

# REPORT CAMPAGNE DI MONITORAGGIO - MEZZO MOBILE

Comune di Fondi (LT)



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE  
PROTEZIONE AMBIENTALE  
DEL LAZIO

Anno 2023



---

## Sommario

Indice delle tabelle .....	3
Indice delle figure.....	3
1 Posizione, data e luogo del campionamento .....	4
2 Scopo del monitoraggio .....	5
3 Inquadramento meteorologico.....	7
4 Risultati delle campagne .....	12
4.1 Particolato atmosferico PM10 .....	14
4.2 Particolato atmosferico PM2.5 .....	15
4.3 Biossido di azoto NO <sub>2</sub> .....	16
4.4 Ozono O <sub>3</sub> .....	17
4.5 Anidride solforosa SO <sub>2</sub> .....	18
4.6 Benzene C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> .....	19
5 Analisi dei dati di monitoraggio.....	20
6 Conclusioni.....	21
6.1 Misure indicative PM10 .....	23
6.2 Ricostruzione modellistica e stima dei livelli di PM10 per l'anno 2022.....	24



## Indice delle tabelle

<i>Tabella 1 - Informazioni campagne di monitoraggio</i> .....	4
<i>Tabella 2 - Dotazione strumentale dei laboratori mobili</i> .....	6
<i>Tabella 3 - Valori limite secondo il D.lgs. 155/2010</i> .....	12
<i>Tabella 4 - Inquinanti atmosferici e rispettivi tempi di mediazione</i> .....	13
<i>Tabella 5 - Risultati statistici</i> .....	20
<i>Tabella 6 - Confronto standard di qualità dell'aria e dati rilevati</i> .....	21

## Indice delle figure

<i>Figura 1 - Localizzazione Mezzo Mobile</i> .....	4
<i>Figura 2 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale</i> .....	8
<i>Figura 3 - Rosa dei venti</i> .....	8
<i>Figura 4 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione</i> .....	9
<i>Figura 5 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale</i> .....	10
<i>Figura 6 - Rosa dei venti</i> .....	11
<i>Figura 7 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione</i> .....	11
<i>Figura 8 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 - periodo I campagna</i> .....	14
<i>Figura 9 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 - periodo II campagna</i> .....	14
<i>Figura 10 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 - periodo I campagna</i> .....	15
<i>Figura 11 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 - periodo II campagna</i> .....	15
<i>Figura 12 - Valori medi orari di concentrazione di NO<sub>2</sub> - periodo I campagna</i> .....	16
<i>Figura 13 - Valori medi orari di concentrazione di NO<sub>2</sub> - periodo II campagna</i> .....	16
<i>Figura 14 - Valori medi orari di concentrazione di O<sub>3</sub> - periodo I campagna</i> .....	17
<i>Figura 15 - Valori medi orari di concentrazione di O<sub>3</sub> - periodo II campagna</i> .....	17
<i>Figura 16 - Valori medi orari di concentrazione di SO<sub>2</sub> - periodo I campagna</i> .....	18
<i>Figura 17 - Valori medi orari di concentrazione di SO<sub>2</sub> - periodo II campagna</i> .....	18
<i>Figura 18 - Valori medi orari di concentrazione di C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> - periodo I campagna</i> .....	19
<i>Figura 19 - Valori medi orari di concentrazione di C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> - periodo II campagna</i> .....	19
<i>Figura 20 - Ricostruzione modellistica</i> .....	24

## 1 Posizione, data e luogo del campionamento

Tabella 1 - Informazioni campagne di monitoraggio

Comune	Fondi
Località	Istituto Comprensivo Statale “Amante”, ingresso via Pietro Gobetti, 04022 Fondi (LT)
Coordinate	Latitudine: 41.359729° Longitudine: 13.432065°
Durata campagne	I campagna: 07/04/22 – 29/05/22 II campagna: 01/12/22 – 31/12/22
Mezzo mobile utilizzato	I campagna: Mezzo Mobile 72-2 II campagna: Mezzo Mobile 72-2
Redazione documento	rev.0: Marzo 2023 rev.1: Febbraio 2024

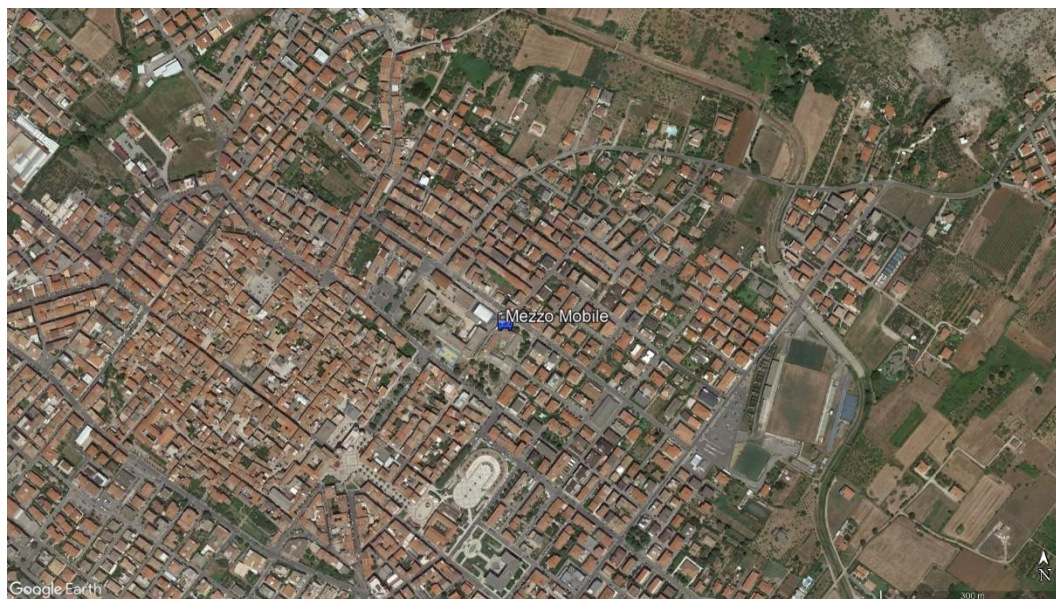


Figura 1 - Localizzazione Mezzo Mobile



---

## 2 Scopo del monitoraggio

Il monitoraggio della qualità dell'aria della Regione Lazio viene realizzato impiegando congiuntamente l'insieme degli strumenti previsti dalla normativa (D.lgs. 155/2010 e s.m.i.):

- la rete fissa di monitoraggio;
- le catene modellistiche (forecast e near-realtime);
- le misure indicative;
- i metodi oggettivi di tipo statistico.

Le misure indicative vengono realizzate attraverso il monitoraggio effettuato con i mezzi mobili che sono dotati degli stessi analizzatori installati presso le stazioni della rete fissa.

Il monitoraggio realizzato con i mezzi mobili viene effettuato per indagare porzioni di territorio più o meno distanti dai punti fissi di misura con lo scopo di aumentare e migliorare la conoscenza dello stato della qualità dell'aria sul territorio regionale.

La differenza sostanziale tra le misure della rete di monitoraggio fissa e le misure indicative è la continuità temporale. Nel primo caso la copertura temporale è continua (ad eccezione di problemi strumentali), nel secondo caso è inevitabilmente legata alla durata della campagna di misura che, nell'arco di 1 anno civile, deve coprire almeno il 14 %.

Le campagne hanno quindi generalmente una durata media di circa due mesi (suddivisi tra il periodo invernale e quello estivo), e sono realizzate in base ad una programmazione annuale, che talvolta deve essere rivista alla luce di eventuali richieste da parte di altre amministrazioni, dell'autorità giudiziaria e del verificarsi di emergenze ambientali quali ad esempio gli incendi.

Nella Tabella 2 viene riportata la dotazione strumentale presente sul laboratorio mobile in dotazione ad Arpa Lazio utilizzata per le campagne di monitoraggio.



