

Campagna di Monitoraggio della Qualità dell'Aria

Comune di Negrar

1^a Campagna di Monitoraggio

Via Francia

Periodo di attuazione:

21/06/2017 – 01/08/2017

2^a Campagna di Monitoraggio

Via Francia

Periodo di attuazione:

24/11/2017 – 12/01/2018

RELAZIONE TECNICA

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Verona

Direttore: Giancarlo Cunego

Servizio Stato dell'Ambiente

Ottorino Piazza

Servizio Controlli Ambientali

Francesca Predicatori

Ufficio Informativo Ambientale

Simona De Zolt Sappadina

Ufficio Reti di Monitoraggio

Andrea Salomoni

Ufficio attività tecniche e specialistiche

Giampaolo Fusato

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. 3 / 2018		Data: 09/05/2018
F.to Il Tecnico Ufficio attività tecniche e specialistiche Dr. Giampaolo Fusato	F.to Il Dirigente Unità Operativa Fisica Ambientale Dr.ssa Francesca Predicatori	

INDICE

1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna	4
2. Caratterizzazione del sito e tempistiche di realizzazione	4
3. Inquinanti monitorati e normativa di riferimento	6
4. Informazioni sulla strumentazione e sulle analisi.....	7
5. Commento sulla situazione meteorologica - periodo estivo.....	8
6. Commento sulla situazione meteorologica periodo invernale.....	10
7. Analisi dei dati rilevati.....	13
8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria)	20
9. Confronto tra i siti di Negrar-Via Francia e San Pietro in Cariano-Via Chopin	22
10. Conclusioni	26
ALLEGATO	27

1. Introduzione e obiettivi specifici della campagna

La campagna rientra nell'attività di monitoraggio programmata annualmente dal Dipartimento ARPAV di Verona. Il monitoraggio permette di fornire informazioni sulla qualità dell'aria nel Comune di Negrar. I dati di monitoraggio integrano, inoltre, i dati forniti dalla rete di qualità dell'aria della provincia di Verona, approfondiscono e completano i risultati delle indagini svolte negli anni precedenti.

La campagna è stata richiesta dal Comune di Negrar con nota prot. n. 2270 del 30/01/2017, acquisita agli atti con prot. 8801 del 30/01/2017.

2. Caratterizzazione del sito e tempistiche di realizzazione

La prima campagna di monitoraggio della qualità dell'aria con stazione rilocabile si è svolta dal 21/06/2017 al 01/08/2017, la seconda dal 24/11/2017 al 12/01/2018. L'area sottoposta a monitoraggio si trova in comune di Negrar ed è di tipologia "background sub-urbano". Il comune di Negrar ricade nella zona "Agglomerato Verona", ai sensi della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 2130/2012 e rappresentata in Figura 1. In Figura 2 è indicata l'ubicazione dei punti in cui si è svolto il monitoraggio.

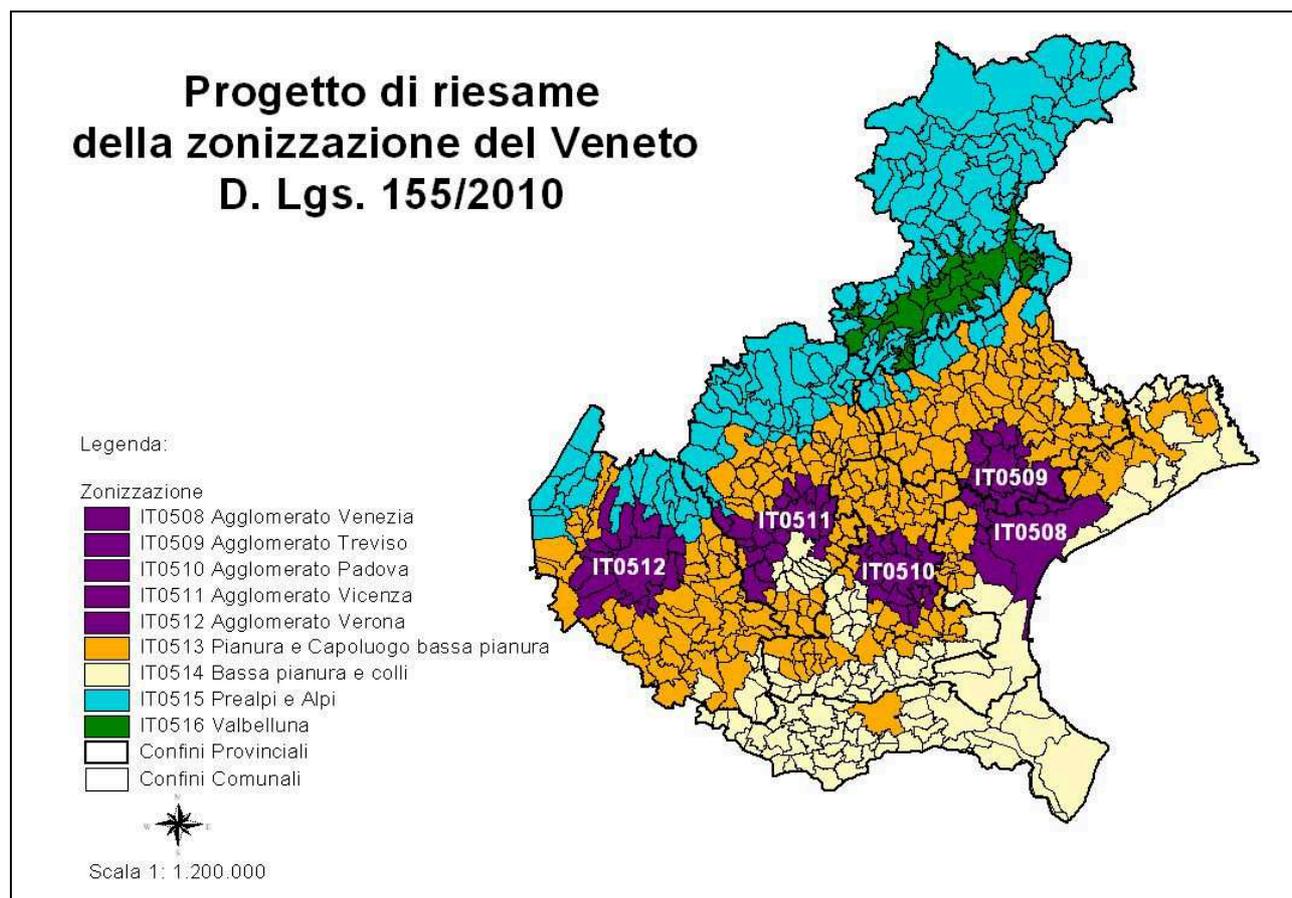


Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012.

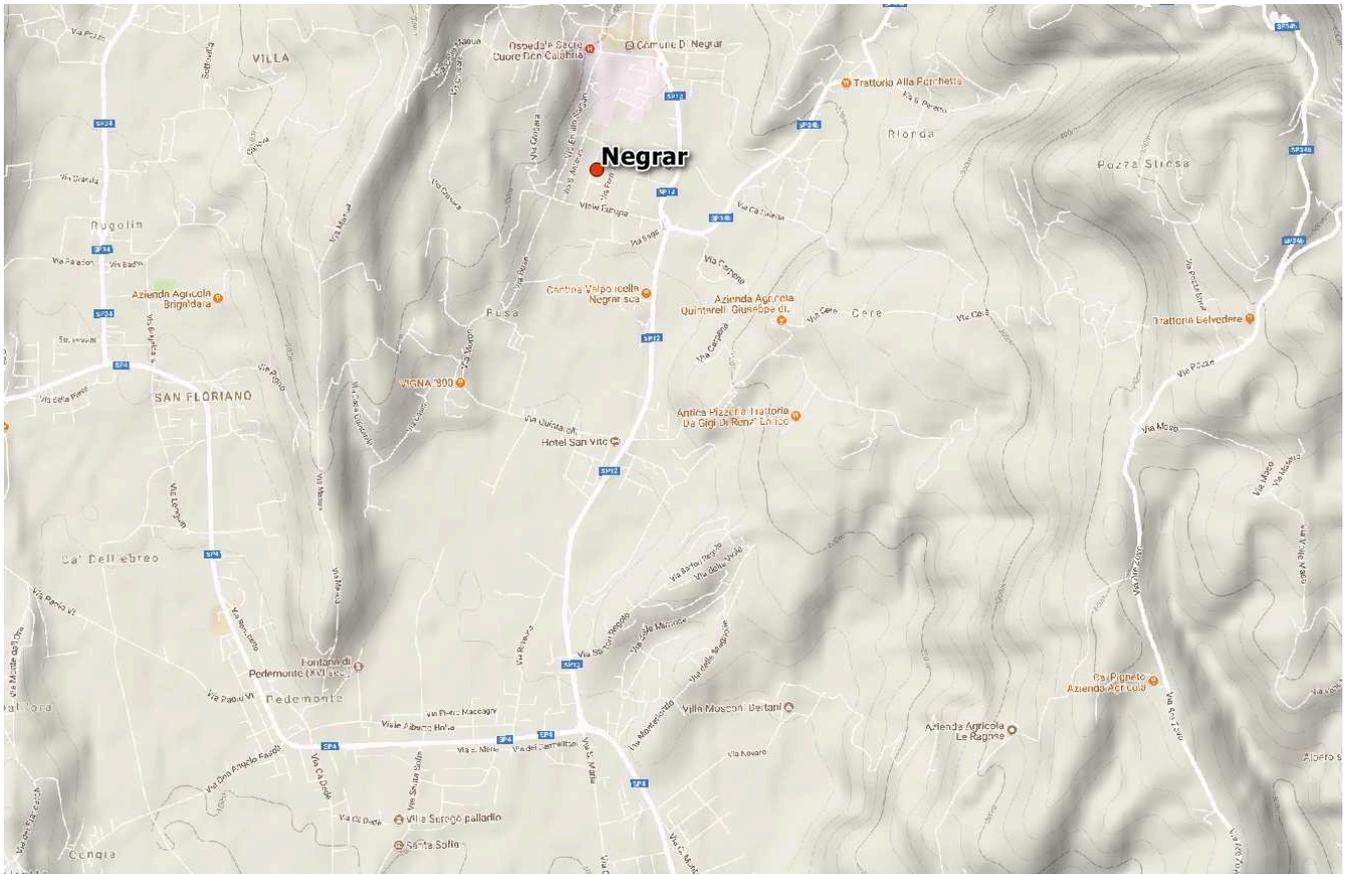


Figura 2 – Ubicazione del punto di monitoraggio

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 l'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.

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, eccezion fatta 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 seguenti 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.

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

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
PM10	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

(*) 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.

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

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	26 µg/m ³ (per il 2013)
	Valore obiettivo (media su anno civile)	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 per la protezione degli ecosistemi.

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

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, 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 fornello 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. Commento sulla situazione meteorologica - periodo estivo

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

in rosso (precipitazione giornaliera inferiore a 1 mm e intensità media del vento minore di 0.5 m/s): condizioni poco favorevoli alla dispersione degli inquinanti;

in giallo (precipitazione giornaliera compresa tra 1 e 6 mm e intensità media del vento nell’intervallo 0.5 m/s e 1.5 m/s): situazioni debolmente dispersive;

in verde (precipitazione giornaliera superiore a 6 mm e intensità media del vento maggiore di 1.5 m/s): situazioni molto favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

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

Per la descrizione della situazione meteorologica si è scelto di utilizzare la stazione di Marano di Valpolicella (cod. 124, prov. VR, che dista meno di 5 km). Presso la stazione di Marano, la quota di misura del vento è 2 m quindi l’intensità del vento è sottostimata rispetto a misure effettuate a 5 o 10 m di altezza; per questo motivo, nel grafico con i diagrammi circolari, si utilizza una scala di intensità del vento che permetta di apprezzare eventuali differenze fra valori di bassa intensità. Si sottolinea, inoltre, il fatto che la misura del vento presso la stazione di Marano è fortemente influenzata dall’orografia circostante, quindi potrebbe presentare caratteristiche differenti da quella del luogo di svolgimento della campagna di misura.

