



REGIONE
LAZIO

REPORT CAMPAGNA DI MONITORAGGIO - QUALITÀ DELL'ARIA -

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 della campagna	13
4.1 Particolato atmosferico PM10	15
4.2 Particolato atmosferico PM2.5	16
4.3 Biossido di azoto NO ₂	17
4.4 Ozono O ₃	18
4.5 Anidride solforosa SO ₂	19
4.6 Benzene C ₆ H ₆	20
5 Analisi dei dati di monitoraggio.....	21
6 Conclusioni.....	22
6.1 Misure indicative PM10	24
6.2 Ricostruzione modellistica e stima dei livelli di PM10 per l'anno 2023.....	25

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1 - Informazioni campagna di monitoraggio</i>	4
<i>Tabella 2 - Dotazione strumentale del laboratorio mobile</i>	6
<i>Tabella 3 - Valori limite secondo il D.Lgs. 155/2010</i>	13
<i>Tabella 4 - Inquinanti atmosferici e rispettivi tempi di mediazione</i>	14
<i>Tabella 5 - Risultati statistici</i>	21
<i>Tabella 6 - Confronto standard di qualità dell'aria e dati rilevati</i>	22

Indice delle figure

<i>Figura 1 - Localizzazione Mezzo Mobile</i>	4
<i>Figura 2 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale – I periodo</i> ...	8
<i>Figura 3 - Rosa dei venti – I periodo</i>	8
<i>Figura 4 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione – I periodo</i>	9
<i>Figura 5 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale – II periodo</i>	11
<i>Figura 6 - Rosa dei venti – II periodo</i>	11
<i>Figura 7 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione – II periodo</i>	12
<i>Figura 8 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 – I periodo</i>	15
<i>Figura 9 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 – II periodo</i>	15
<i>Figura 10 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 – I periodo</i>	16
<i>Figura 11 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 – II periodo</i>	16
<i>Figura 12 - Valori medi orari di concentrazione di NO₂ – I periodo</i>	17
<i>Figura 13 - Valori medi orari di concentrazione di NO₂ – II periodo</i>	17
<i>Figura 14 - Valori medi orari di concentrazione di O₃ - I periodo</i>	18
<i>Figura 15 - Valori medi orari di concentrazione di O₃ - II periodo</i>	18
<i>Figura 16 - Valori medi orari di concentrazione di SO₂ – I periodo</i>	19
<i>Figura 17 - Valori medi orari di concentrazione di SO₂ – II periodo</i>	19
<i>Figura 18 - Valori medi orari di concentrazione di C₆H₆ – I periodo</i>	20
<i>Figura 19 - Valori medi orari di concentrazione di C₆H₆ – II periodo</i>	20
<i>Figura 22 - Ricostruzione modellistica</i>	25

1 Posizione, data e luogo del campionamento

Tabella 1 - Informazioni campagna di monitoraggio

Comune	Fondi
Località	Istituto Comprensivo Statale “Amante”, ingresso via Pietro Gobetti, 04022 Fondi (LT)
Coordinate	Latitudine: 41.359729° Longitudine: 13.432065°
Durata campagna	I periodo: 01/01/23 – 23/01/23 II periodo: 20/06/23 – 23/07/23
Mezzo mobile utilizzato	I periodo: Mezzo Mobile 72-2 II periodo: Mezzo Mobile 72-2
Redazione documento	Marzo 2024

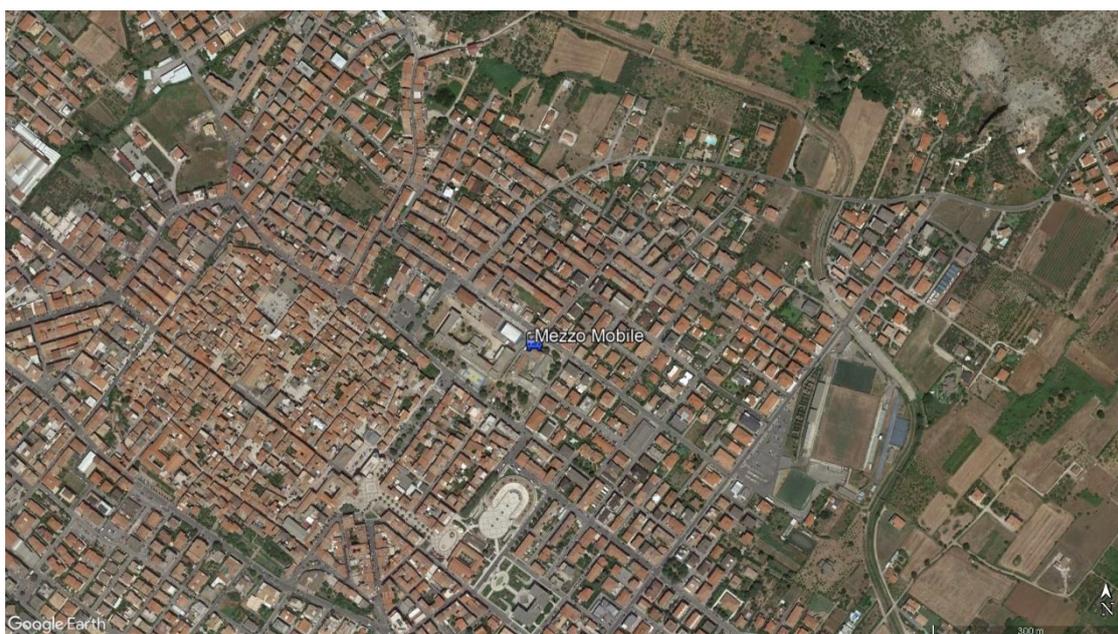


Figura 1 - Localizzazione Mezzo Mobile

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, impiegato per la campagna di monitoraggio svolta nel comune di Fondi.

