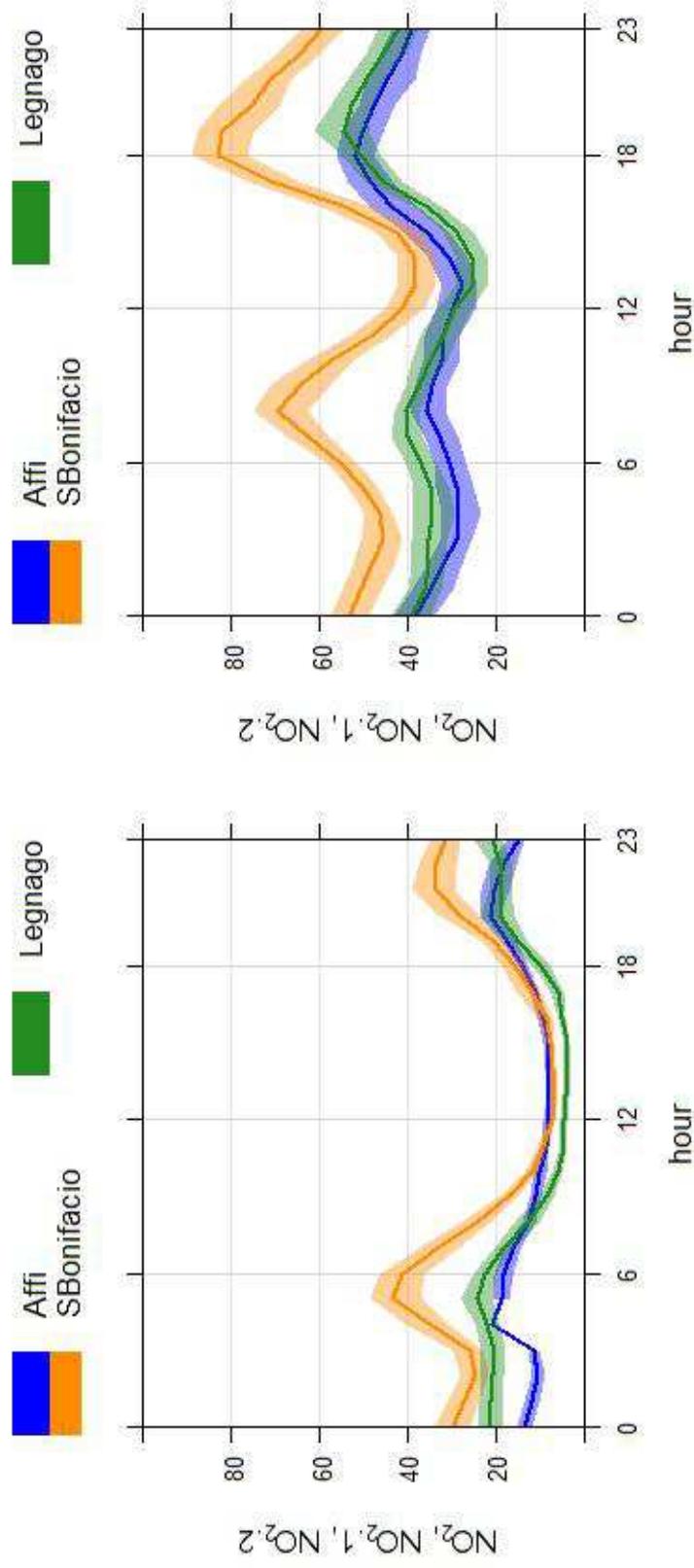


Grafico 10 – Settimana-tipo di NO₂ (µg/m³). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernale (pannello a destra).