Tabella 2 - Dotazione strumentale dei laboratori mobili

<b>Analizzatore</b>	<b>Modello</b>	<b>Principio chimico-fisico</b>
POLVERI PM10	<i>FAI SWAM 5a Dual Channel</i>	<i>Det. Grav. Att. <math>\beta</math></i>
POLVERI PM2.5	<i>FAI SWAM 5a Dual Channel</i>	<i>Det. Grav. Att. <math>\beta</math></i>
NO <sub>x</sub>	<i>API 200 E</i>	<i>Chemiluminescenza</i>
SO <sub>2</sub>	<i>API 100 E</i>	<i>Fluorescenza UV</i>
O <sub>3</sub>	<i>API 400 E</i>	<i>Fotometria UV</i>
BTEX	<i>Chromatotec</i>	<i>Cromatografia PID</i>



### 3 Inquadramento meteorologico

Si riportano nelle schede seguenti i parametri meteorologici registrati durante le campagne di monitoraggio che costituiscono elementi a supporto dell'analisi dei dati di inquinamento misurati.

#### ▪ I Campagna

##### ANAGRAFICA

- zona: Istituto Comprensivo Statale “Amante”,  
ingresso via Pietro Gobetti, 04022 Fondi (LT)
- periodo: dal 2022-04-07 al 2022-05-29
- giorni di monitoraggio TOTALI: 53
- giorni di monitoraggio COMPLETI: 53

##### CALCOLI SEGUENTI ESEGUITI SU GIORNI COMPLETI

##### PRECIPITAZIONI

- cumulata totale campagna: 39.3 (mm)
- giorno maggiormente piovoso - cumulata: 2022-04-22 - 17.2 (mm)
- giorni senza pioggia: 47
- giorni con pioggia: 6
- perc. giorni piovosi: 11.3 %

##### UMIDITA' RELATIVA

- umidità massima: 90.7 %
- umidità minima: 21 %

##### VENTO

- vento medio: 0.81 (m/s)
- vento massimo: 2022-05-07 21:00 - 3.31 (m/s)
- settore prevalente: NE
- vento medio settore prevalente: 1.09 (m/s)

##### RADIAZIONE

- integrale radiazione massima: 2022-05-19 - 7098 (W/m<sup>2</sup>)
- integrale radiazione minima: 2022-04-21 - 2012 (W/m<sup>2</sup>)

##### PRESSIONE

- pressione massima: 2022-05-20 - 1027.1 (mbar)
- pressione minima: 2022-04-22 - 996.9 (mbar)

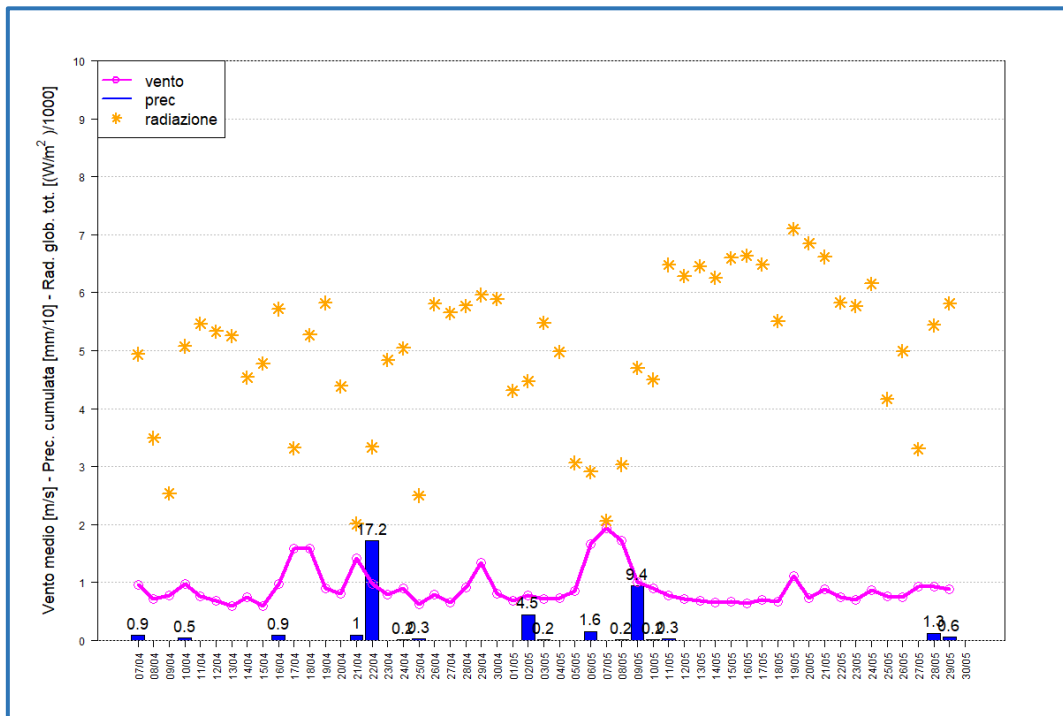


Figura 2 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale

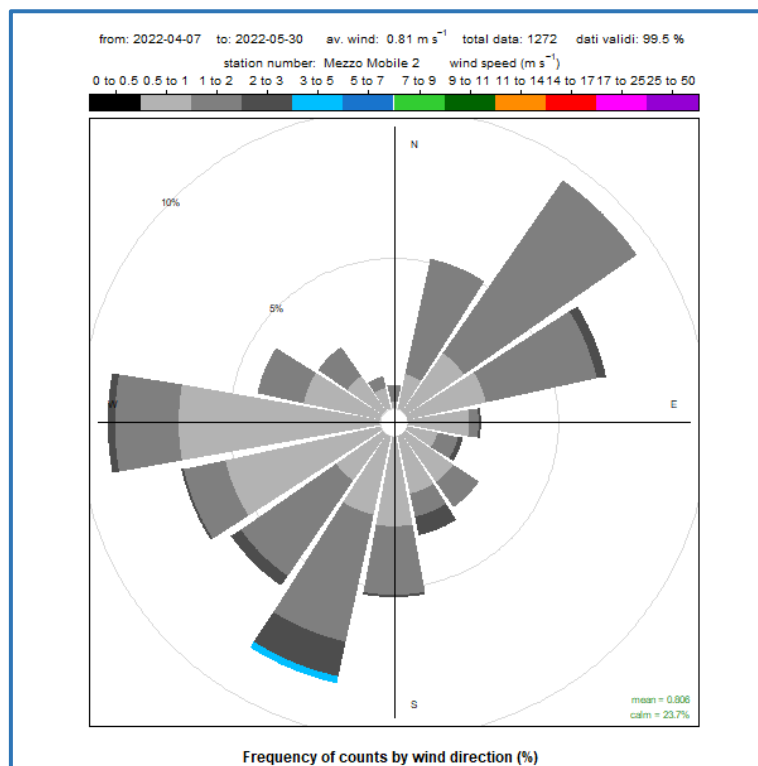


Figura 3 - Rosa dei venti



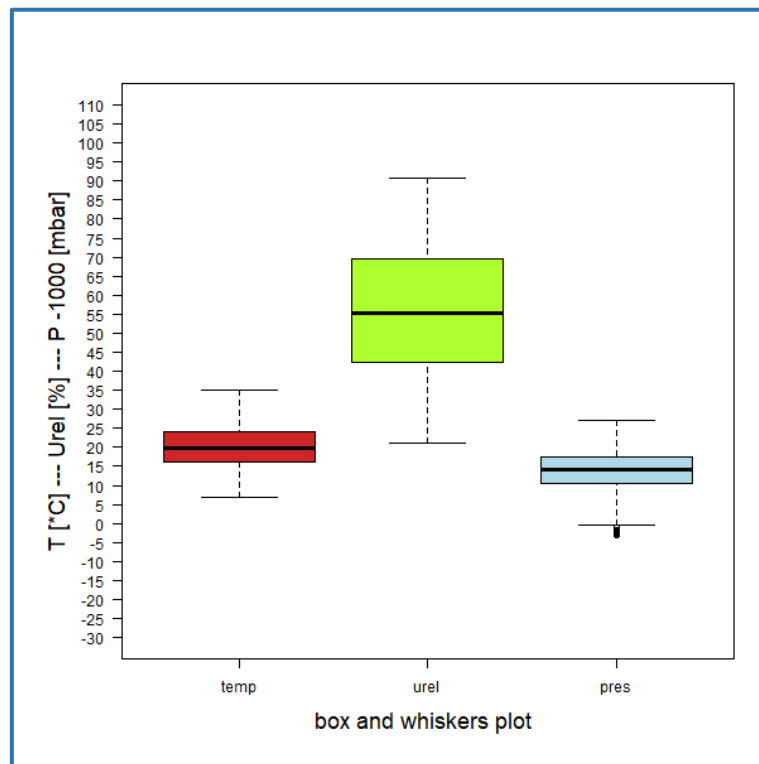


Figura 4 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione

## ▪ 2° Campagna

### ANAGRAFICA

- zona: Istituto Comprensivo Statale “Amante”,  
ingresso via Pietro Gobetti, 04022 Fondi (LT)
- periodo: dal 2022-12-01 al 2022-12-31
- giorni di monitoraggio TOTALI: 31
- giorni di monitoraggio COMPLETI: 29