Tabella 2 - Dotazione strumentale del laboratorio mobile

Analizzatore	Modello	Principio chimico-fisico
POLVERI PM10	<i>FAI SWAM 5a Dual Channel</i>	<i>Det. Grav. Att. β</i>
POLVERI PM2.5	<i>FAI SWAM 5a Dual Channel</i>	<i>Det. Grav. Att. β</i>
NO _x	<i>API 200 E</i>	<i>Chemiluminescenza</i>
SO ₂	<i>API 100 E</i>	<i>Fluorescenza UV</i>
O ₃	<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 la campagna di monitoraggio. Tali parametri costituiscono elementi essenziali per una corretta analisi dei dati di concentrazione degli inquinanti misurati.

▪ I Periodo

ANAGRAFICA

- zona: Istituto Comprensivo Statale “Amante”,
ingresso via Pietro Gobetti, 04022 Fondi (LT)
- periodo: dal 2023-01-01 al 2023-01-23
- giorni di monitoraggio TOTALI: 23
- giorni di monitoraggio COMPLETI: 23

CALCOLI SEGUENTI ESEGUITI SU GIORNI COMPLETI

PRECIPITAZIONI

- cumulata totale campagna: 0 (mm)
- giorno maggiormente piovoso - cumulata: - 0 (mm)
- giorni senza pioggia: 23
- giorni con pioggia: 0
- perc. giorni piovosi: 0 %

UMIDITÀ RELATIVA

- umidità massima: 95 %
- umidità minima: 27.9 %

VENTO

- vento medio: 0.88 (m/s)
- vento massimo: 2023-01-20 20:00 - 5.43 (m/s)
- settore prevalente: E-SE
- vento medio settore prevalente: 0.8 (m/s)

RADIAZIONE

- integrale radiazione massima: 2023-01-19 - 1228 (W/m²)
- integrale radiazione minima: 2023-01-17 - 245 (W/m²)

PRESSIONE

- pressione massima: 2023-01-01 - 1031.5 (mbar)
- pressione minima: 2023-01-17 - 990.7 (mbar)