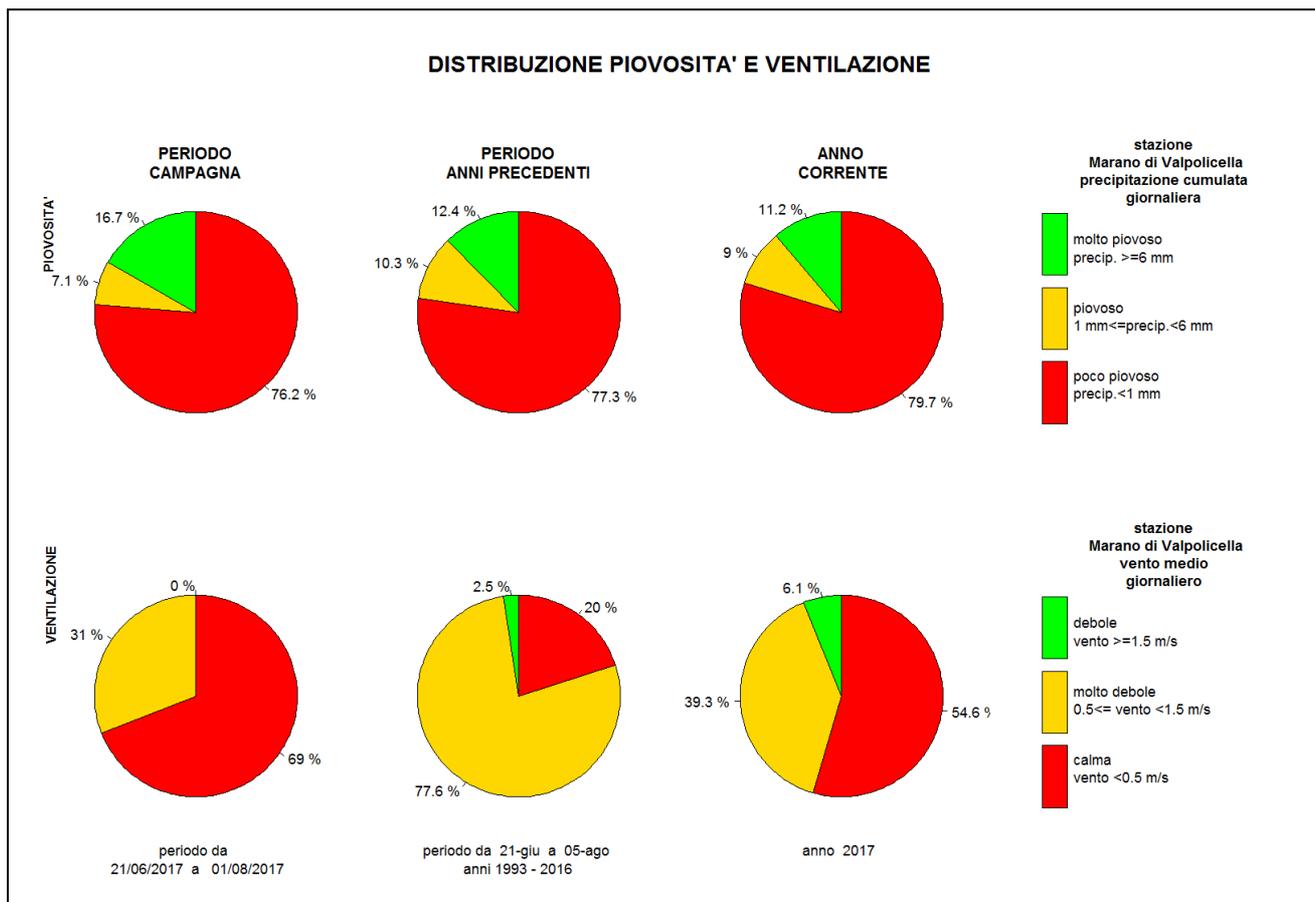


Figura 3: diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadale corrispondente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

- 21 giugno - 1 agosto, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 21 giugno - 5 agosto dall'anno 1993 all'anno 2016 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 1 gennaio - 31 dicembre 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 un po' più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento;
- i giorni con calma di vento sono stati ben più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento, con uno scarto maggiore rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti.

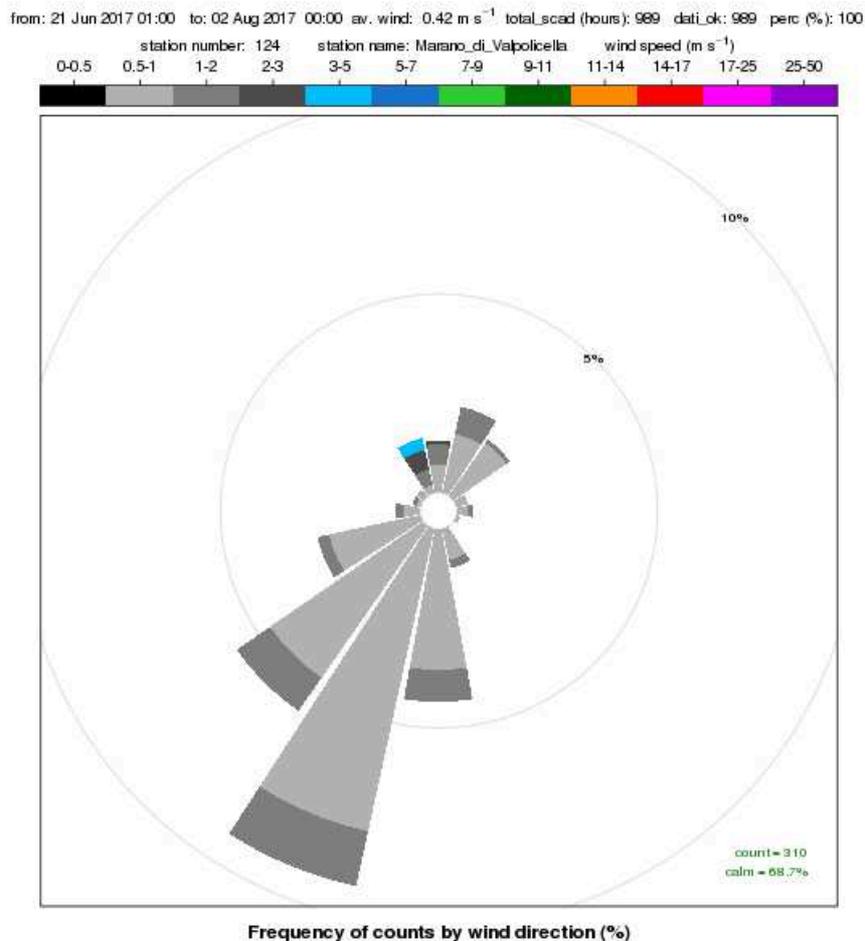


Figura 4: rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Marano di Valpolicella nel periodo 21 giugno - 1 agosto 2017

In Figura 6 si riporta la rosa dei venti registrati presso la stazione di Marano di Valpolicella durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che a prevalere sono state le calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) con una frequenza di circa il 69% dei casi; per venti di intensità superiore, la direzione prevalente di provenienza è sud-sudovest (circa 9% dei casi), seguita da sud-ovest (circa 6%). La velocità media è stata pari a circa 0.4 m/s. Si ricorda che, a causa della presenza di rilievi orografici nelle aree circostanti, la rosa dei venti rilevati a Marano di Valpolicella potrebbe essere non completamente rappresentativa del regime dei venti nell'area di svolgimento della campagna di misura.

6. Commento sulla situazione meteorologica periodo invernale

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

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

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

Per la descrizione della situazione meteorologica si è scelto di utilizzare la stazione di Marano di Valpolicella (cod. 124, prov. VR, che dista meno di 5 km). Presso la stazione di Marano, la quota di misura del vento è 2 m quindi l'intensità del vento è sottostimata rispetto a misure effettuate a 5 o 10 m di altezza; per questo motivo, nel grafico con i diagrammi circolari si utilizza una scala di intensità del vento che permetta di apprezzare eventuali differenze fra valori di bassa intensità. Si sottolinea, inoltre, il fatto che la misura del vento presso la stazione di Marano è fortemente influenzata dall'orografia circostante, quindi potrebbe presentare caratteristiche differenti da quella del luogo di svolgimento della campagna di misura.

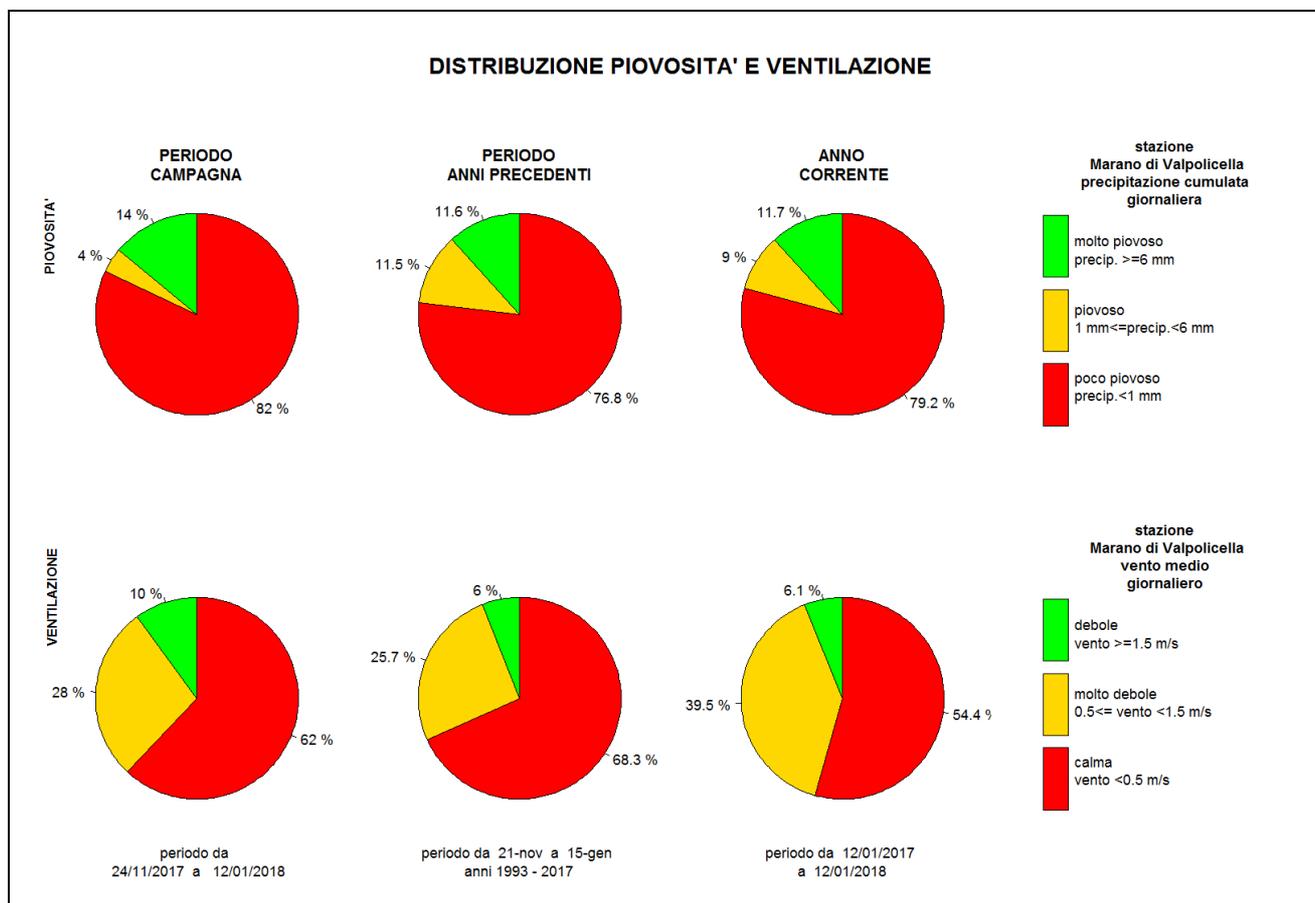


Figura 5: diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadale corrispondente 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 in tre periodi:

- 24 novembre - 12 gennaio, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 21 novembre - 15 gennaio dall'anno 1993 all'anno 2017 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 12 gennaio 2017 - 12 gennaio 2018 (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 allo stesso periodo degli anni precedenti, mentre rispetto all'anno corrente la distribuzione è simile, salvo una frequenza leggermente minore dei giorni piovosi (situazioni debolmente dispersive);

- i giorni con calma di vento sono stati un po' più frequenti rispetto all'anno corrente e un po' meno frequenti rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti.