-----

### CALCOLI SEGUENTI ESEGUITI SU GIORNI COMPLETI

-----

### PRECIPITAZIONI

- cumulata totale campagna: 5 (mm)
- giorno maggiormente piovoso - cumulata: 2022-12-14 - 1.2 (mm)
- giorni senza pioggia: 26
- giorni con pioggia: 3
- perc. giorni piovosi: 10.3 %



## UMIDITA' RELATIVA

- umidità massima: 96.4 %
- umidità minima: 25.9 %

## VENTO

- vento medio: 0.61 (m/s)
- vento massimo: 2022-12-04 - 2.95 (m/s)
- settore prevalente: E-SE
- vento medio settore prevalente: 0.72 (m/s)

## RADIAZIONE

- integrale radiazione massima: 2022-12-04 - 897 (W/m<sup>2</sup>)
- integrale radiazione minima: 2022-12-14 - 155 (W/m<sup>2</sup>)

## PRESSIONE

- pressione massima: 2022-12-19 - 1031.8 (mbar)
- pressione minima: 2022-12-10 - 993.9 (mbar)

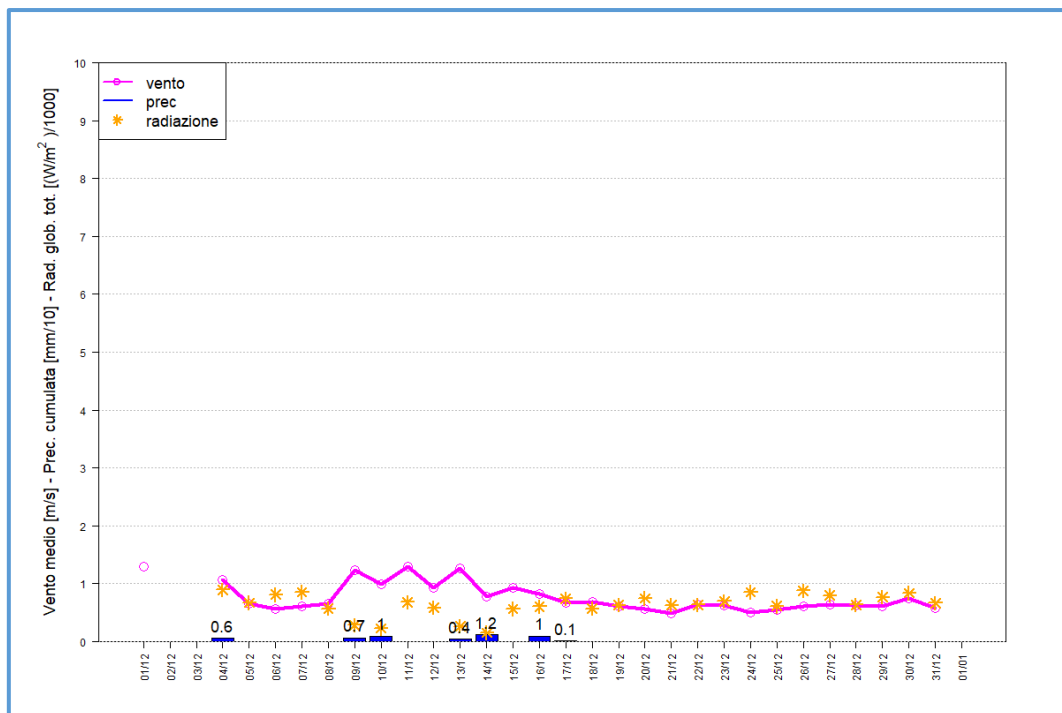


Figura 5 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale

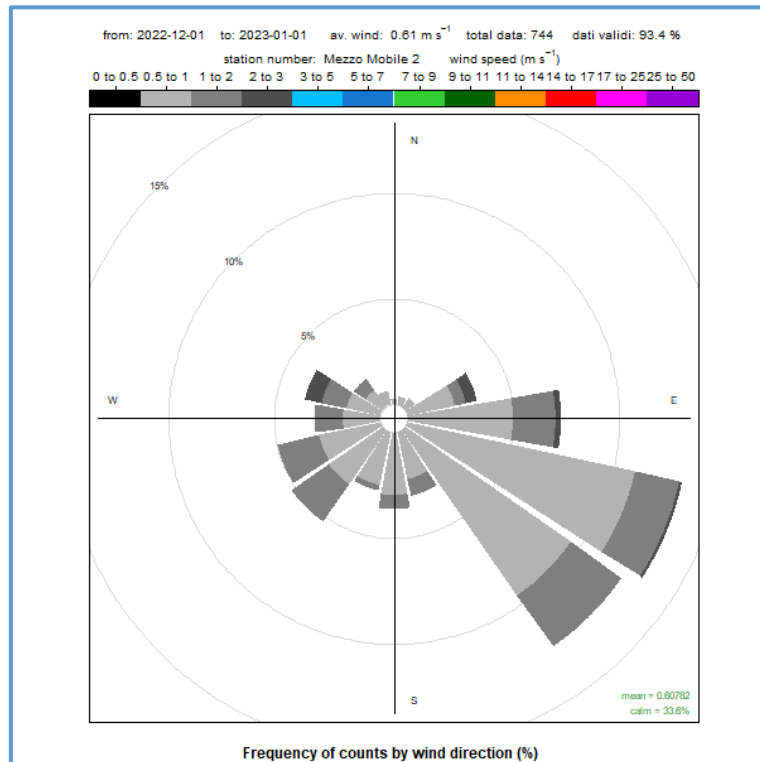


Figura 6 - Rosa dei venti

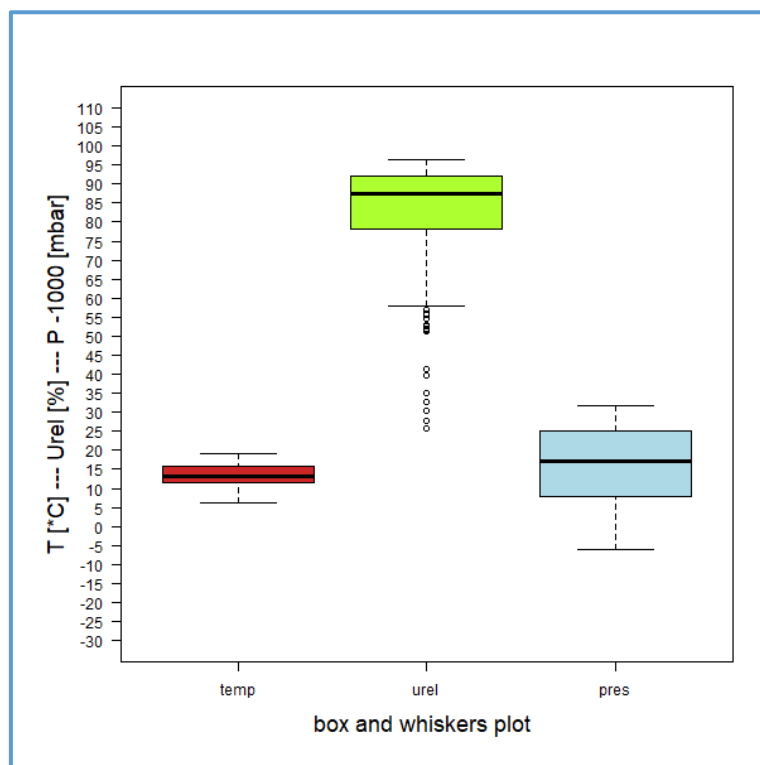


Figura 7 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione



## 4 Risultati delle campagne

Vengono riportati di seguito i risultati delle campagne di monitoraggio ed i valori limiti previsti dalla normativa vigente per la protezione della salute umana.