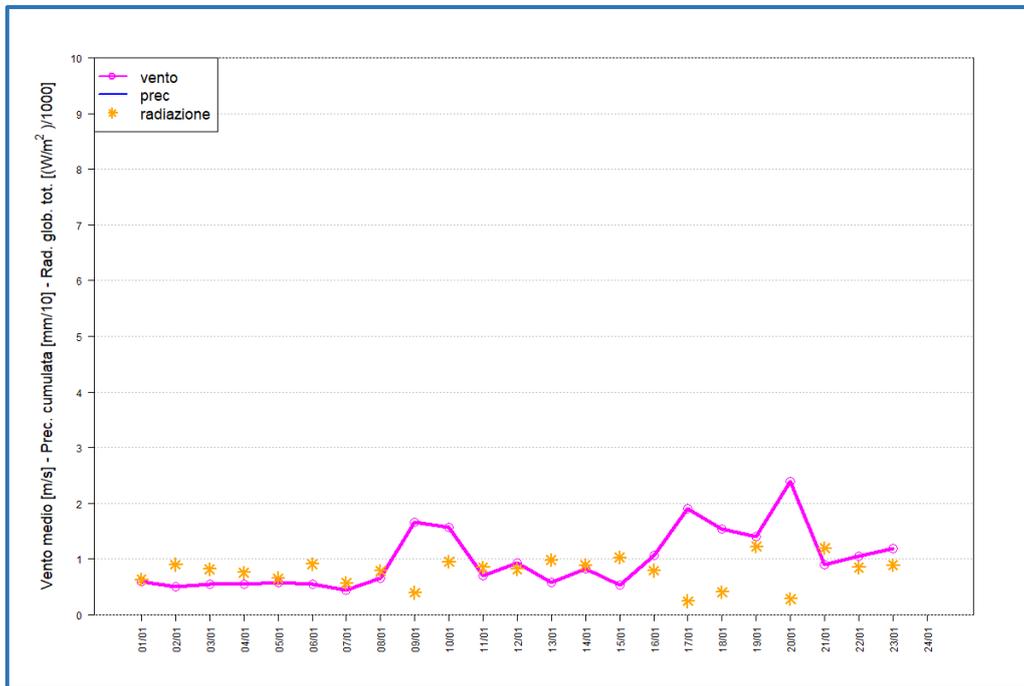


Figura 2 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale – I periodo

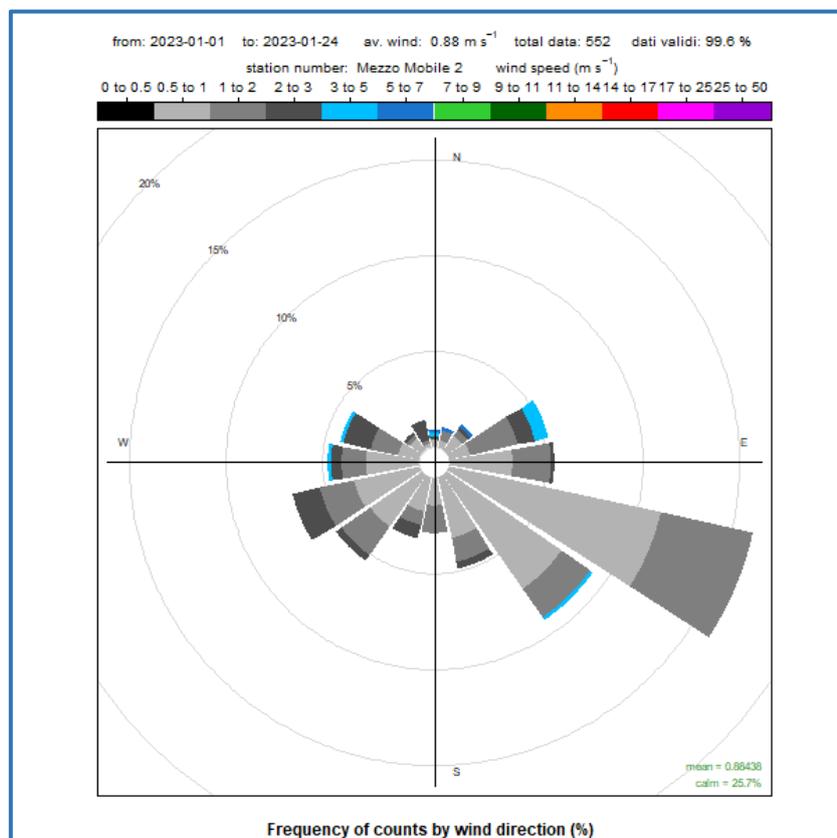


Figura 3 - Rosa dei venti – I periodo

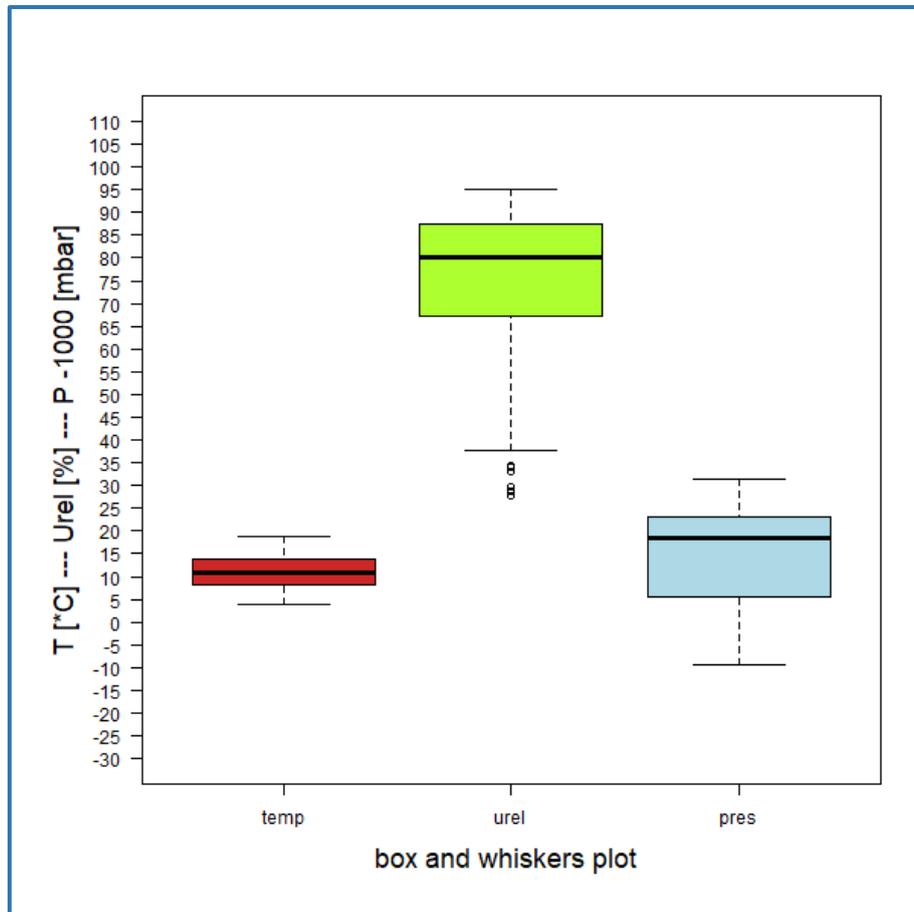


Figura 4 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione – I periodo

▪ II Periodo

ANAGRAFICA

- zona: Istituto Comprensivo Statale “Amante”,
ingresso via Pietro Gobetti, 04022 Fondi (LT)
- periodo: dal 2023-06-20 al 2023-07-23
- giorni di monitoraggio TOTALI: 34
- giorni di monitoraggio COMPLETI: 28

CALCOLI SEGUENTI ESEGUITI SU GIORNI COMPLETI

PRECIPITAZIONI

- cumulata totale campagna: 34.2 (mm)
- giorno maggiormente piovoso - cumulata: 2023-07-01 - 34.2 (mm)
- giorni senza pioggia: 27
- giorni con pioggia: 1
- perc. giorni piovosi: 3.6 %

UMIDITÀ RELATIVA

- umidità massima: 94.6 %
- umidità minima: 30.7 %

VENTO

- vento medio: 0.89 (m/s)
- vento massimo: 2023-07-01 13:00 - 3.05 (m/s)
- settore prevalente: O-SO
- vento medio settore prevalente: 1.59 (m/s)