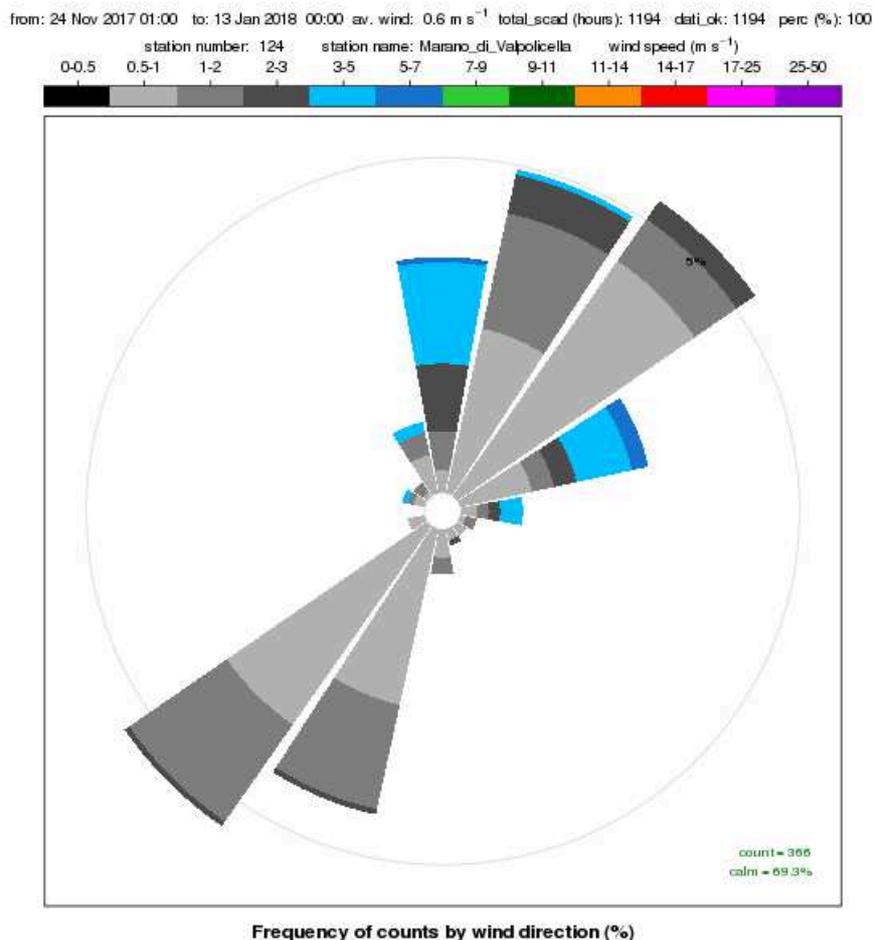


Figura 6: rosa dei venti registrati presso la stazione meteorologica di Marano di Valpolicella nel periodo 24 novembre 2017 - 12 gennaio 2018

In Figura 6 si riporta la rosa dei venti registrati presso la stazione di Marano di Valpolicella durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che a prevalere sono state le calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) con una frequenza di circa il 69% dei casi; per venti di intensità superiore, le direzioni prevalenti di provenienza sono sud-ovest e nord-est (entrambe circa 5% dei casi). La velocità media è stata pari a circa 0.6 m/s. Si ricorda che, a causa delle presenza di rilievi orografici nelle aree circostanti, la rosa dei venti rilevati a Marano di Valpolicella potrebbe essere non completamente rappresentativa del regime dei venti nell'area di svolgimento della campagna di misura.

7. Analisi dei dati rilevati

In questo capitolo vengono analizzati i risultati delle analisi della concentrazione dei vari inquinanti, misurata durante le campagne di misura. Nelle tabelle riportate, sono stati calcolati vari parametri statistici, che consentono una descrizione sintetica ed esaustiva della concentrazione di inquinanti misurati nei due siti di campionamento.

I valori vengono confrontati, ove possibile, con i dati di altre due stazioni di monitoraggio, in particolare la stazione di Verona Borgo Milano e quella di Verona Giarol Grande, con dati sul periodo dal 20/06/2017 al 04/08/2017 e dal 20/11/2017 al 11/01/2018. La stazione di VR borgo Milano è una stazione di traffico urbano, quella di VR Giarol è una stazione di fondo urbano.

Grandezza statistica	Significato
N	Numero totale di ore del periodo di analisi
media	Media
sd	Deviazione Standard
min	Minimo
max	Massimo
mediana	Mediana
N superamenti limite	Numero di superamenti di un certo limite

Tabella 4. Principali grandezze statistiche analizzate

Monossido di carbonio (CO)

Durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione di monossido di carbonio non ha mai superato il valore limite (Allegato - Grafico 1). Le medie di periodo sono risultate pari a 0.16 e 0.45 mg/m³ per le campagne di monitoraggio rispettivamente estiva e invernale.

CO (mg/m ³)	ESTATE	INVERNO
	Negrar	Negrar
Media	0,16	0,45
Deviazione Standard	0,07	0,30
Minimo	≤ 0.1	≤ 0.1
Massimo	0,41	1,53
Mediana	0,16	0,39
N di ore totali analizzate	947	1111
95°percentile	0,28	1,03
N superamenti 10 mg/m ³	0	0

Tabella 5. Concentrazione di CO.

Dati delle campagne di misura.

Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 0.1 mg/m³.

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

Come si può vedere in Tabella 6, 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 Verona, Borgo Milano di traffico urbano e Giarol Grande di fondo urbano, non sono stati rilevati dei superamenti. Relativamente all'esposizione cronica (Tabella 6 e Figura 6), la media delle concentrazioni orarie misurate nei due periodi, pari a 22 µg/m³, è inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³. Invece, il valore medio di NO_x, pari a 43 µg/m³ supera il limite annuale per la protezione della vegetazione pari a 30 µg/m³ (si ricorda tuttavia che il confronto con il valore limite di protezione degli ecosistemi rappresenta un riferimento puramente indicativo, in quanto il sito indagato non risponde esattamente alle caratteristiche previste dal D.Lgs. 155/10¹). In entrambi i periodi di monitoraggio il valore medio di concentrazione misurato è confrontabile con quello rilevato presso la stazione di fondo di Verona, situata in via Belluno, loc. Giarol Grande.

NO ₂ (µg/m ³)	ESTATE		
	Negrar	Corso Milano	Giarol Grande
Media	11	22	16
Deviazione Standard	7	11	10
Minimo	≤ 4	6	≤ 4
Massimo	49	77	73
Mediana	10	20	13
N di ore totali analizzate	976	1058	954
95°percentile	25	44	38
N superamenti 200 µg/m ³	0	0	0
N superamenti 400 µg/m ³	0	0	0
NO ₂ (µg/m ³)	INVERNO		
	Negrar	Corso Milano	Giarol Grande
Media	32	42	39
Deviazione Standard	15	15	16
Minimo	≤ 4	5	≤ 4
Massimo	86	105	108
Mediana	31	41	39
N di ore totali analizzate	1195	1127	1165
95°percentile	58	69	66
N superamenti 200 µg/m ³	0	0	0
N superamenti 400 µg/m ³	0	0	0

Tabella 6. Concentrazione di NO₂.

Dati delle campagne di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m³.

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.

NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE		
	Negrar	Corso Milano	Giarol Grande
Media	16	27	18
Deviazione Standard	9	14	14
Minimo	5	7	≤ 4
Massimo	100	111	107
Mediana	14	23	13
N di ore totali analizzate	976	1058	954
95°percentile	32	53	43
NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	INVERNO		
	Negrar	Corso Milano	Giarol Grande
Media	69	129	113
Deviazione Standard	59	91	85
Minimo	6	5	≤ 4
Massimo	364	523	626
Mediana	51	108	93
N di ore totali analizzate	1195	1127	1165
95°percentile	196	317	265

Tabella 7. Concentrazione di NOx. Dati delle campagne di misura. Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Biossido di zolfo (SO_2)

Durante le due campagne di monitoraggio, la concentrazione di biossido di zolfo è stata ampiamente inferiore ai valori limite (Allegato - Grafico 3 e Grafico 4), come tipicamente accade presso tutte le stazioni di monitoraggio della Provincia di Verona.

La media complessiva delle concentrazioni orarie misurate è risultata inferiore al valore limite di rivelabilità strumentale analitica ($<3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), quindi ampiamente inferiore al limite per la protezione degli ecosistemi ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

SO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE	INVERNO
	Negrar	Negrar
Media	≤ 3	≤ 3
Deviazione Standard	1,9	0,4
Minimo	≤ 3	≤ 3
Massimo	10	5
Mediana	1,5	1,5
N di ore totali analizzate	924	1145
95°percentile	7	2
N superamenti $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0
N superamenti $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0
N superamenti $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0

Tabella 8. Concentrazione di SO_2 .
Dati delle campagne di misura.
Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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. (Allegato - Grafico 6 e Grafico 6). La dipendenza di questo inquinante da alcune variabili meteorologiche, temperatura e radiazione solare in particolare, comporta una certa variabilità da un anno all'altro, pur in un quadro di vasto inquinamento diffuso.

Durante il monitoraggio presso il sito in esame, sono stati registrati 26 superamenti del limite di 120 µg/m³ sulla media mobile di 8 ore nella campagna di monitoraggio estiva.

Sono invece 47 superamenti del limite di 180 µg/m³ sulla media oraria sempre nella campagna di monitoraggio estiva.

Durante le due campagne di monitoraggio la concentrazione media oraria di ozono non ha mai superato la soglia di allarme pari a 240 µg/m³ (Allegato – Grafico 6).

O ₃ (µg/m ³)	ESTATE	
	Negrar	Giarol Grande
Media	105	92
Deviazione Standard	39	41
Minimo	28	9
Massimo	226	202
Mediana	101	89
N di ore totali analizzate	915	1055
95°percentile	180	168
N superamenti 180 µg/m ³	47	21
N superamenti 240 µg/m ³	0	0
N superamenti 120 µg/m ³	26	30

O ₃ (µg/m ³)	INVERNO	
	Negrar	Giarol Grande
Media	15	10
Deviazione Standard	16	16
Minimo	≤ 4	≤ 4
Massimo	66	64
Mediana	8	2
N di ore totali analizzate	1192	1159
95°percentile	50	53
N superamenti 180 µg/m ³	0	0
N superamenti 240 µg/m ³	0	0
N superamenti 120 µg/m ³	0	0

Tabelle 9. Concentrazione di O₃.

Dati delle campagne di misura.

Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è 4 µg/m³.

Polveri atmosferiche inalabili (PM10)

Durante i due periodi di monitoraggio la concentrazione di polveri PM10 ha superato il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana, pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, per 10 volte nel periodo della campagna di monitoraggio invernale (limite: non superare per più di 35 volte per anno civile). (Allegato - Grafico 7) .

In Tabella 10, i dati relativi a Negrar sono stati confrontati con quelli delle due centraline di riferimento di Borgo Milano e Verona Giarol. Si può vedere che nel periodo di campagna "estiva", i valori medi e massimi di PM10 sono inferiori rispetto a quelli relativi al periodo invernale, presso tutte le postazioni di misura: questo è determinato dalle condizioni meteorologiche che in estate sono più favorevoli alla dispersione degli inquinanti. I valori medi di concentrazione di PM10 in estate sono pari a quelli delle centraline di riferimento, in inverno sono inferiori anche a quelli rilevati presso la stazione di fondo urbano. Il numero di superamenti del limite normativo di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è inferiore rispetto alle centraline di riferimento.

PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ESTATE		
	Negrar	Corso Milano	Giarol Grande
Media	19	19	21
Deviazione Standard	7	6	9
Minimo	11	10	3
Massimo	35	36	41
Mediana	18	18	21
N di ore totali analizzate	950	1080	1080
95°percentile	32	30	37
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0

PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	INVERNO		
	Negrar	Corso Milano	Giarol Grande
Media	40	50	48
Deviazione Standard	20	24	24
Minimo	0	10	10
Massimo	79	97	101
Mediana	36	48	47
N di ore totali analizzate	1186	1248	1128
95°percentile	75	92	87
N superamenti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	10	24	23

Tabella 10. Concentrazione di PM10: principali parametri statistici.
Dati delle campagne di misura.
Il limite di rivelabilità dello strumento di misura è $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Allo scopo di valutare il rispetto dei valori limite di legge previsti dal D.Lgs. 155/10 per il parametro PM10 (ovvero il rispetto del valore limite sulle 24 ore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e del valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nei siti presso i quali si realizza una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria di

lunghezza limitata (misurazioni indicative), è stata utilizzata una metodologia di calcolo elaborata dall'Osservatorio Regionale Aria di ARPAV.

Tale metodologia prevede di confrontare il "sito sporadico" (campagna di monitoraggio) con una stazione fissa, considerata rappresentativa per vicinanza o per stessa tipologia di emissioni e di condizioni meteorologiche. Sulla base di considerazioni statistiche è possibile così stimare, per il sito sporadico, il valore medio annuale e il 90° percentile delle concentrazioni di PM10; quest'ultimo parametro statistico è rilevante in quanto corrisponde, in una distribuzione di 365 valori, al 36° valore massimo. Poiché per il PM10 sono consentiti 35 superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³, in una serie annuale di 365 valori giornalieri, se il 36° valore in ordine di grandezza è minore di 50 µg/m³ si può affermare che il numero di superamenti del limite giornaliero per la protezione dagli effetti acuti è rispettato.

Per quanto detto, il sito di Negrar è stato confrontato con la stazione fissa di riferimento di fondo urbano di Verona Giarol. La metodologia di calcolo stima per il sito sporadico di Negrar il valore medio annuale di 28 µg/m³ (inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³) ed il 90° percentile di 55 µg/m³ (superiore al valore limite giornaliero di 50 µg/m³).

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

Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

In tabella 11 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzo(a)pirene per le due postazioni di Negrar e della centralina fissa di Verona Giarol. Tali parametri sono stati calcolati a partire dai soli dati relativi a giorni in cui sono disponibili misure per entrambe le località, per rendere significativo il confronto. Invece tabella 12 gli stessi parametri sono stati calcolati utilizzando tutti i dati disponibili per Negrar. La concentrazione media di benzo(a)pirene a Negrar è pari a quella registrata presso la stazione di fondo urbano di Verona Giarol in entrambi i periodi di campagna. Il valore medio a Negrar riferito ai due periodi è 0.9 (tabella 12), inferiore al valore obiettivo, riferito alla media annuale, di 1.0 ng/m³.

Si noti che i valori invernali sono molto elevati in ambedue le postazioni, mentre nel periodo estivo le concentrazioni di IPA sono inferiori al limite di rivelabilità presso ambedue le postazioni.