È necessario evidenziare che tutti i valori limite stabiliti dal D.lgs. 155/2010 si riferiscono sempre ad un arco temporale pari ad 1 anno civile, mentre la campagna ha una durata inferiore. Per completezza, di seguito sono riportati i valori limiti per la protezione della salute umana stabiliti dal D.lgs. 155/2010 (2008/50/CE).

Tabella 3 - Valori limite secondo il D.lgs. 155/2010

<b>Limiti della protezione della salute umana D.lgs. 155/2010</b>	
<b>PM10</b>	Valore limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sui livelli medi giornalieri da non superare più di 35 volte per anno civile
	Valore limite 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale
<b>PM2.5</b>	Valore limite 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale
<b>NO<sub>2</sub></b>	Valore limite di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sui livelli orari di concentrazione da non superare più di 18 volte per anno civile
	Valore limite 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale
<b>O<sub>3</sub></b>	Valore limite di 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sui livelli orari di concentrazione rispettivamente soglia di informazione e di allarme
	Valore limite di 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore da non superare più di 25 volte nell'anno civile
<b>SO<sub>2</sub></b>	Valore limite 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sui livelli orari
	Valore limite 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media giornaliera da non superare più di 3 volte per anno civile
<b>CO</b>	Valore limite di 10 $\text{mg}/\text{m}^3$ come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore



Le misure istantanee di concentrazione delle specie gassose (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, ...), congruentemente con quanto stabilito dalla normativa (direttiva 2008/50/CE e D.lgs. 155/2010 e s.m.i), sono state mediate a livello orario, mentre le misure di particolato sottile (PM10 e PM2.5) sono state eseguite in modo da rappresentare le concentrazioni medie giornaliere.

*Tabella 4 - Inquinanti atmosferici e rispettivi tempi di mediazione*

Inquinanti	Tempo di mediazione	Unità di misura
<b>PM10</b>	24 ore	µg/m <sup>3</sup>
<b>PM2.5</b>	24 ore	µg/m <sup>3</sup>
<b>NO</b>	1 ora	µg/m <sup>3</sup>
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 ora	µg/m <sup>3</sup>
<b>NO<sub>x</sub></b>	1 ora	µg/m <sup>3</sup>
<b>O<sub>3</sub></b>	1 ora	µg/m <sup>3</sup>
<b>SO<sub>2</sub></b>	1 ora	µg/m <sup>3</sup>
<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	1 ora	µg/m <sup>3</sup>

## 4.1 Particolato atmosferico PM10

Valore limite di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per le concentrazioni medie giornaliere da non superare per più di 35 volte nell'anno civile.

### ■ I Campagna

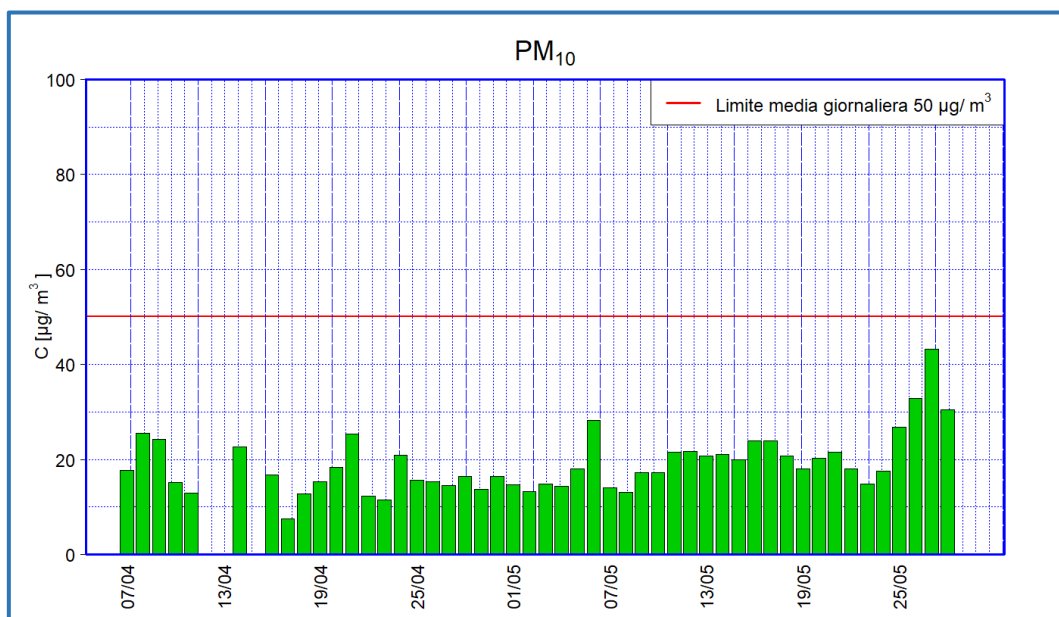


Figura 8 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 - periodo I campagna

### ■ II Campagna

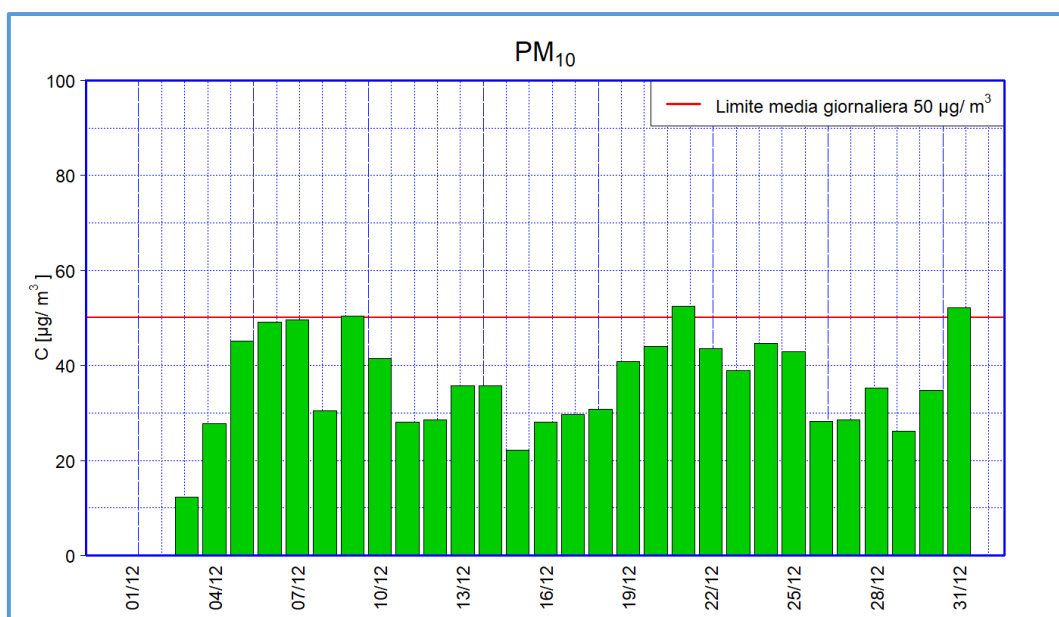


Figura 9 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 - periodo II campagna