RADIAZIONE

- integrale radiazione massima: 2023-07-05 - 6159 (W/m²)
- integrale radiazione minima: 2023-07-02 - 4930 (W/m²)

PRESSIONE

- pressione massima: 2023-07-10 - 1019.3 (mbar)
- pressione minima: 2023-07-01 - 1007.5 (mbar)

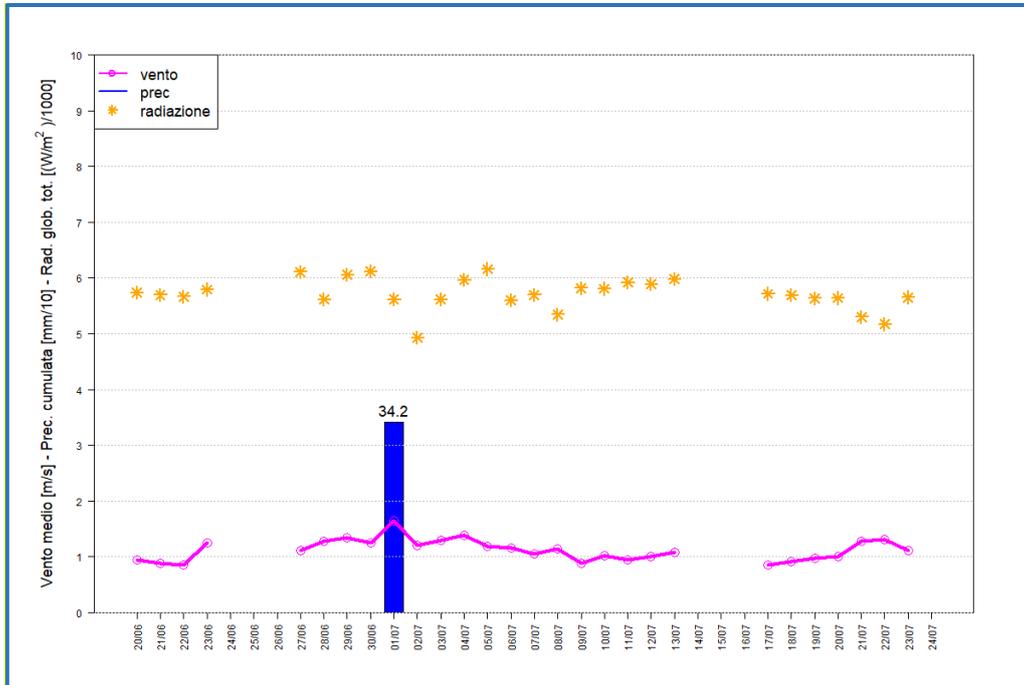


Figura 5 - Vento medio, Precipitazione cumulata e Radiazione Globale Totale – II periodo