Benzo(a)pirene (ng/m ³)	ESTATE		INVERNO		ESTATE + INVERNO	
	Negrar	VR-Giarol	Negrar	VR-Giarol	Negrar	VR-Giarol
media	< 0.02	< 0.02	2.0	2.1	0.8	0.9
N	16	16	11	11	27	27
sd	-	-	0.3	0.6	-	-
max	-	-	2.2	2.7	2.2	2.7
min	-	-	1.6	1.4	<0.02	<0.02

Tabella 11. Concentrazione di Benzo(a)pirene: dati della campagna di misura a Negrar e della centralina fissa di fondo urbano di VR-Giarol. 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
Benzo(a)antracene	39	0.02	-	0.02	0.02	35	1.27	0.41	1.72	0.65	74	0.41	1.72	0.02
Benzo(a)pirene	39	<0.02	-	-	-	35	1.80	0.39	2.24	1.14	74	0.87	2.24	<0.02
Benzo(b)fluorantene	39	0.01	0.005	0.02	0.01	35	1.79	0.39	2.28	1.18	74	0.85	2.28	0.01
Benzo(ghi)perilene	39	0.03	0.004	0.03	0.02	35	1.67	0.31	2.05	1.12	74	0.81	2.05	0.02
Benzo(k)fluorantene	39	<0.02	-	-	-	35	0.84	0.17	1.05	0.56	74	0.41	1.05	<0.02
Dibenzo(ah)antracene	39	<0.02	-	-	-	35	0.14	0.03	0.17	0.1	74	0.08	0.17	<0.02
Indeno(123cd)pirene	39	<0.02	-	-	-	35	1.40	0.28	1.76	0.95	74	0.68	1.76	<0.02
Crisene	39	0.01	0.005	0.02	0.01	35	1.38	0.39	1.8	0.75	74	0.53	1.8	0.01

Tabella 12. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di diverse specie di IPA, misurata a Negrar, calcolati utilizzando tutti i dati di campagna disponibili

Benzene

In tabella 13 sono stati riportati i principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene misurata con campionatori passivi nei due periodi di campagna a Negrar e nelle stazioni fisse di riferimento di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol. 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.

Il benzene presenta valori inferiori al limite di rivelabilità strumentale nel periodo estivo, a Negrar come anche presso le centraline del comune di Verona. In inverno i valori misurati sono invece più elevati: un unico radiello è stato esposto per 25 giorni, ed ha registrato una concentrazione media di 2.8 µg/m³. In questo periodo non sono state effettuate analoghe misurazioni presso le centraline del Comune di Verona, pertanto il confronto non è possibile. I dati misurati sono stati sempre inferiori al limite normativo di 5 µg/m³, che si riferisce alla media annuale.

benzene (µg/m ³)	ESTATE			INVERNO
	Negrar	VR-BgoMilano	Verona-Giarol	Negrar
Media	<0.5	<0.5	<0.5	2.8
N giorni	17	17	17	25
sd	0	0	0	
max	<0.5	<0.5	<0.5	2.8
min	<0.5	<0.5	<0.5	2.8

Tabella 13. Principali parametri statistici relativi alla concentrazione di benzene, misurata a Negrar, calcolati utilizzando tutti i dati di campagna disponibili

8. Valutazione dell'IQA (Indice Qualità Aria)

Un indice di qualità dell'aria è una grandezza che permette di rappresentare in maniera **sintetica** lo stato di qualità dell'aria tenendo conto contemporaneamente del contributo di molteplici inquinanti atmosferici. L'indice è normalmente associato a una **scala di 5 giudizi sulla qualità dell'aria** come riportato nella tabella a fianco.

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/indice-di-qualita-dellaria-iqa>.

In Figura 3 e Figura 4 è riportato il numero di giorni ricadenti in ciascuna classe dell'IQA, per le due campagne di misura.

L'indice IQA risulta peggiore nella campagna di monitoraggio estiva; ciò è dovuto in particolare ai valori di ozono più elevati rispetto alla campagna di monitoraggio invernale, anche visto il periodo campionamento nei mesi estivi, ove l'ozono è in genere più elevato. In inverno però ci sono stati 11 superamenti del valore limite giornaliero per la protezione della salute umana, pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cromatismi	Qualità dell'aria
●	Buona
●	Accettabile
●	Mediocre
●	Scadente
●	Pessima

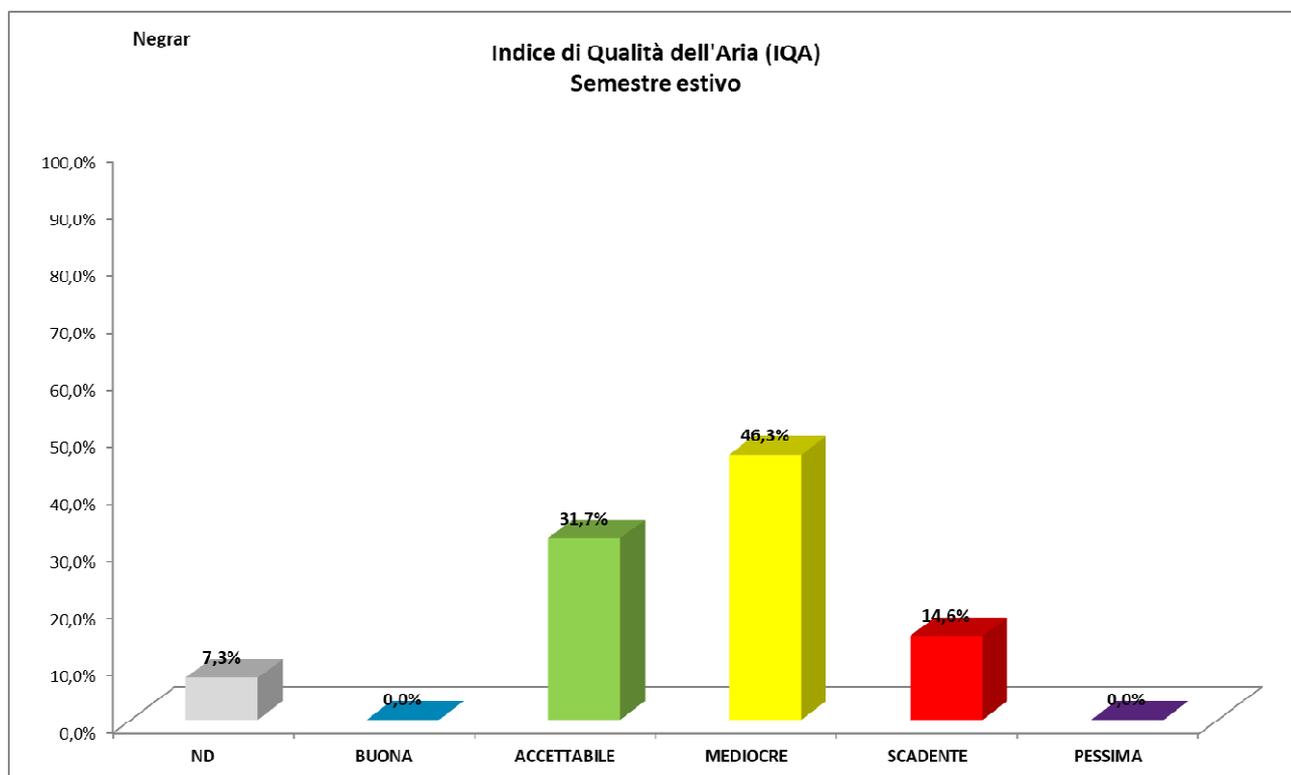


Figura 3. Indice di qualità dell'aria nel sito di Negrar – Semestre estivo.

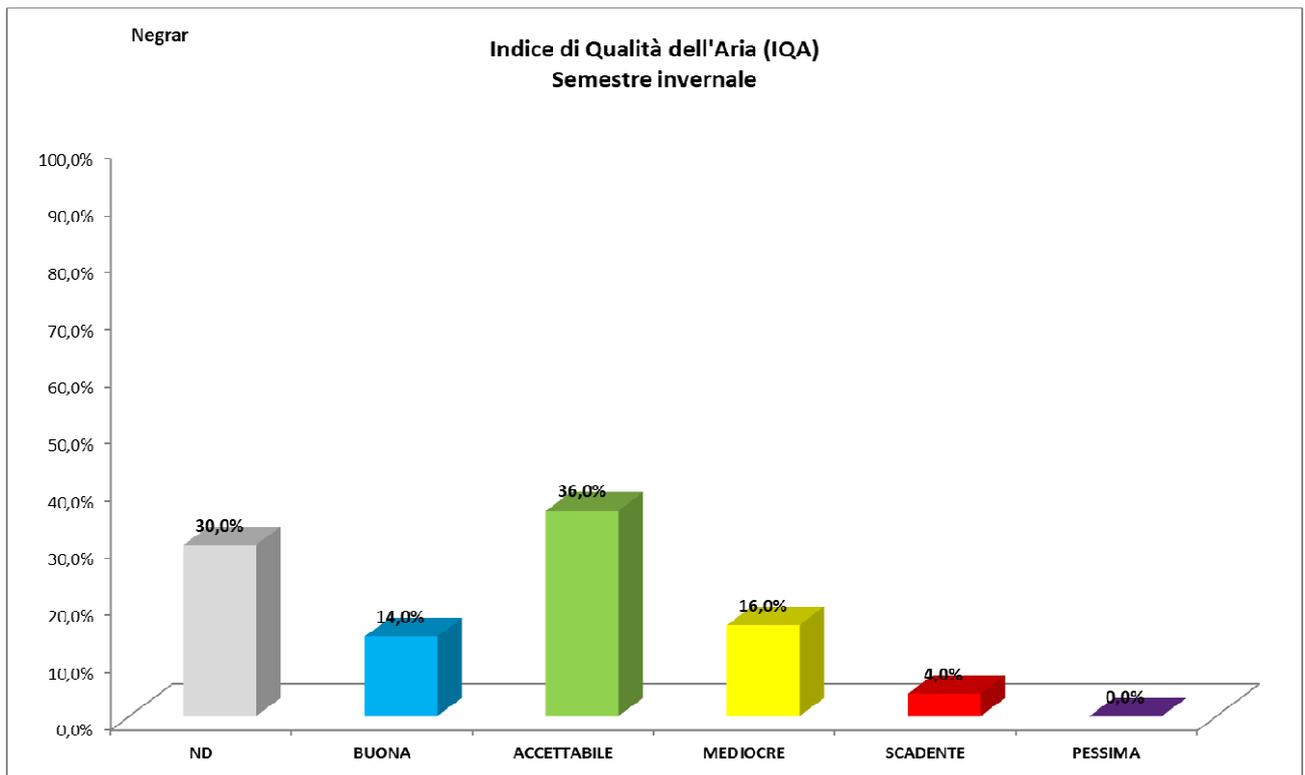


Figura 4. Indice di qualità dell'aria nel sito di Negrar – Semestre invernale.

9. Confronto tra i siti di Negrar-Via Francia e San Pietro in Cariano-Via Chopin

Nello stesso periodo in cui si sono svolte le due campagne di misura nel comune di Negrar in Via Francia, un'altra unità mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria era posizionata nel comune limitrofo di San Pietro in Cariano, in Via Chopin. Nel presente capitolo viene realizzato un confronto tra i due siti di misura per i principali inquinanti: NO₂, O₃, PM10 e Benzo(a)pirene. I dati vengono confrontati per mezzo di box-wisker plot, che sintetizzano in modo immediato i principali parametri statistici relativi alle varie serie temporali. Per le elaborazioni relative ai box-wisker plot delle figure da 5 a 7 e della tabella 14, sono stati considerati solamente gli istanti in cui sono disponibili i dati per tutte le postazioni messe a confronto.

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto (Figura 5), i valori medi e massimi misurati nei due comuni della Valpolicella sono sempre inferiori a quelli misurati nel comune di Verona, presso le due centraline di riferimento di VR - Borgo Milano e VR - Giarol. Mentre in estate tali valori sono più elevati a San Pietro in Cariano, in inverno sono invece più alti a Negrar, anche se le differenze non sono elevate.

Anche le polveri sottili, nella la stagione invernale, durante la quale rappresentano l'inquinante più critico (Figura 6, pannello a sinistra), sono più elevate a Negrar rispetto a San Pietro in Cariano, sia nei valori medi sia in quelli massimi: tali parametri statistici sono comunque vicini per le due località, ed inferiori a quelli delle centraline del comune di Verona.

L'ozono, inquinante critico nel periodo estivo, mostra valori medi e massimi più elevati nei comuni della Valpolicella rispetto alla centralina di Verona-Giarol, in particolare a Negrar.

Il benzo(a)pirene mostra valori medi e massimi molto simili nelle tre località considerate, ma più elevati a VR-Giarol e Negrar rispetto a San Pietro in Cariano (Figura 7). Sono riportati solo i dati della campagna invernale, in quanto il periodo estivo non è critico per questo inquinante e i valori ad esso relativi sono molto bassi, vicini o inferiori al limite di rivelabilità strumentale.