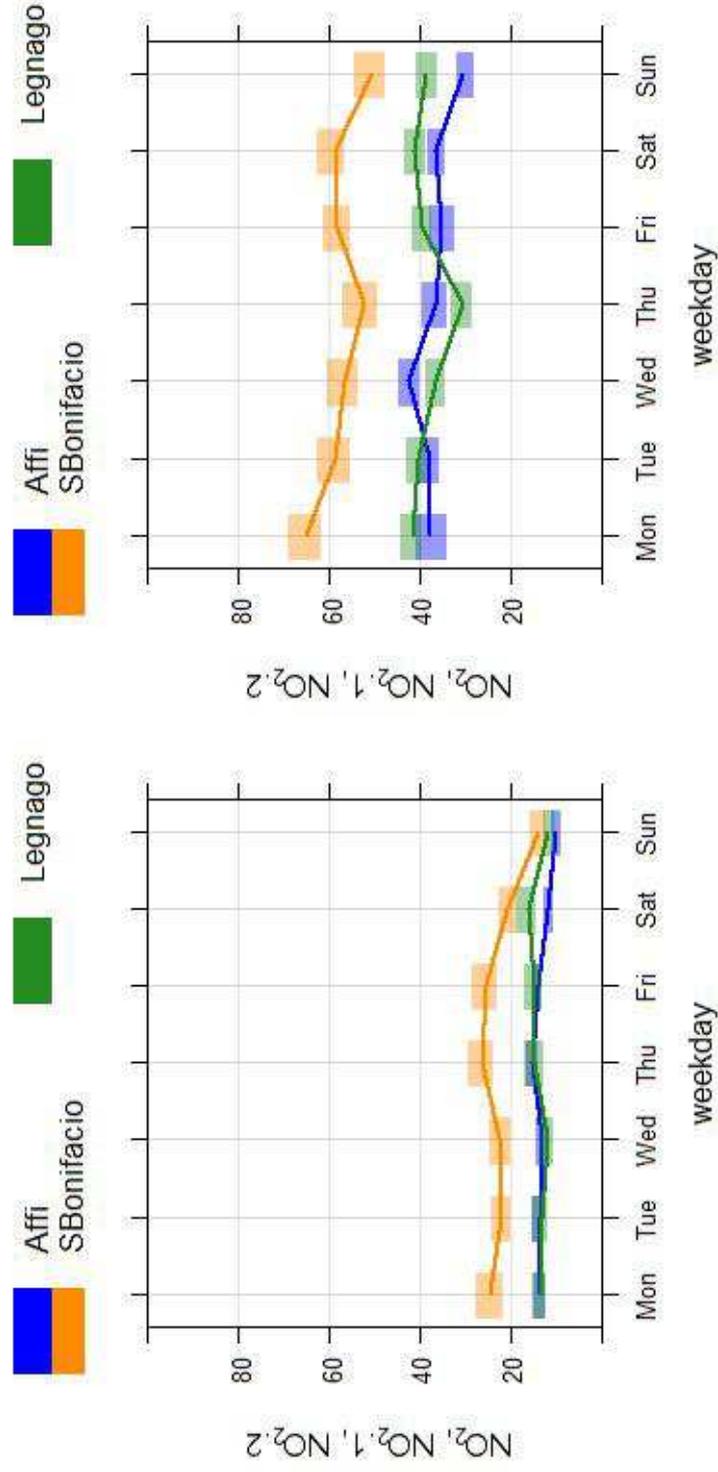


Grafico 11 – Giorno tipo O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le fasce ombreggiate rappresentano l'intervallo di confidenza della media del 95%. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernale (pannello a destra).