## 4.2 Particolato atmosferico PM2.5

### ■ I Campagna

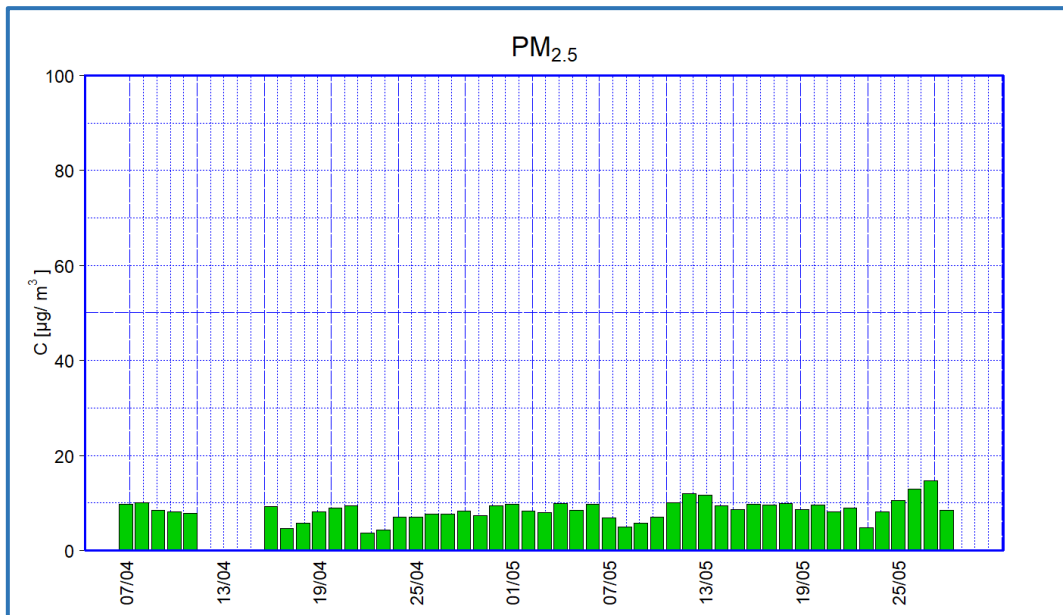


Figura 10 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 - periodo I campagna

### ■ II Campagna

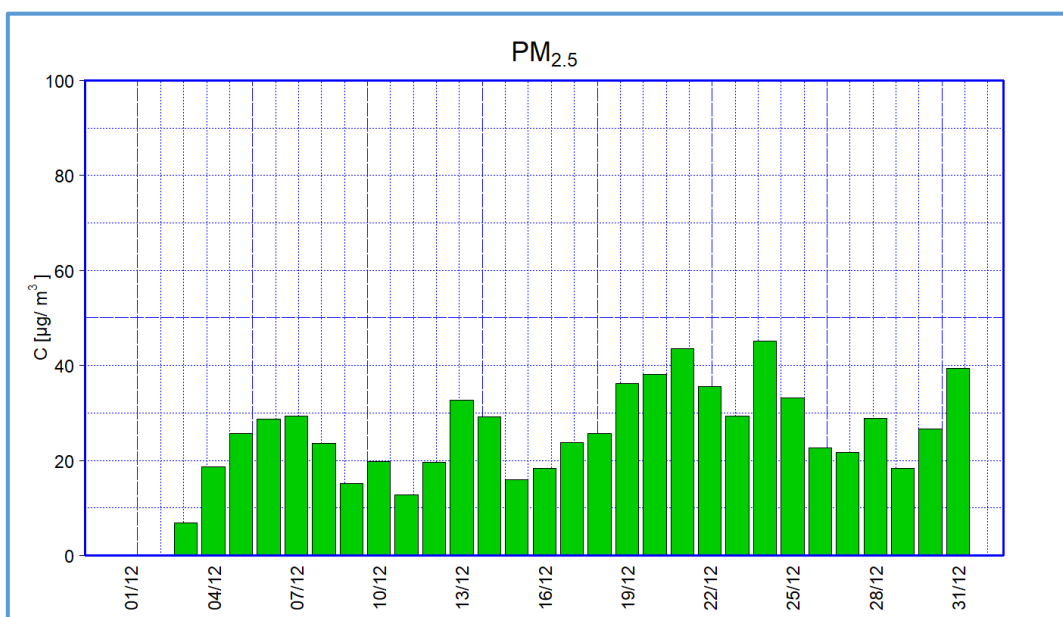


Figura 11 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 - periodo II campagna

### 4.3 Biossido di azoto $\text{NO}_2$

Valore limite di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per le concentrazioni medie orarie da non superare più di 18 volte nell'anno civile.

#### ■ I Campagna

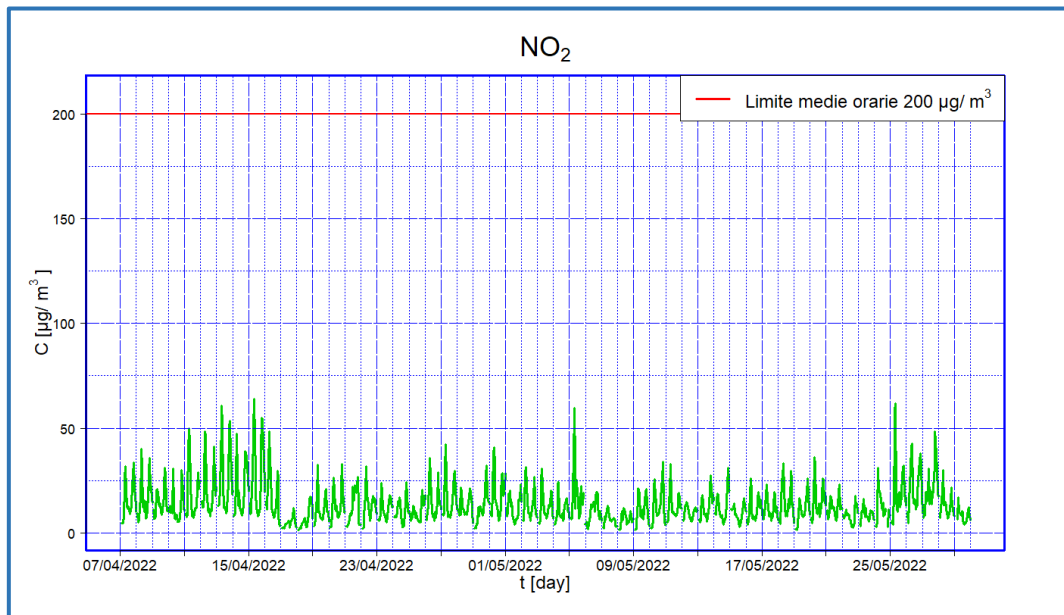


Figura 12 - Valori medi orari di concentrazione di  $\text{NO}_2$  - periodo I campagna

#### ■ II Campagna

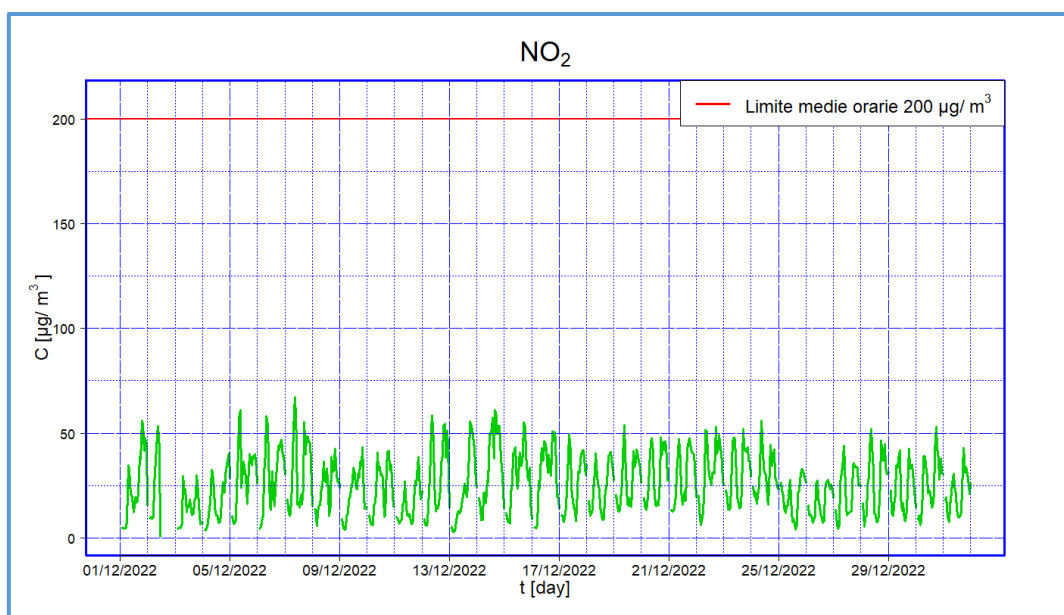


Figura 13 - Valori medi orari di concentrazione di  $\text{NO}_2$  - periodo II campagna



#### 4.4 Ozono O<sub>3</sub>

Valore limite di 180 µg/m<sup>3</sup> e 240 µg/m<sup>3</sup> per la concentrazione media oraria che rappresentano rispettivamente la soglia di informazione e la soglia d'allarme.