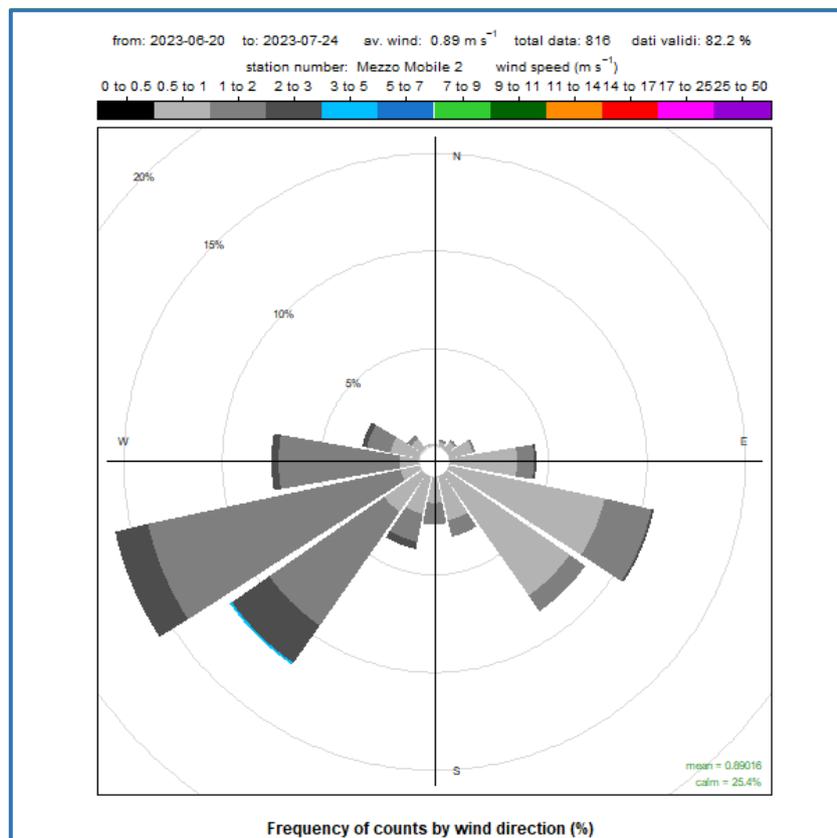


Figura 6 - Rosa dei venti – II periodo

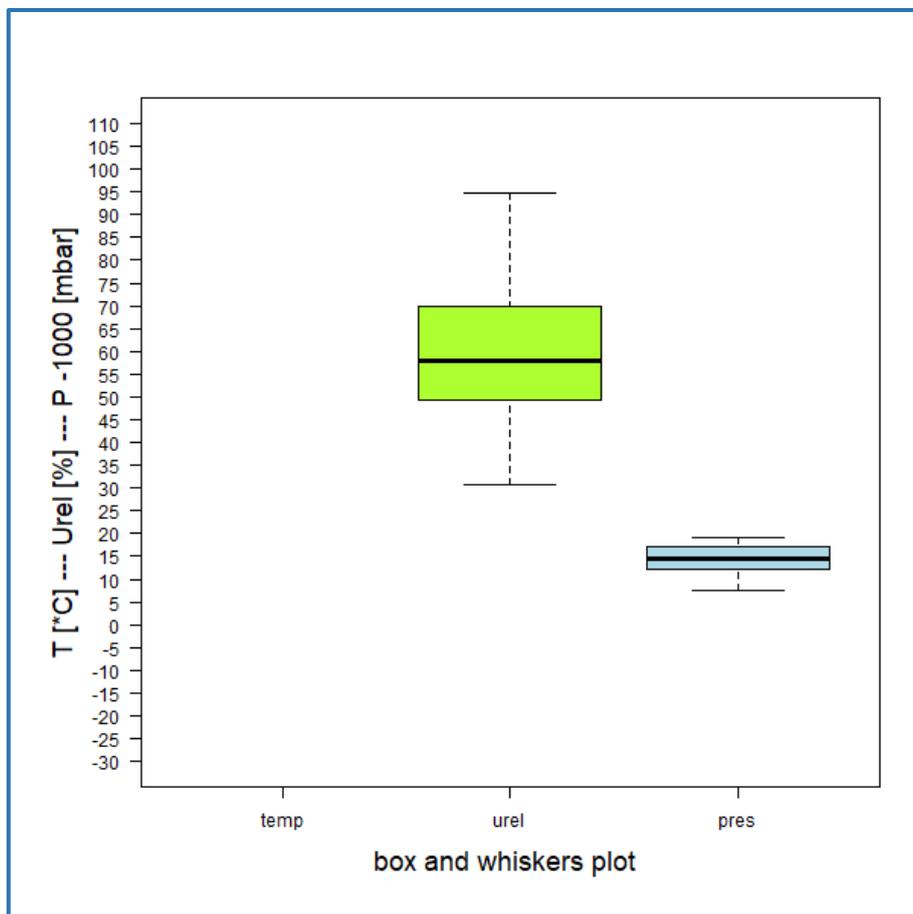


Figura 7 - Temperatura, Umidità relativa e Pressione – II periodo

Note:

- Distribuzione grafica dei dati di Temperatura assente per strumentazione soggetta a manutenzione (Figura 7);

4 Risultati della campagna

Vengono riportati di seguito i risultati della campagna 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 le campagne hanno una durata media di circa due mesi.

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

Limiti della protezione della salute umana D.Lgs. 155/2010	
PM10	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
PM2.5	Valore limite 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale
NO₂	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
O₃	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
SO₂	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
C₆H₆	Valore limite 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale

Le misure istantanee di concentrazione delle specie gassose (NO_x , SO_2 , O_3 , ...), in conformità 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
PM10	24 ore	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	24 ore	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO₂	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_x	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
O₃	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO₂	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
C₆H₆	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