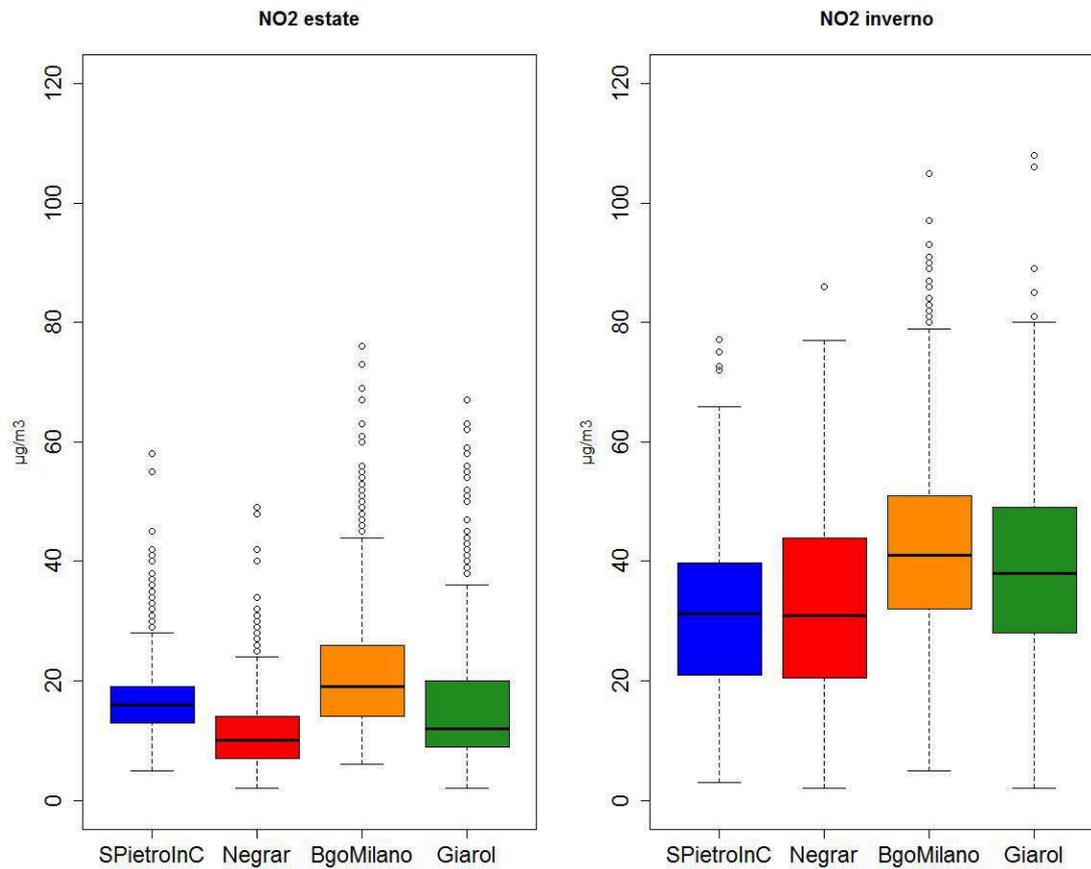


Figura 5. Box-plot della concentrazione di NO₂. Dati relativi a Negrar, a San Pietro in Cariano, e alle due centraline di riferimento di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol. Campagna di misura estiva (pannello a sinistra) e invernale (pannello a destra).

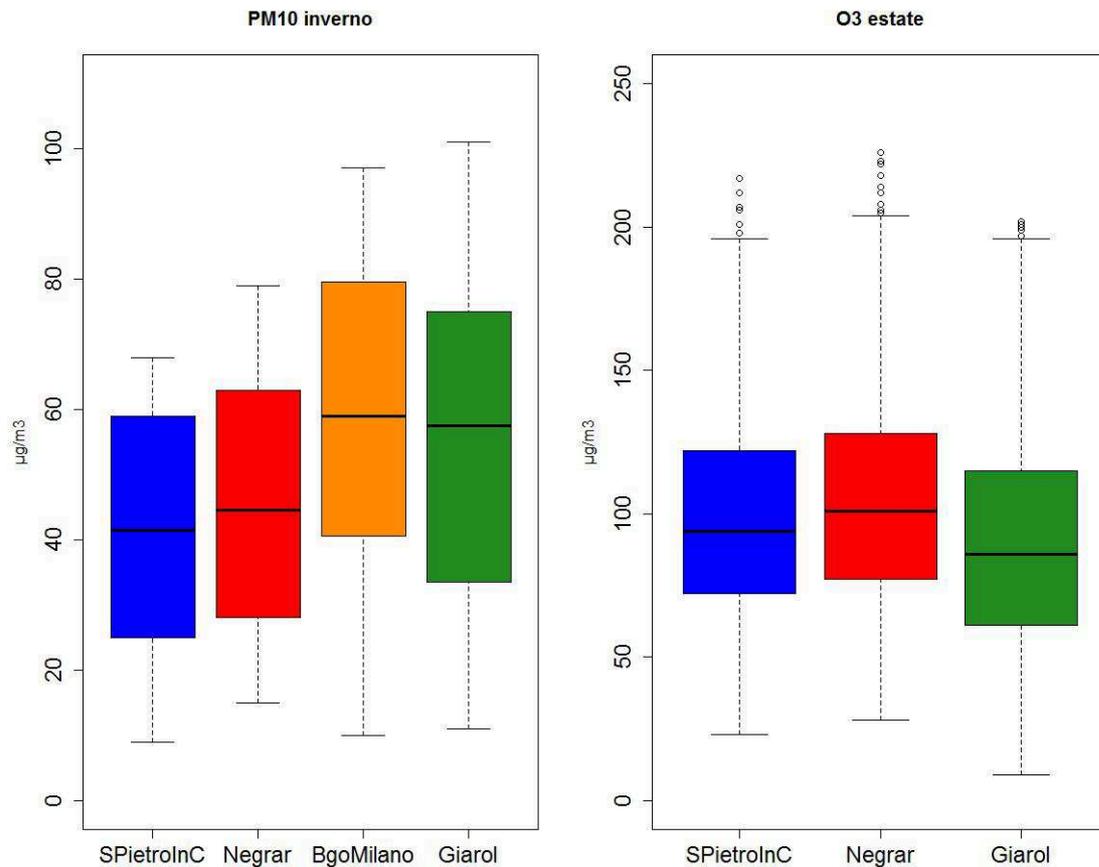


Figura 6. Box-plot della concentrazione di PM10 e O₃. Dati relativi a Negrar, a San Pietro in Cariano, e alle due centraline di riferimento di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol. PM10 campagna di misura invernale (pannello a sinistra) e O₃ campagna estiva (pannello a destra).

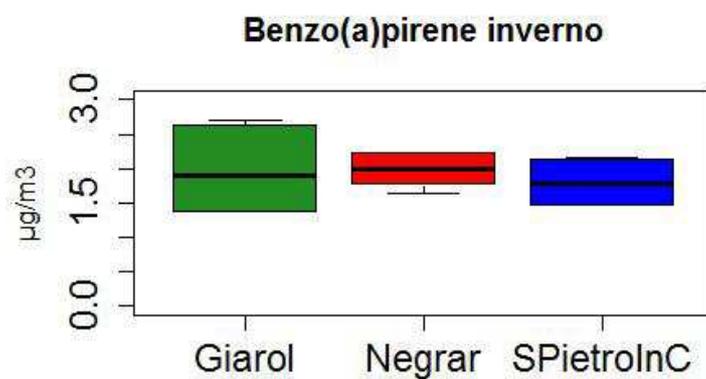


Figura 7. Concentrazione di Benzoapirene nella campagna invernale. Dati relativi a Negrar, a San Pietro in Cariano, e alle due centraline di riferimento di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol. Box-plot nel pannello a sinistra, tabella riassuntiva nel pannello a destra.

BaP inverno (ng/m ³)	SPietroInC	Negrar	Giarol
n	8	8	8
mean	1.80	1.99	1.99
sd	0.34	0.25	0.65
median	1.77	2.00	1.89
min	1.47	1.64	1.38
max	2.16	2.24	2.71

Tabella 14. Concentrazione di Benzoapirene nella campagna invernale. Dati relativi a Negrar, a San Pietro in Cariano, e alle due centraline di riferimento di Verona-Borgo Milano e Verona-Giarol.

10. Conclusioni

Il mezzo mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria è stato posizionato nel comune di Negrar in via Francia presso la sede comunale: il sito, per le caratteristiche descritte, può essere considerato di "background sub-urbano".

Le campagne di misura sono state realizzate in due periodi dell'anno: nel periodo estivo, dal 21 giugno 2017 al 1 agosto 2017; in periodo invernale, dal 24 novembre 2017 al 12 gennaio 2018.

Sono state misurate le concentrazioni medie orarie di CO, NO₂, SO₂, O₃, le medie giornaliere di PM10 e IPA, le medie su più giorni di benzene. E' stata realizzata un'analisi dei dati e sono stati calcolati vari parametri statistici ed è stato effettuato un confronto con le due stazioni fisse di riferimento: quella di traffico urbano di Verona Borgo Milano e quella di fondo urbano di Verona Giarol Grande.

Nel caso degli ossidi di azoto, inquinanti legati principalmente alle emissioni da traffico, i valori medi registrati a Negrar sono confrontabili con quelli misurati a Verona Giarol.

Nel periodo di svolgimento delle campagne di misura non vi è stato alcun superamento dei limiti normativi relativi all'esposizione acuta a Negrar, come anche nelle stazioni di riferimento della provincia di Verona. Relativamente all'esposizione cronica, la media delle concentrazioni orarie di NO₂ misurate nei due periodi è pari a 22 µg/m³, ed è quindi inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³; invece la stessa media relativa agli NO_x è 43 µg/m³, superiore al limite annuale per la protezione degli ecosistemi di 30 µg/m³.

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

Il numero di superamenti del limite normativo (valore giornaliero di 50 µg/m³ da non superare per più di 35 volte l'anno) è pari a 10 nel periodo monitorato. La stima del valore medio annuale per il sito di Negrar, ottenuta dal confronto con i valori della centralina fissa più vicina e rappresentativa del sito stesso (VR Giarol), è stata 28 µg/m³, che è inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m³. In base alla stessa metodologia si stima il 90° percentile pari a 55 µg/m³, pertanto è probabile il superamento del numero giornaliero di superamenti del valore limite di 50 µg/m³, pari a 35 in un anno.

Le concentrazioni medie di ozono misurate a Negrar sono confrontabili con quelle misurate presso la centralina fissa di fondo urbano di Verona Giarol. Nel periodo estivo, il limite di 120 µg/m³ sulla media mobile di 8 ore, relativo all'esposizione cronica, è stato superato 26 volte, mentre quello di 180 µg/m³, relativo all'esposizione acuta per le fasce deboli della popolazione, è stato superato 47 volte. Il numero di superamenti del limite di 180 µg/m³ è stato superiore a Negrar rispetto al corrispondente di Verona-Giarol, mentre il numero di superamenti del limite di 120 µg/m³ è stato inferiore ma confrontabile.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio e il biossido di zolfo, i valori orari di concentrazione sono in genere inferiori al limite di rilevabilità.

L'indice di qualità dell'aria a Negrar è stato prevalentemente "mediocre" durante la campagna estiva (46.3%), a causa del manifestarsi di condizioni critiche per l'ozono. In inverno la qualità dell'aria è stata "accettabile" per la maggior parte del monitoraggio (36% del periodo).

ALLEGATO

Grafico 1 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Mobile di 8 ore di CO (mg/m³).