##### ■ I Campagna

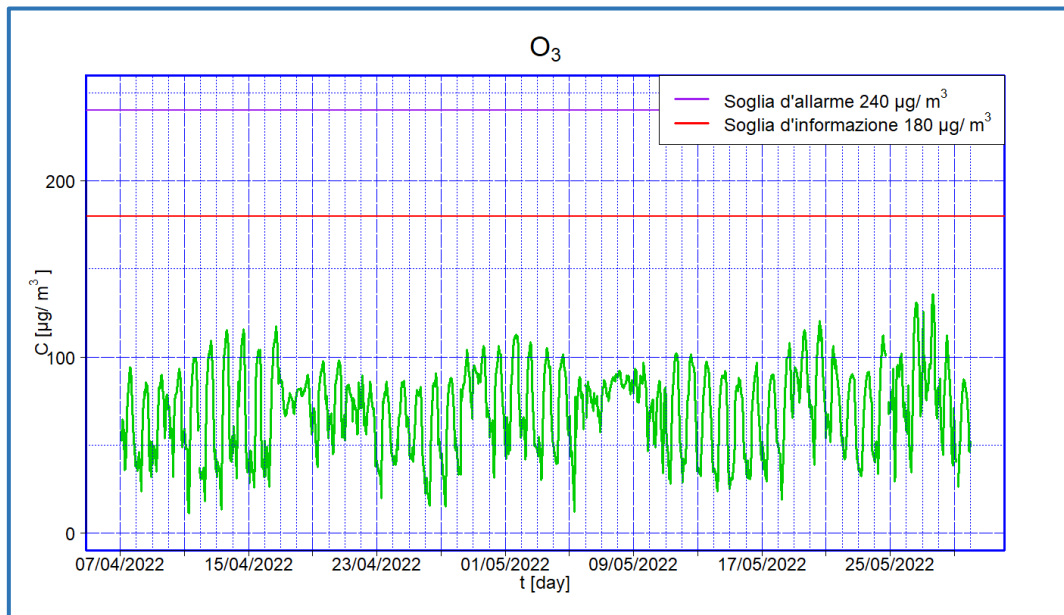


Figura 14 - Valori medi orari di concentrazione di O<sub>3</sub> - periodo I campagna

##### ■ II Campagna

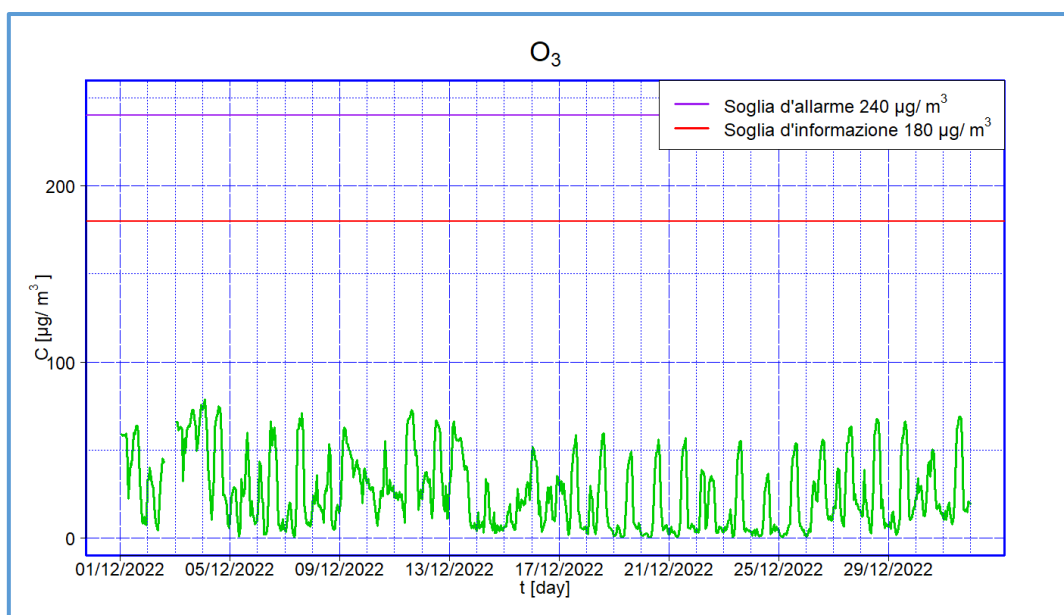


Figura 15 - Valori medi orari di concentrazione di O<sub>3</sub> - periodo II campagna

## 4.5 Anidride solforosa $SO_2$

Valore limite  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  delle concentrazioni medie orarie.