4.1 Particolato atmosferico PM10

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

▪ I Periodo

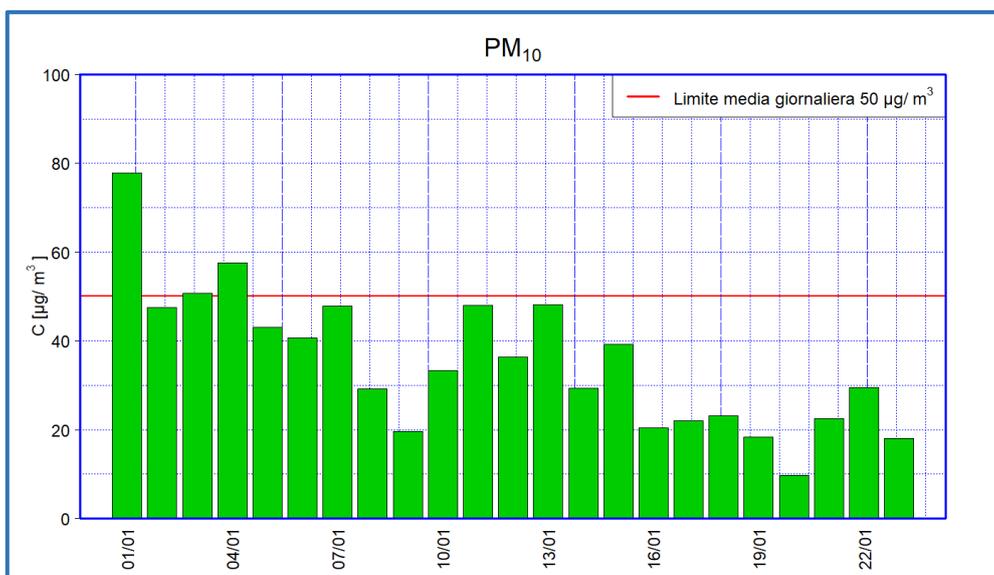


Figura 8 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 – I periodo

▪ II Periodo

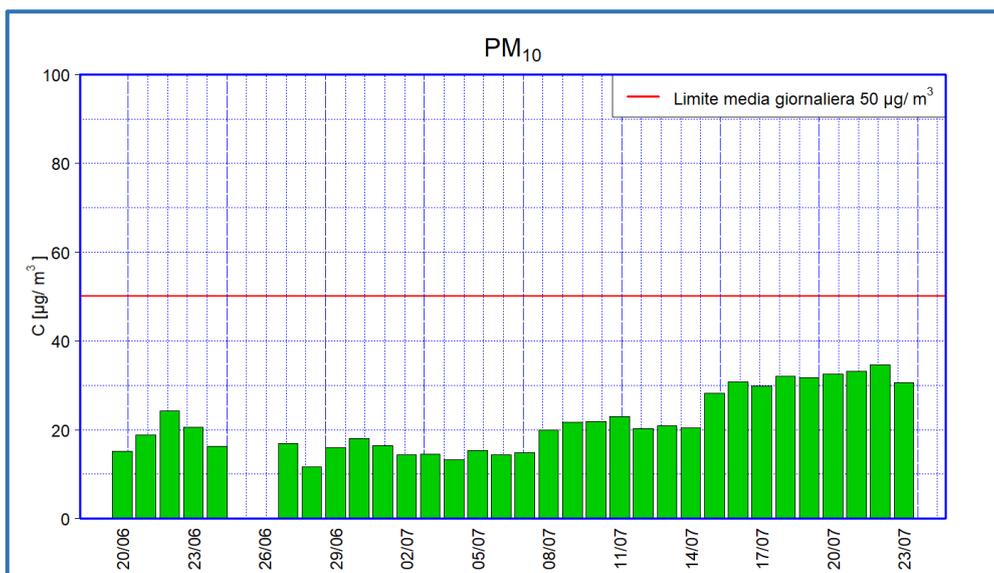


Figura 9 - Valori giornalieri di concentrazione di PM10 – II periodo

4.2 Particolato atmosferico PM2.5

■ I Periodo

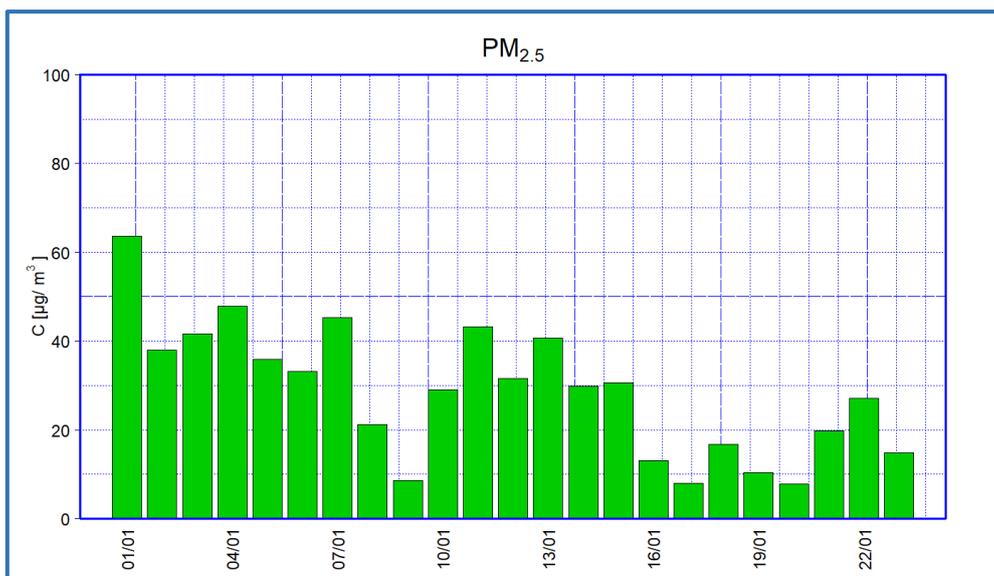


Figura 10 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 – I periodo

■ II Periodo

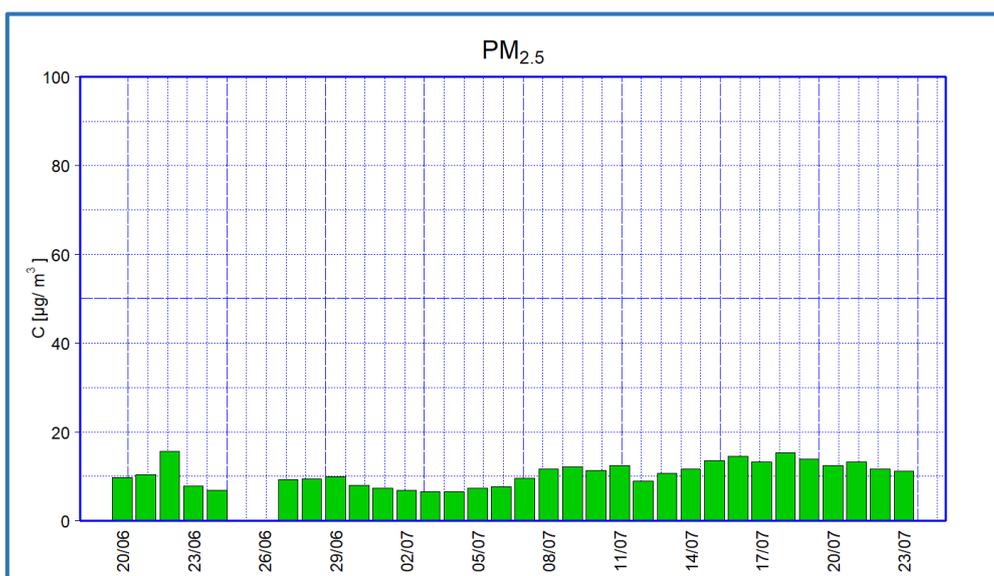