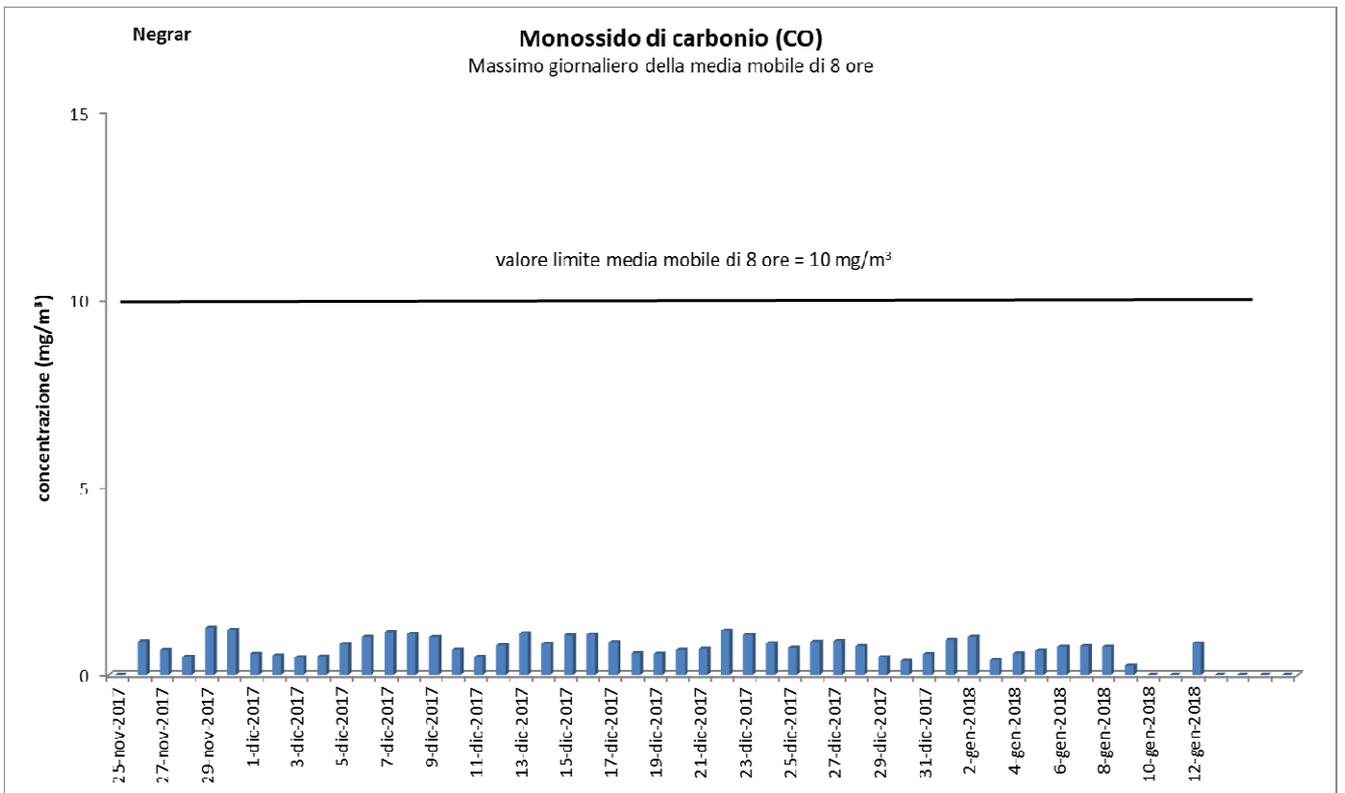
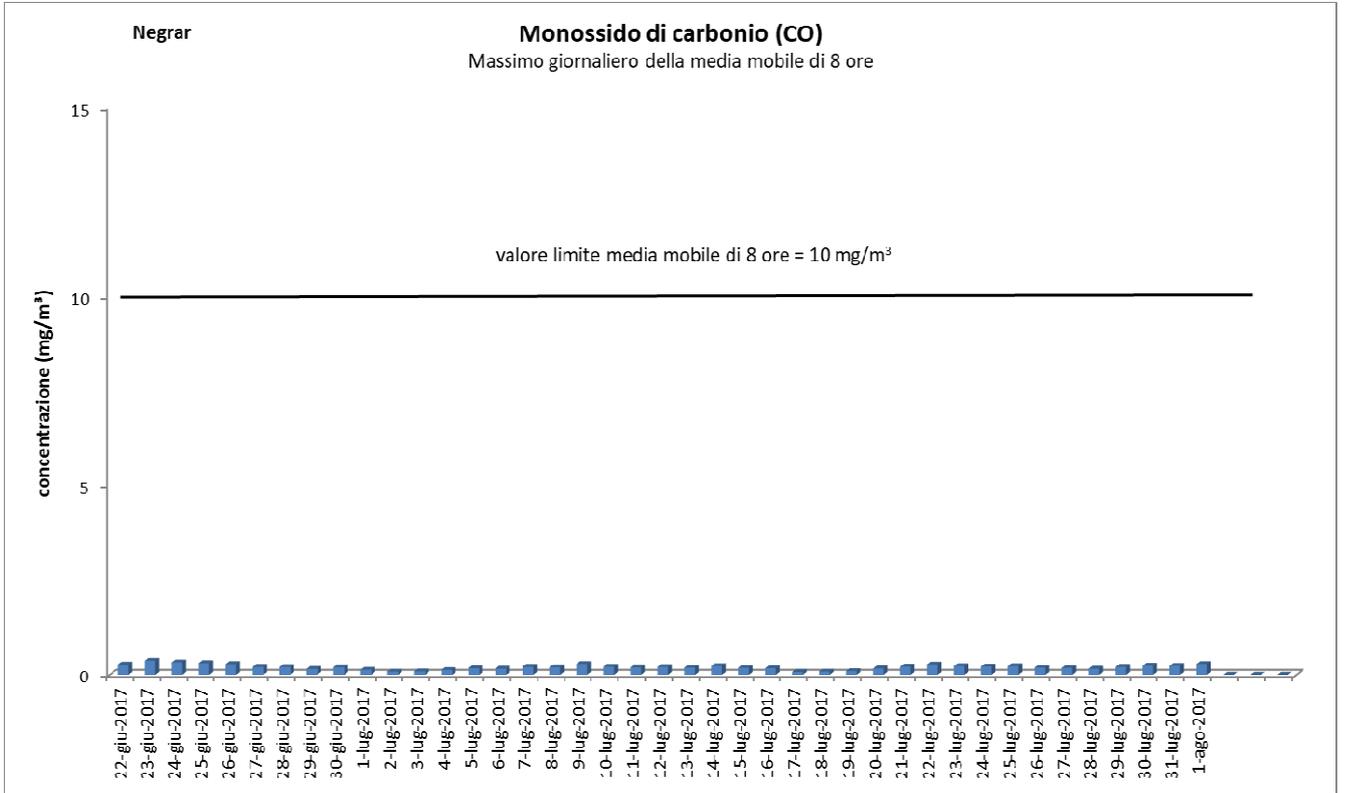


Grafico 2 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Oraria di NO₂ (µg/m³). “Esposizione acuta”.

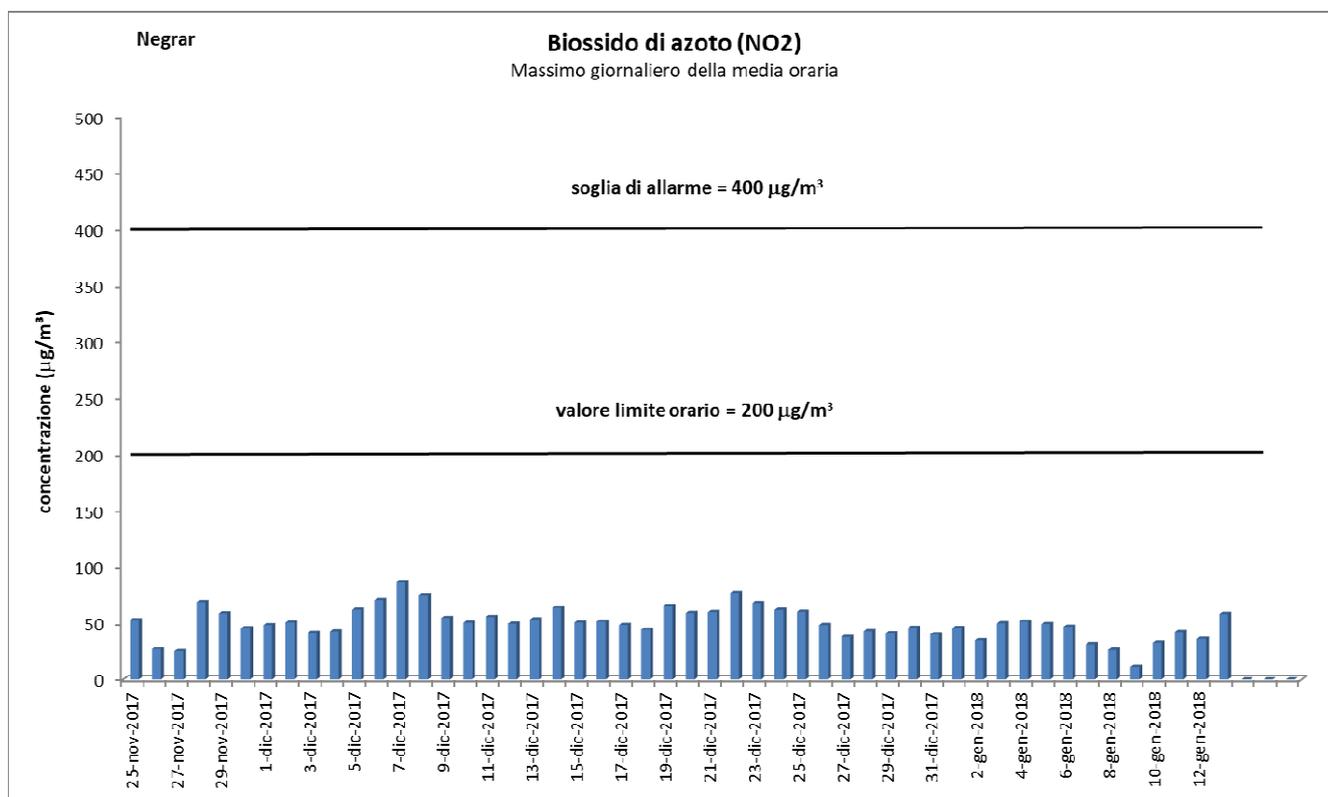
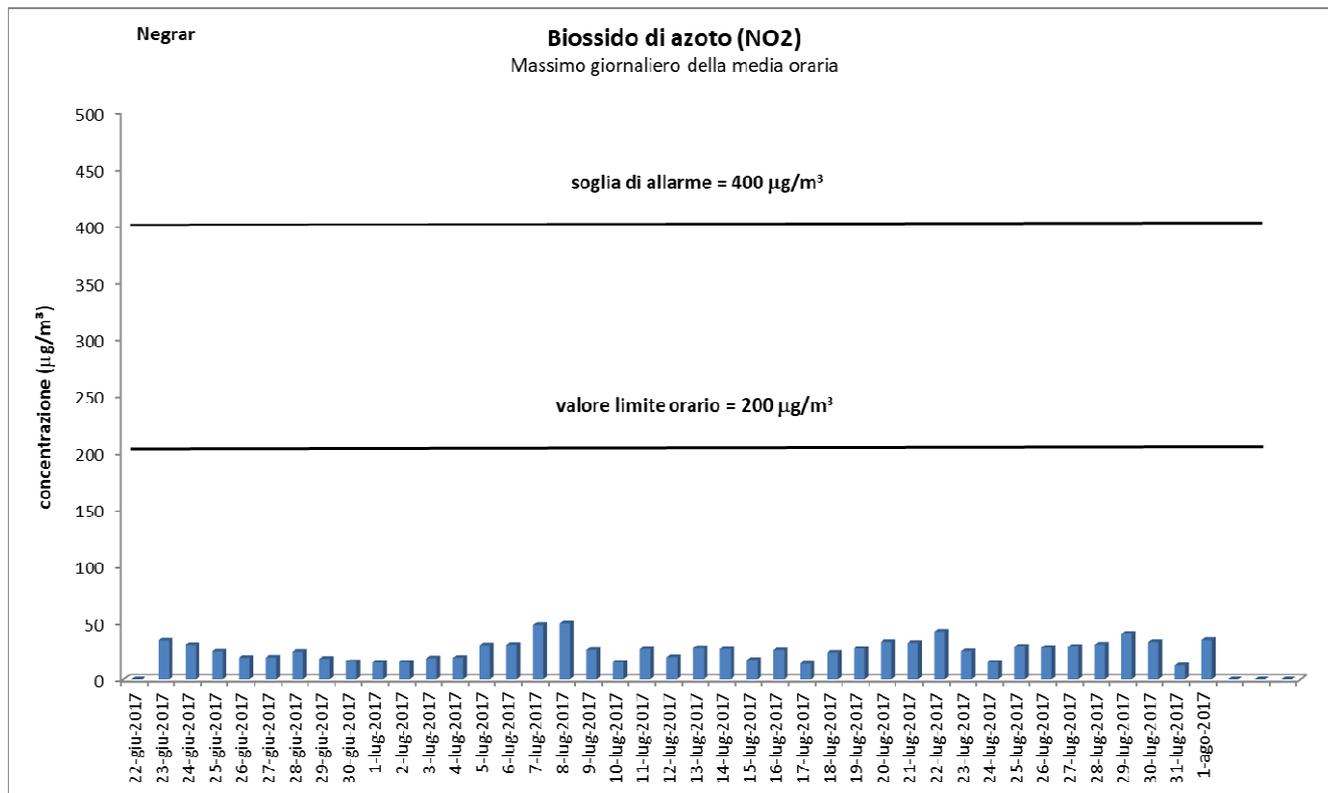


Grafico 3 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Oraria di SO₂ (µg/m³).