### ■ I Campagna

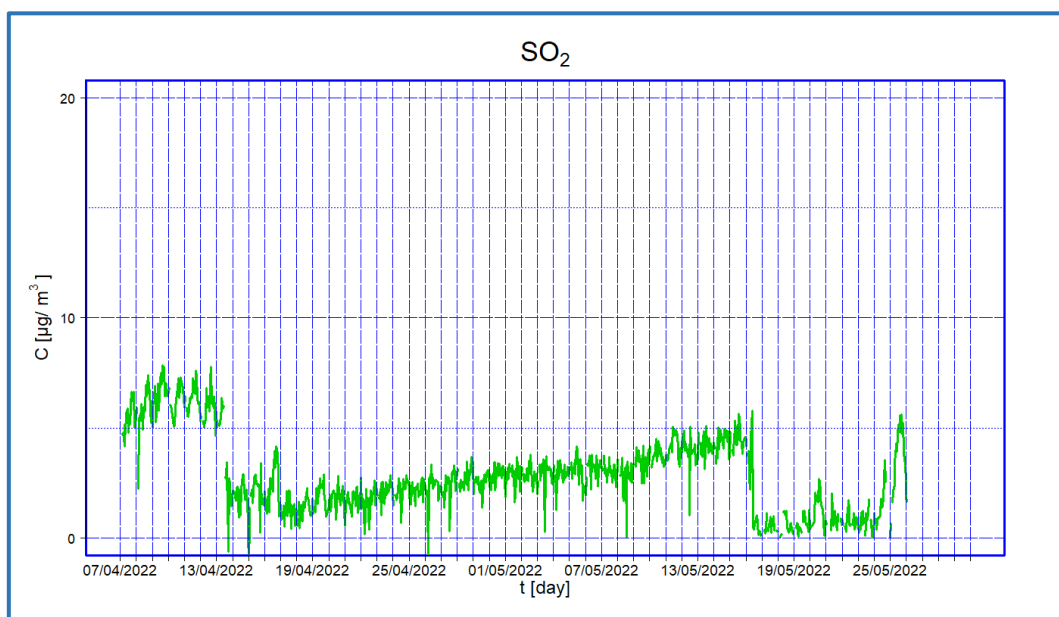


Figura 16 - Valori medi orari di concentrazione di  $SO_2$  - periodo I campagna

### ■ II Campagna

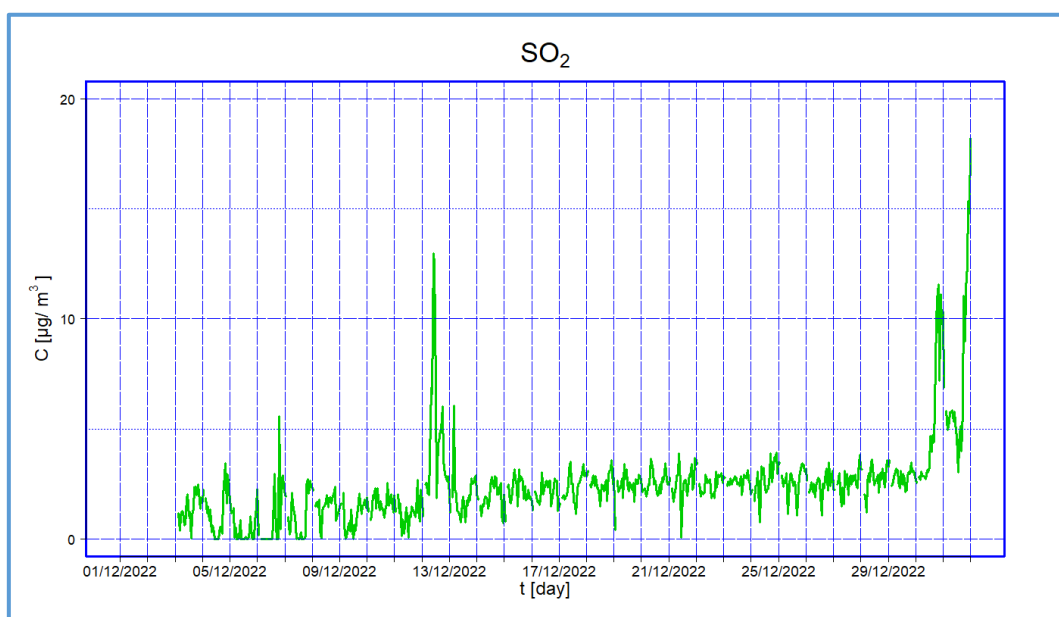


Figura 17 - Valori medi orari di concentrazione di  $SO_2$  - periodo II campagna

## 4.6 Benzene $C_6H_6$

### ■ I Campagna

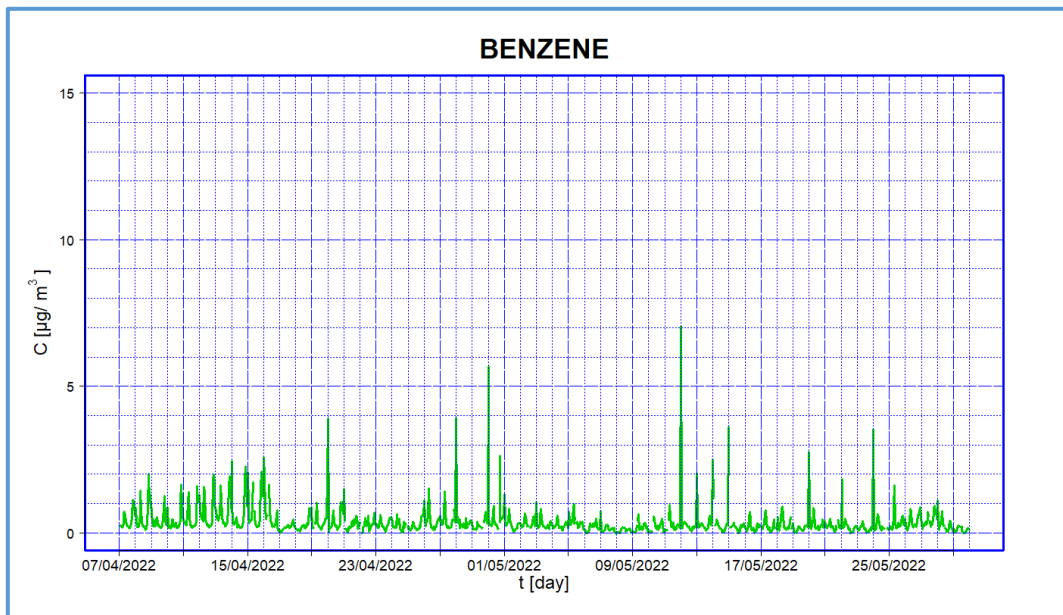


Figura 18 - Valori medi orari di concentrazione di  $C_6H_6$  - periodo I campagna

### ■ II Campagna

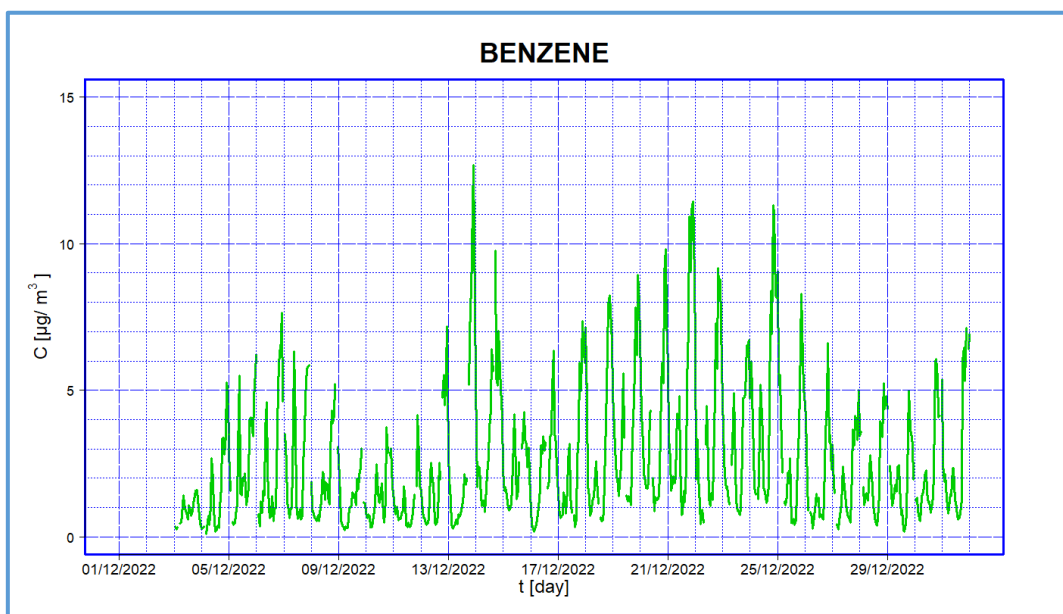


Figura 19 - Valori medi orari di concentrazione di  $C_6H_6$  - periodo II campagna

## 5 Analisi dei dati di monitoraggio

Le concentrazioni delle diverse sostanze inquinanti rilevate durante le due campagne svolte nel 2022 sono state elaborate statisticamente nel loro complesso, individuando alcuni indicatori. In particolare sono stati evidenziati, per ogni sostanza inquinante, il numero totale di misure disponibili, il valore massimo e minimo riscontrato per tutte queste sostanze inquinanti, il loro valore medio, la mediana ed i percentili 95° e 5°.

Tabella 5 - Risultati statistici

Inquinanti	N. dati	Max	Min	Media	5°perc.	50°perc.	95°perc.
<b>NO</b>	1913	130,2	0,4	8,3	0,9	3,2	36,8
<b>NO<sub>2</sub></b>	1913	67,2	0,8	18	4,1	13,9	43,7
<b>NO<sub>x</sub></b>	1913	253,8	1,4	30,7	5,8	19	96,8
<b>O<sub>3</sub></b>	1997	135,7	0,3	54,1	4,6	54,5	101,7
<b>PM10</b>	78	52,5	7,5	25,5	12,7	21,9	49,3
<b>PM2.5</b>	77	45,1	3,7	15,2	1,1	9,8	36,6
<b>SO<sub>2</sub></b>	1760	18,2	-1,9*	2,7	0,3	2,5	6,1
<b>Benzene</b>	1883	12,7	0	1,1	0,1	0,4	5,2

Note:

- I risultati statistici sono stati elaborati sul totale dei dati rilevati;
- L'unità di misura è in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per tutti gli inquinanti;
- \* Il LoD (limite di rivelabilità) per l'analizzatore SO<sub>2</sub> risulta essere pari a 2 (rif. PO DSA SQU.07 Arpa Lazio). Tutti i valori di concentrazione  $\geq$  - LoD devono essere accettati e considerati come dati elementari al fine del calcolo dei dati aggregati (rif. Linee Guida SNPA 19/2018);



## 6 Conclusioni

La durata limitata della campagna di misura (inferiore ad 1 anno) non consente di effettuare il calcolo degli standard di qualità dell'aria secondo la normativa. In ogni caso al fine di fornire alcuni elementi indicativi si riporta di seguito il confronto tra i valori misurati nel periodo della campagna e gli standard previsti dalla normativa.