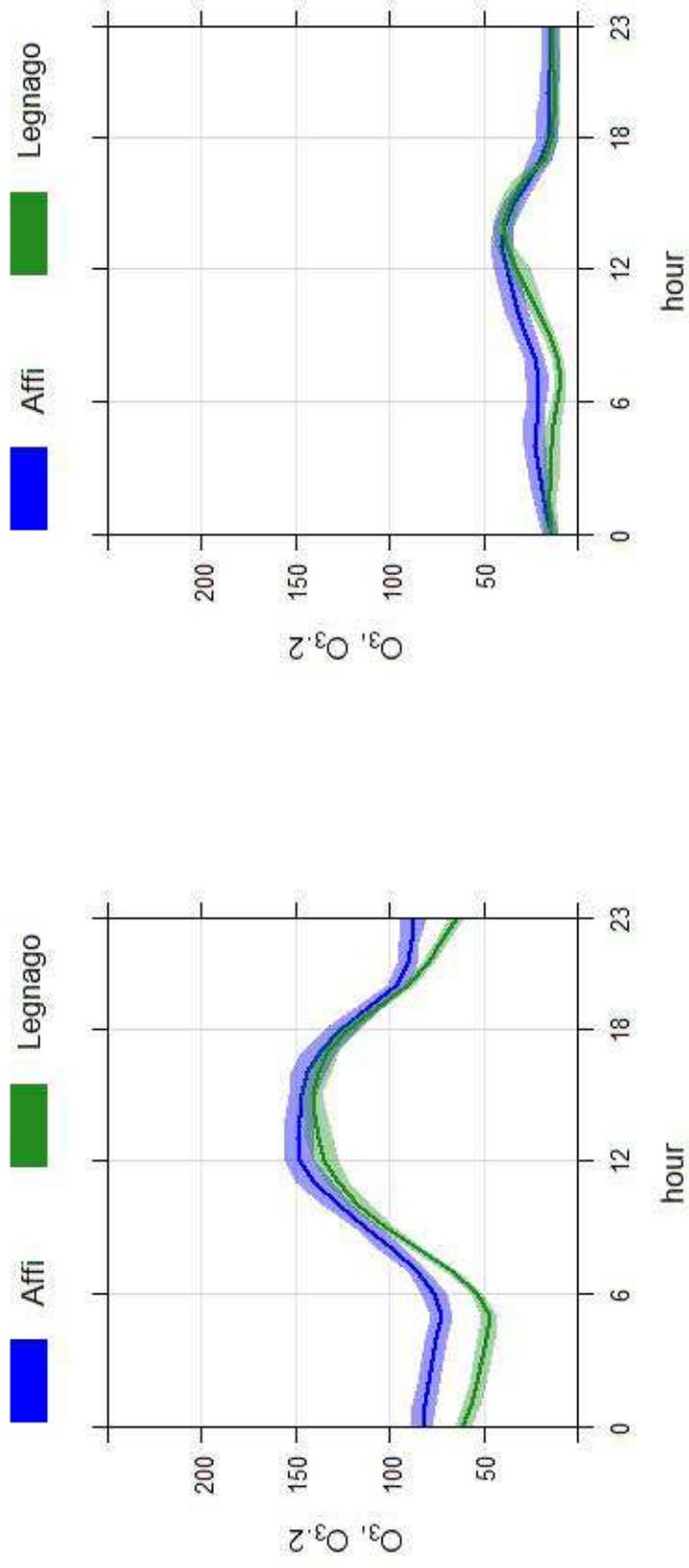
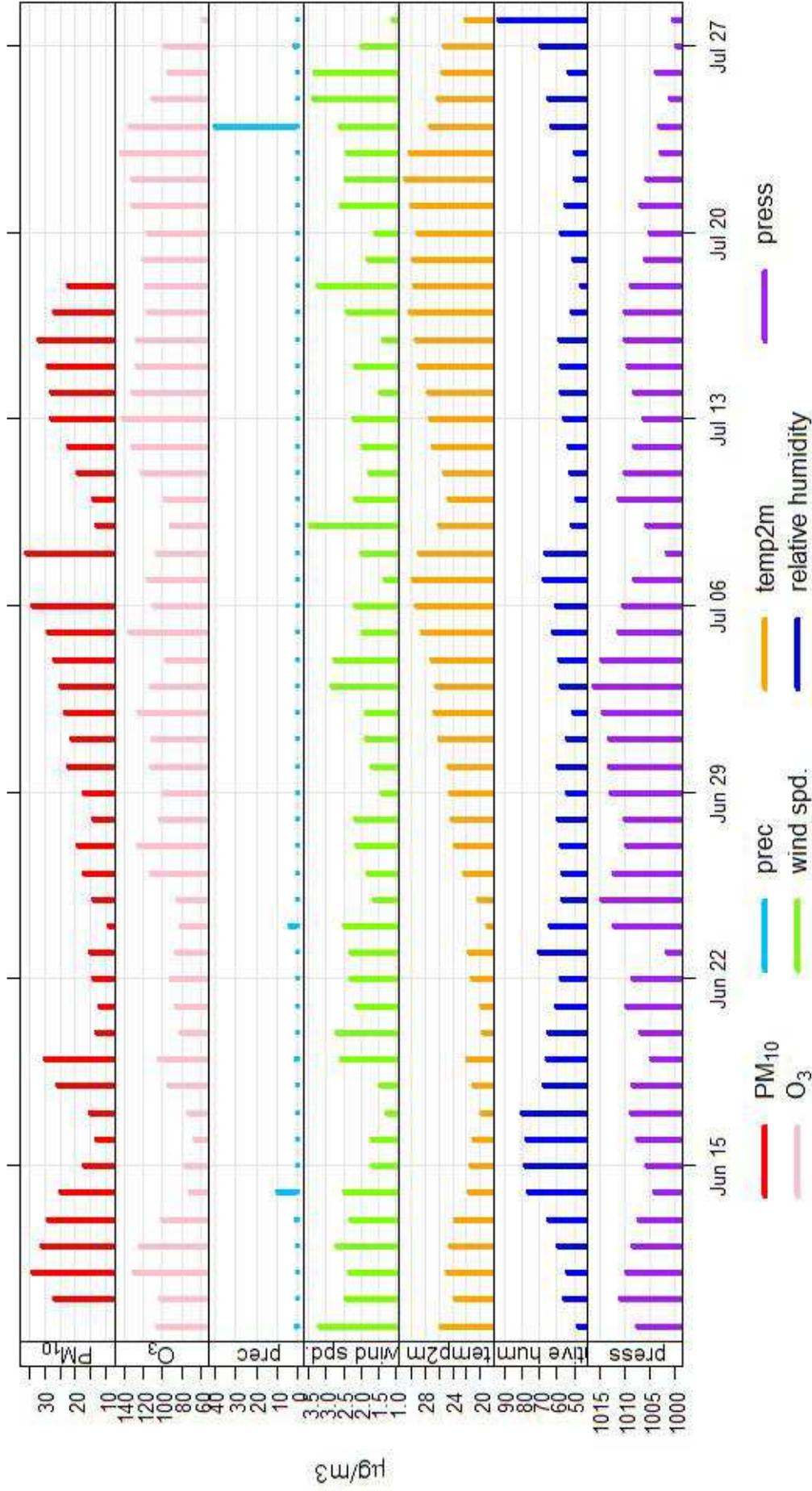


Grafico 12 – Concentrazione media giornaliera di PM10 e massimo giornaliero della media mobile su 8 ore di O₃ (µg/m³) ad Affi, e variabili meteorologiche della stazione di Bardolino: prec=precipitazione accumulata in un giorno (mm); wind spd= velocità del vento a 10m (m/s); temp2m=temperatura a 2m (°C); relative humidity= umidità relativa (%). La pressione (press, mbar) è stata rilevata presso Verona-Giarol.

estate



inverno