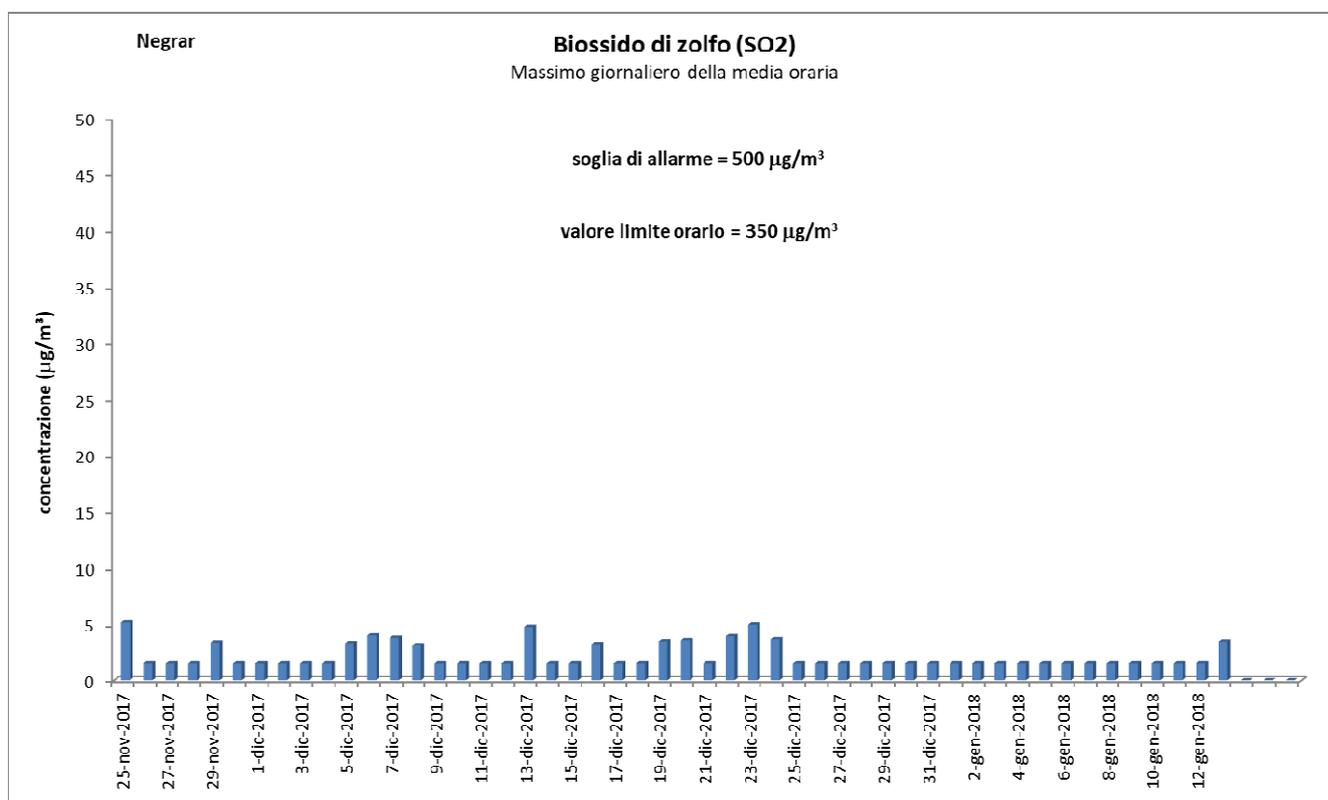
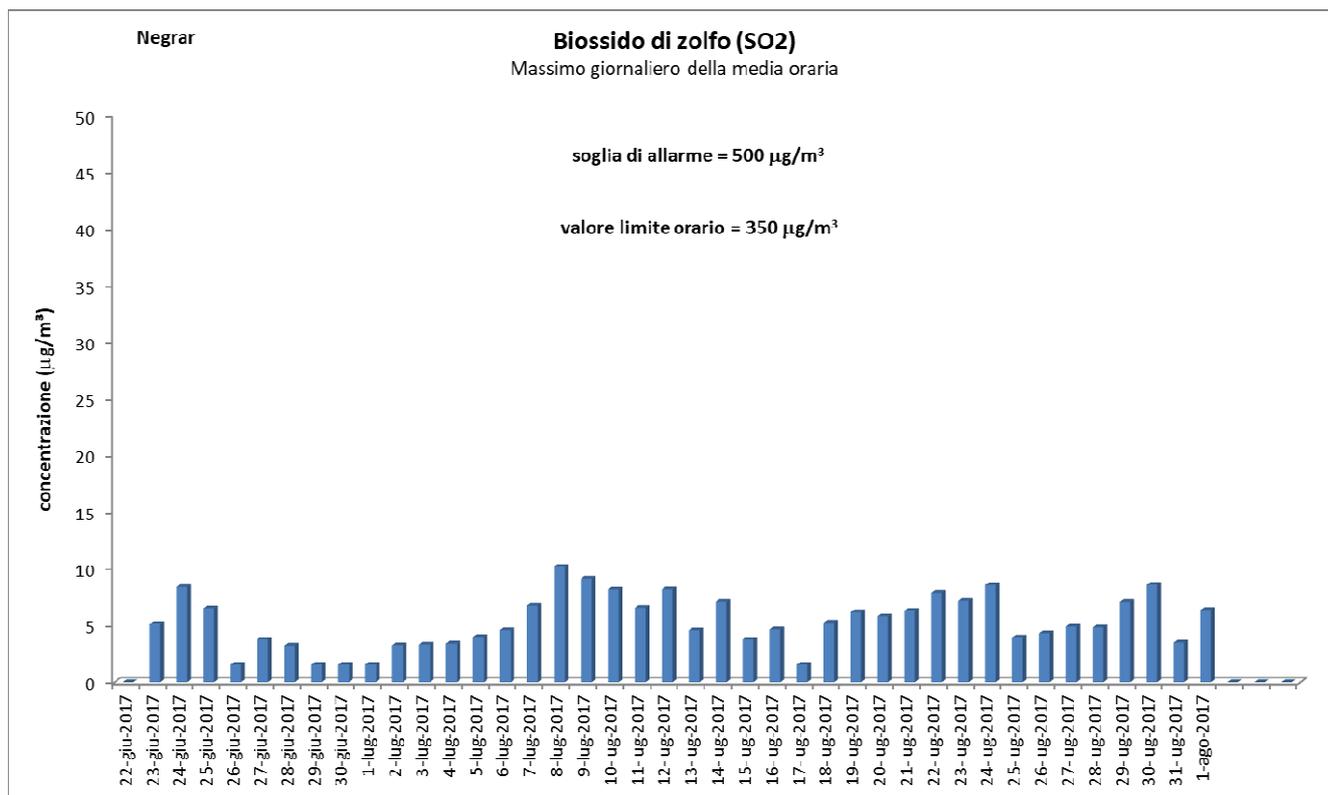


Grafico 4 – Concentrazione Media Giornaliera di SO₂ (µg/m³).

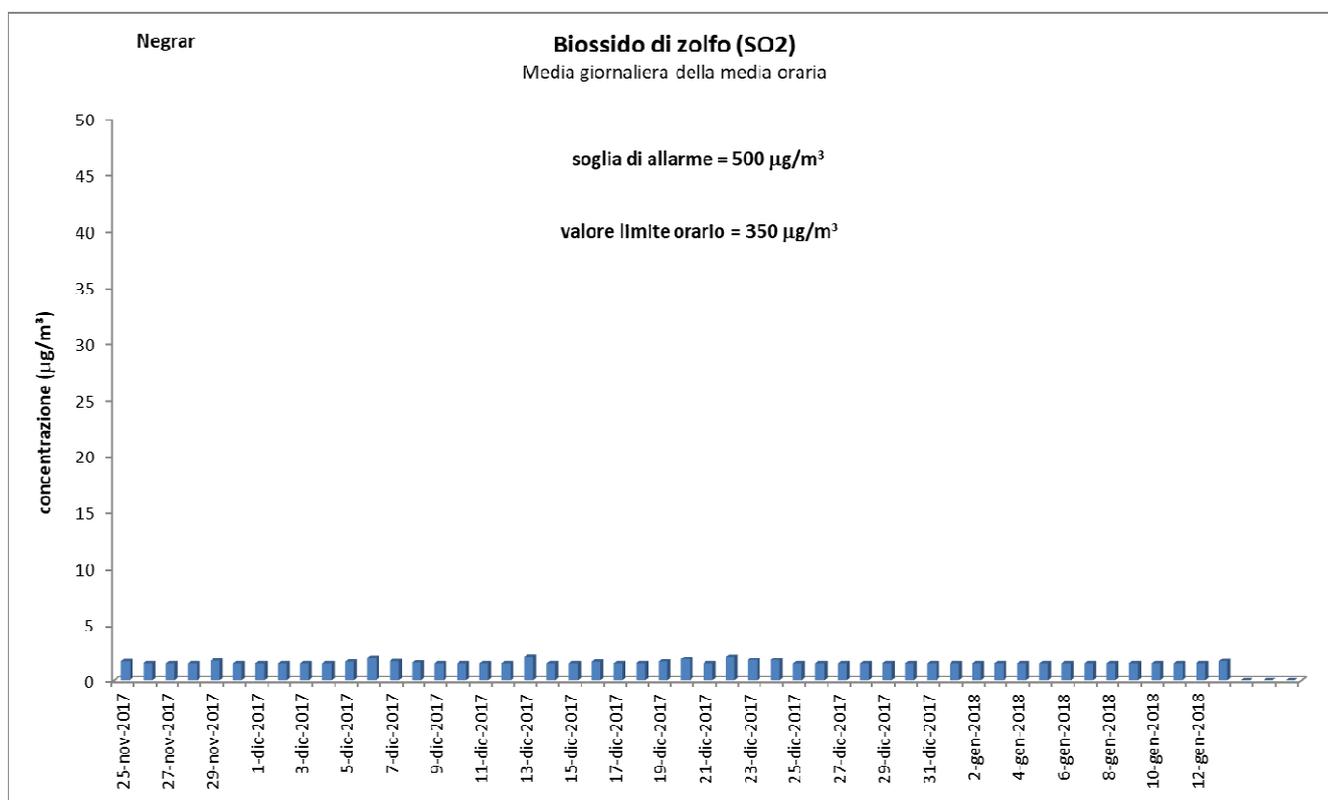
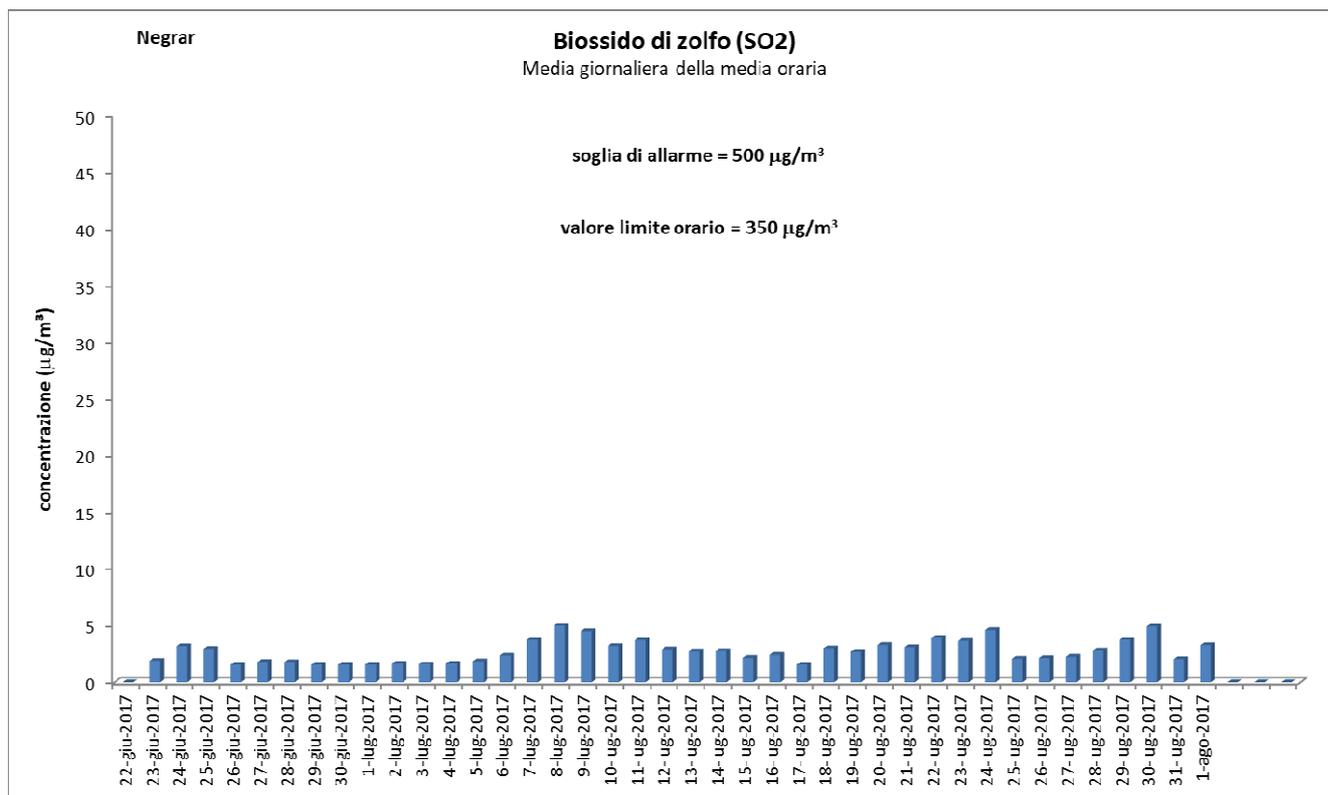


Grafico 5 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Mobile di 8 ore di O₃ (µg/m³).