Figura 11 - Valori giornalieri di concentrazione di PM2.5 – II periodo

4.3 Biossido di azoto NO_2

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

■ I Periodo

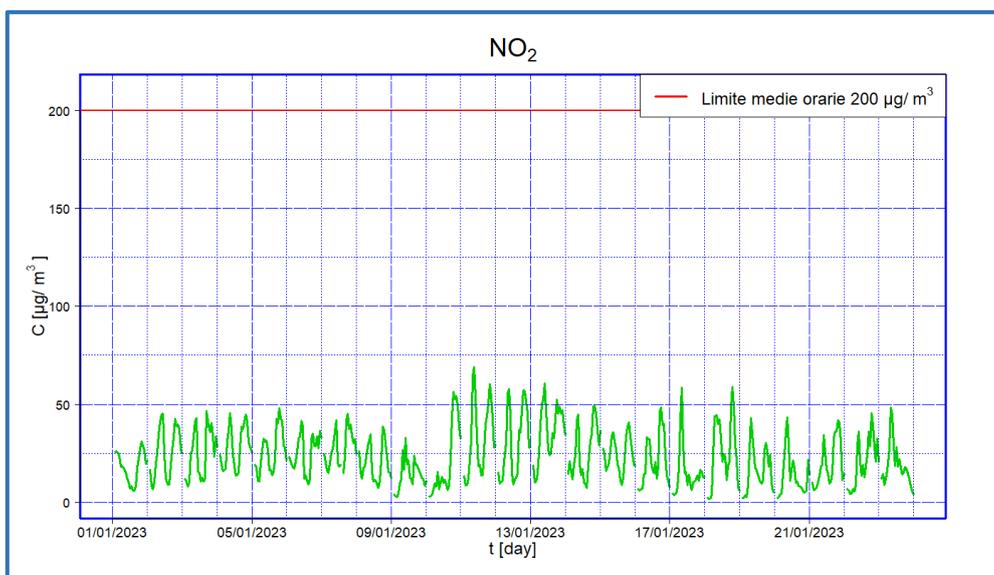


Figura 12 - Valori medi orari di concentrazione di NO_2 – I periodo

■ II Periodo

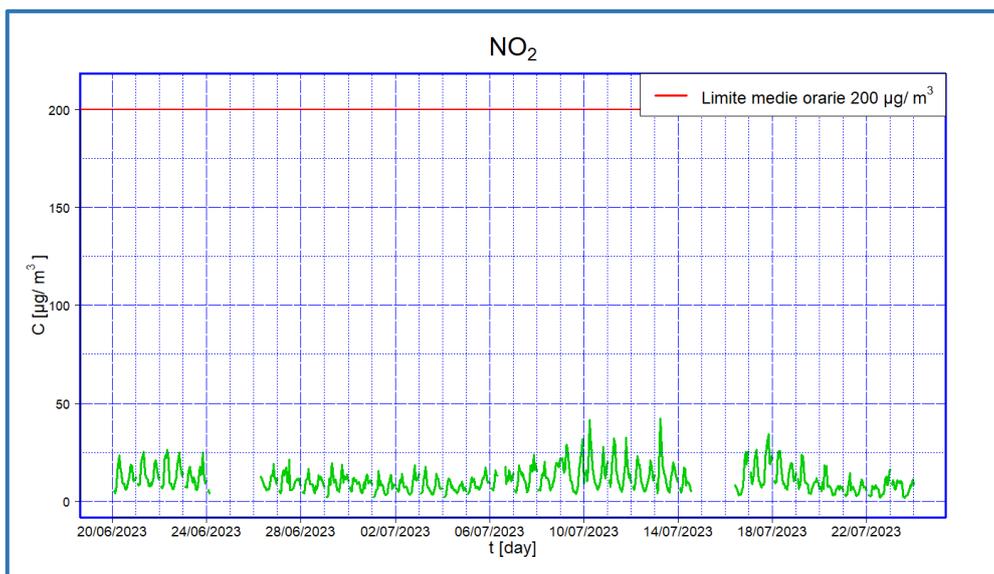


Figura 13 - Valori medi orari di concentrazione di NO_2 – II periodo

4.4 Ozono O_3

I valori limite di $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per le concentrazioni medie orarie rappresentano rispettivamente la soglia di informazione e la soglia d'allarme.