Tabella 6 - Confronto standard di qualità dell'aria e dati rilevati

Inquinante		I	II	T
<b>PM10</b>	Media periodo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	19,1	36,5	25,5
	Numero di superamenti valore limite giornaliero 50 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0	3	3
<b>PM2.5</b>	Media periodo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	8,5	26,4	15,2
<b>NO<sub>2</sub></b>	Media periodo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	13,5	25,7	18
	Numero di superamenti valore limite orario 200 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0	0	0
<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	Media periodo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0,4	2,6	1,1
<b>SO<sub>2</sub></b>	Numero di superamenti valore limite giornaliero 125 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0	0	0
	Numero di superamenti valore limite orario 350 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0	0	0
<b>O<sub>3</sub></b>	Numero di superamenti valore limite orario 180 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0	0	0
	Numero di superamenti valore limite orario 240 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	0	0	0
	Numero di superamenti valore limite 120 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore	0	0	0



---

Note:

- I valori misurati si riferiscono al periodo di campionamento delle campagne di monitoraggio riportato in Tabella 1;
- I = 1<sup>a</sup> campagna, II = 2<sup>a</sup> campagna, T = totale dei dati rilevati.

Dai dati rilevati e solo per le due campagne di monitoraggio risulta che nel punto individuato dalla coordinate riportate in Tabella 1, sono stati registrati i seguenti superamenti dei limiti di concentrazione previsti dalla normativa vigente:

- Numero 3 superamenti di PM10 come media giornaliera;
- Numero 0 superamenti di NO<sub>2</sub> come media oraria;
- Numero 0 superamenti di SO<sub>2</sub> come valore limite giornaliero;
- Numero 0 superamenti di SO<sub>2</sub> come media oraria.



## 6.1 Misure indicative PM10

Le campagne di monitoraggio, effettuate con il laboratorio mobile, generalmente, hanno un periodo di tempo limitato, tipicamente 15-60 giorni nell'arco di 1 anno, e costituiscono il punto di partenza per una corretta gestione della qualità dell'aria ambiente che non si esaurisce con il termine delle indagini sperimentali ma che rientra in un contesto più ampio che coinvolge diversi strumenti di valutazione della qualità dell'aria.

L'utilizzo del laboratorio mobile (focalizzato in un punto preciso del territorio con più campagne durante l'anno) può dare informazioni più dettagliate ma comunque, non sufficienti per coprire un intero anno di misura così come è per una stazione di monitoraggio fissa.

D'altra parte la normativa di riferimento nazionale per la qualità dell'aria, il D.lgs. 155/2010, individua le misure indicative, e quindi le campagne di monitoraggio, come un possibile strumento di valutazione della qualità dell'aria a patto di rispettare i requisiti, che riguardano soprattutto la durata delle campagne stesse. In particolare, i risultati di una generica campagna di monitoraggio possono essere utilizzati a fini legislativi (verifica del rispetto dei valori limite) solamente se la durata del periodo di misura copre almeno il 14% dell'arco temporale di 1 anno civile, circa 8 settimane equamente distribuite durante l'anno.

Uno degli strumenti chiave che la normativa offre per poter interpretare ai fini legislativi una misura discontinua nel tempo, come le misure effettuate tramite un mezzo mobile, è legato all'applicazione di tecniche di stima oggettiva. L'obiettivo di tali tecniche (geo)statistiche è la ricostruzione di serie temporali annuali a partire da misure discontinue e limitate nel tempo.

Il metodo applicato si basa su un modello geostatistico lineare che è in grado di fornire la stima, ed il relativo errore, della concentrazione media giornaliera di PM10 nel punto in cui è posizionato il laboratorio mobile in funzione dei livelli di concentrazione di PM10 misurati in un sottoinsieme di stazioni fisse appartenenti alla rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Sozzi R., Bolignano A., Ceradini S., Morelli M., Petenko I., Argentini S.; Quality control and gap-filling of PM10 daily mean concentrations with the best linear unbiased estimator, *Environmental Monitoring and Assessment*; 2017 Oct 15;189(11):562. doi: 10.1007/s10661-017-6273-z; Bolignano A, Sozzi R., Morelli M., Di Giosa A.D., Ceradini S., Sacco F., Di Giulio A.; Stimatore statistico lineare per la stima della concentrazione media giornaliera di PM10; BEA-UNIDEA; 2013/03.

## 6.2 Ricostruzione modellistica e stima dei livelli di PM10 per l'anno 2022

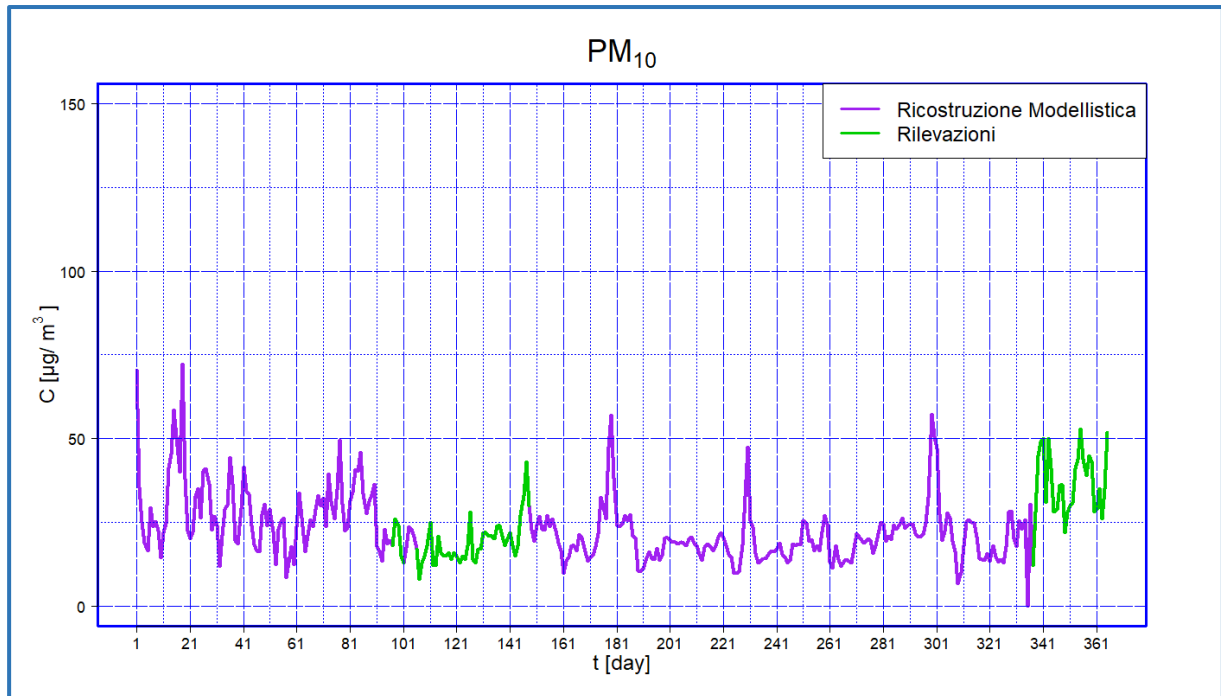


Figura 20 - Ricostruzione modellistica

La media annuale di PM10 ottenuta dai dati rilevati durante la campagna di monitoraggio e dalla ricostruzione statistica risulta essere pari a  $23,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre sono **9** i superamenti giornalieri.