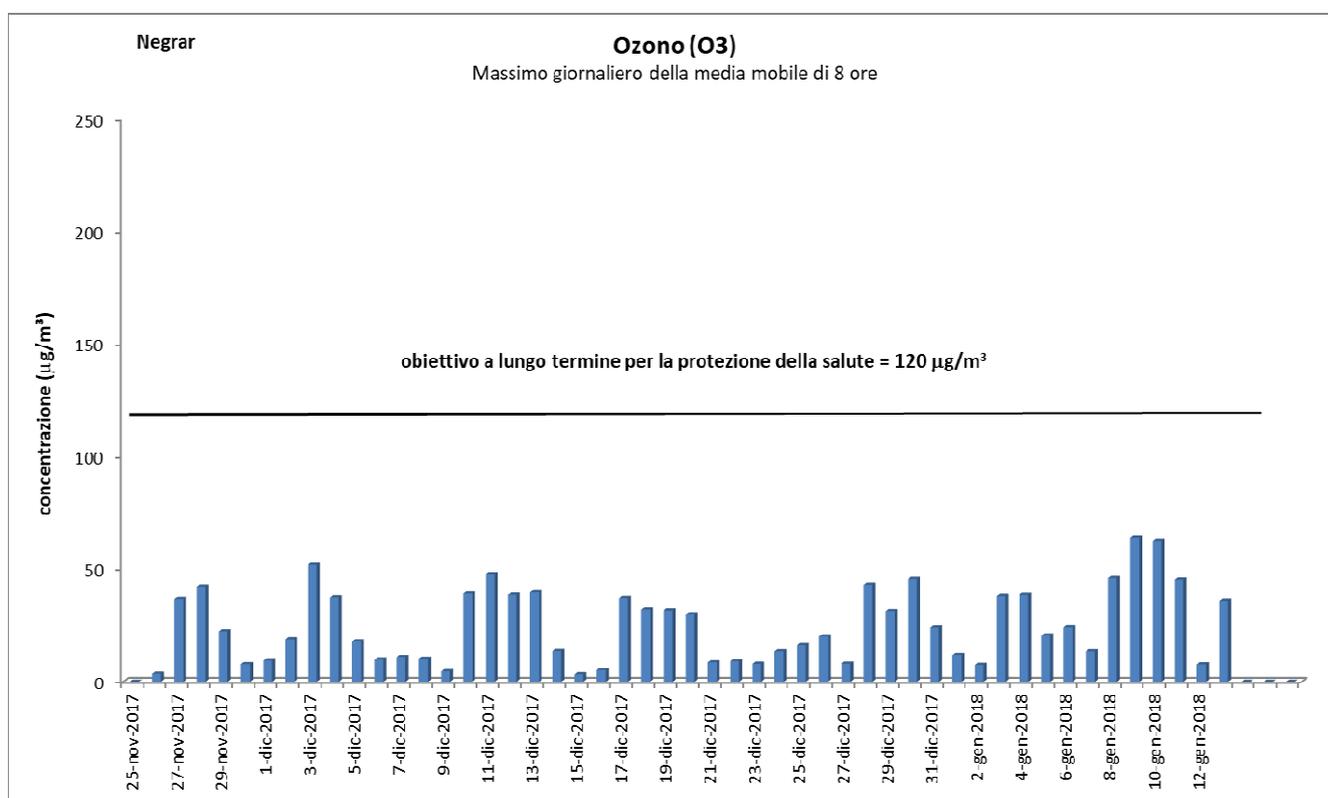
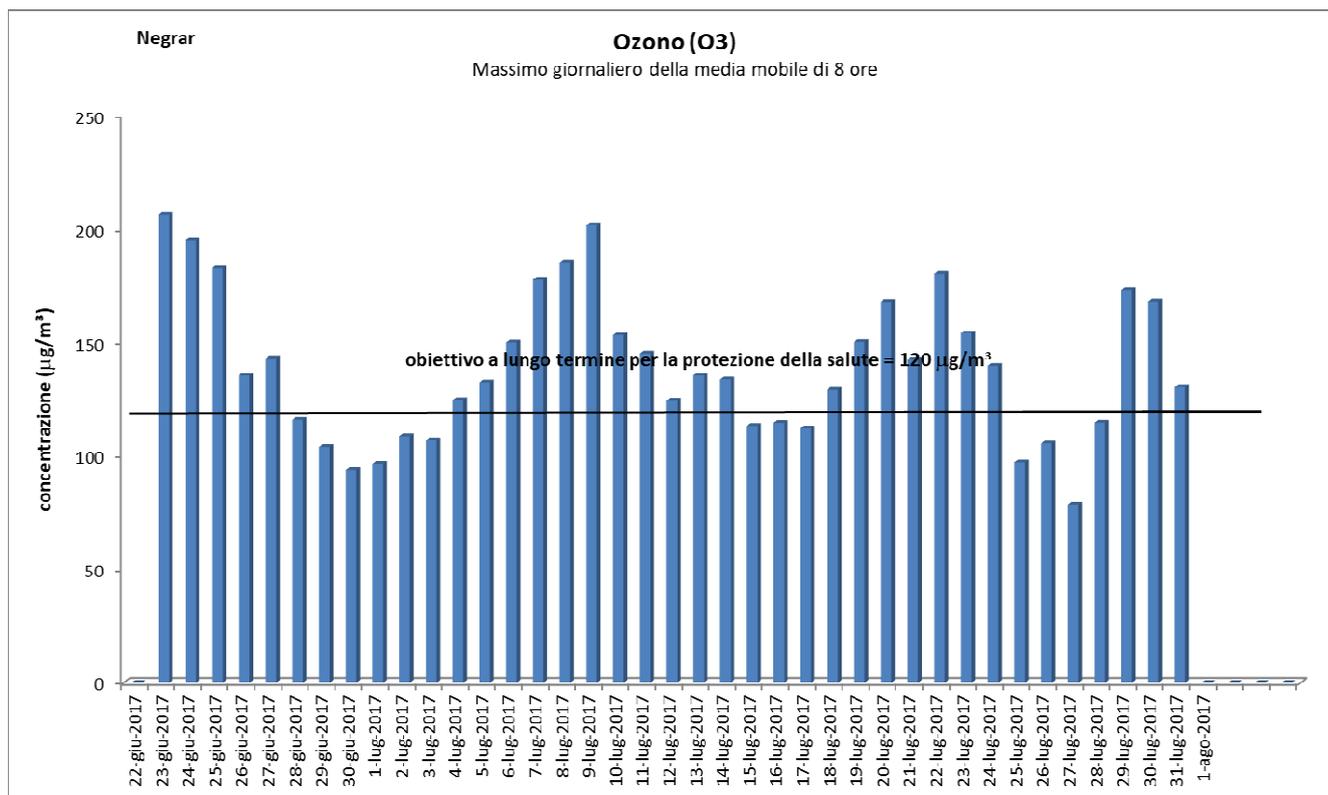


Grafico 6 – Concentrazione Massima Giornaliera della Media Oraria di O₃ (µg/m³).

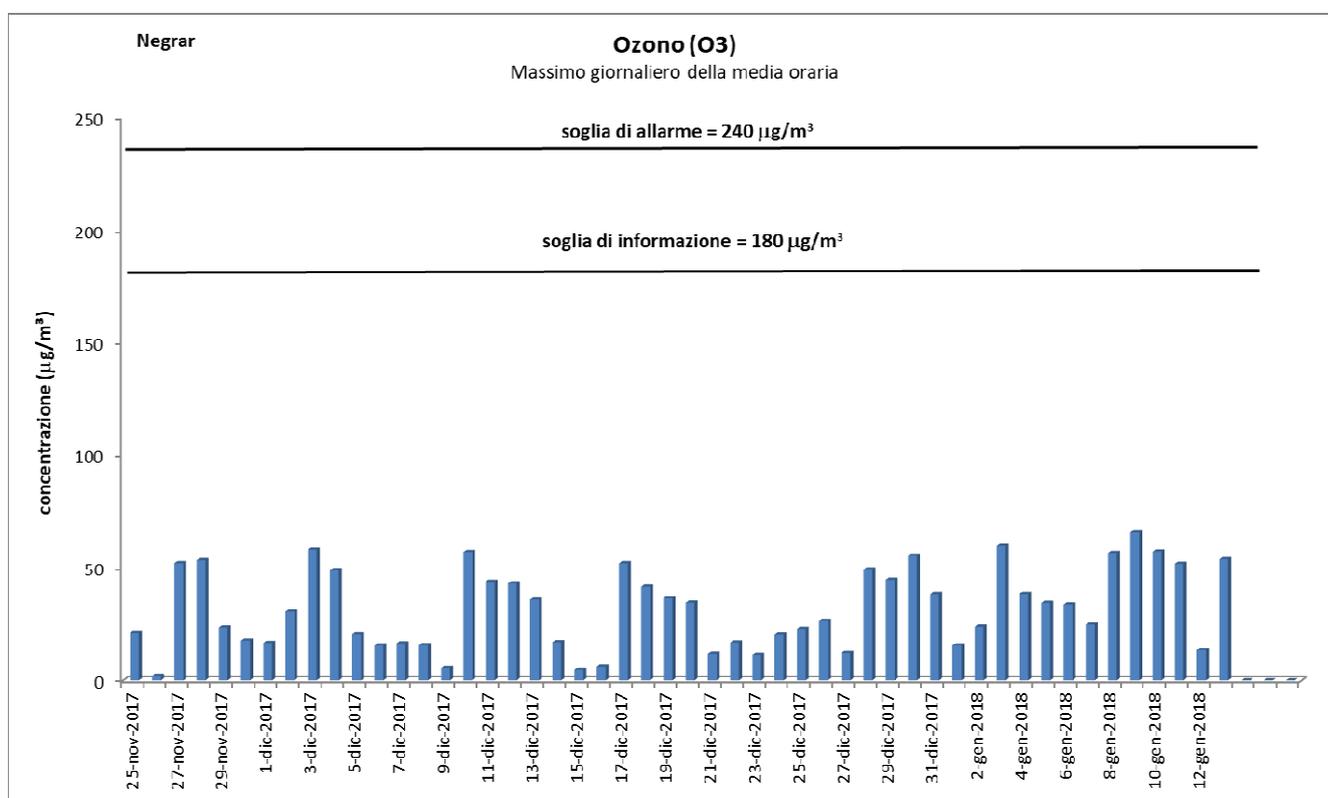
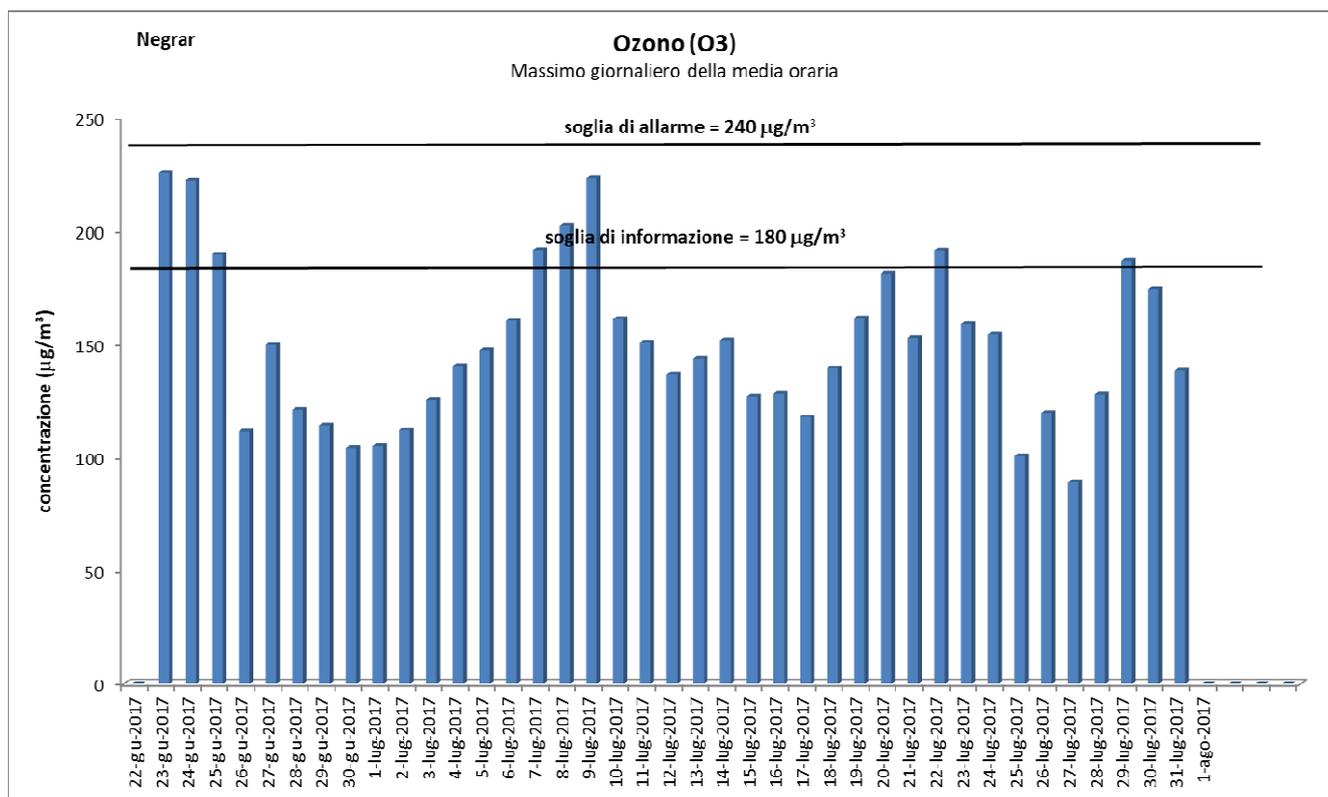


Grafico 7 – Concentrazione Giornaliera di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