▪ I Periodo

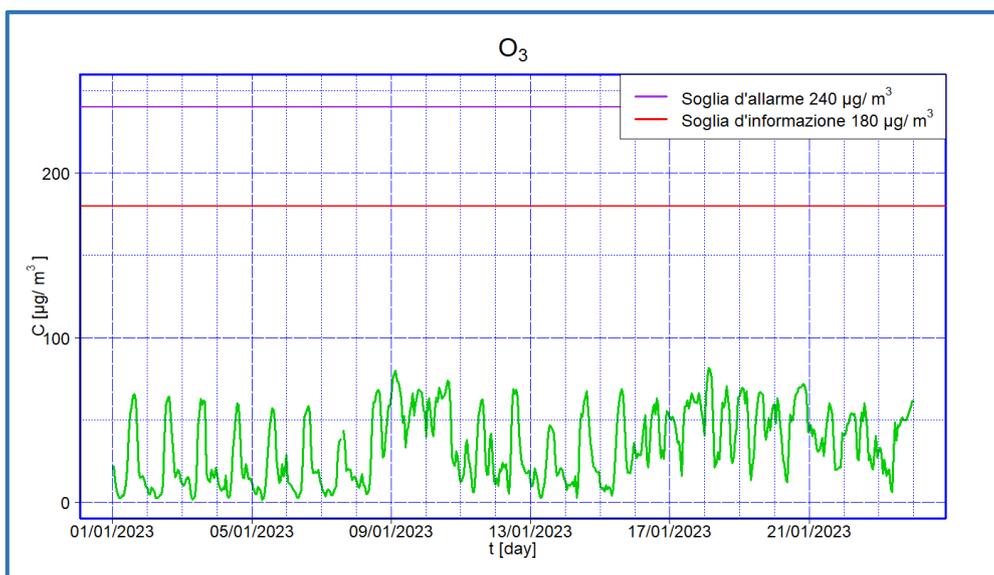


Figura 14 - Valori medi orari di concentrazione di O_3 - I periodo

▪ II Periodo

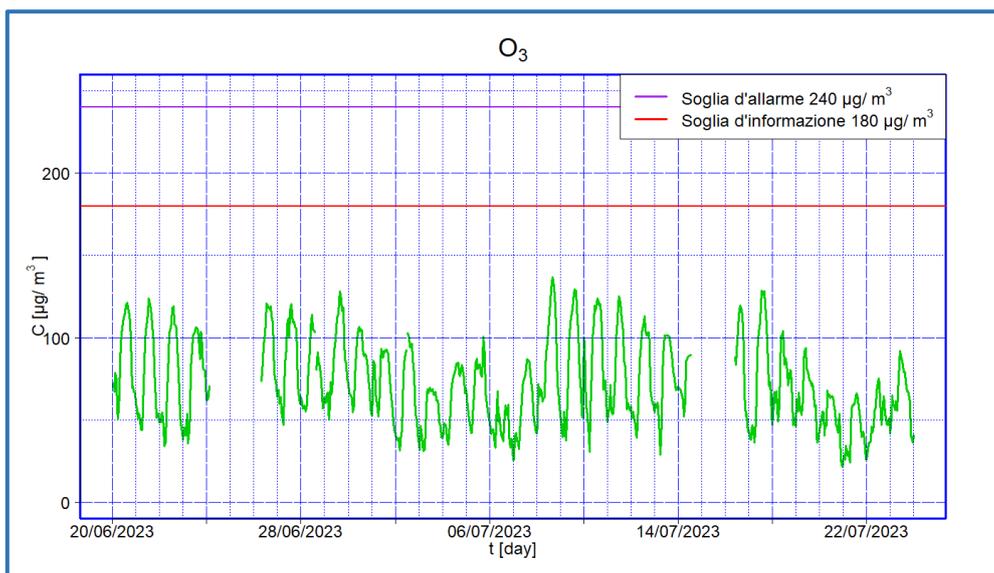


Figura 15 - Valori medi orari di concentrazione di O_3 - II periodo

4.5 Anidride solforosa SO_2

Il valore limite per le concentrazioni medie orarie è pari a $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

▪ I Periodo

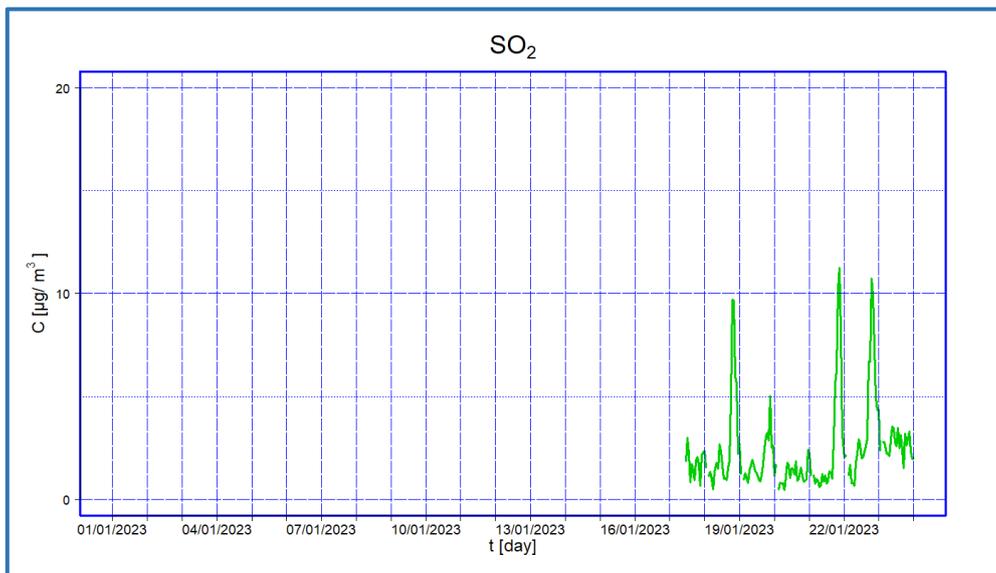


Figura 16 - Valori medi orari di concentrazione di SO_2 – I periodo

* Valori di concentrazione non disponibili dal 01/01/23 al 17/01/23 per anomalia strumentale.

▪ II Periodo

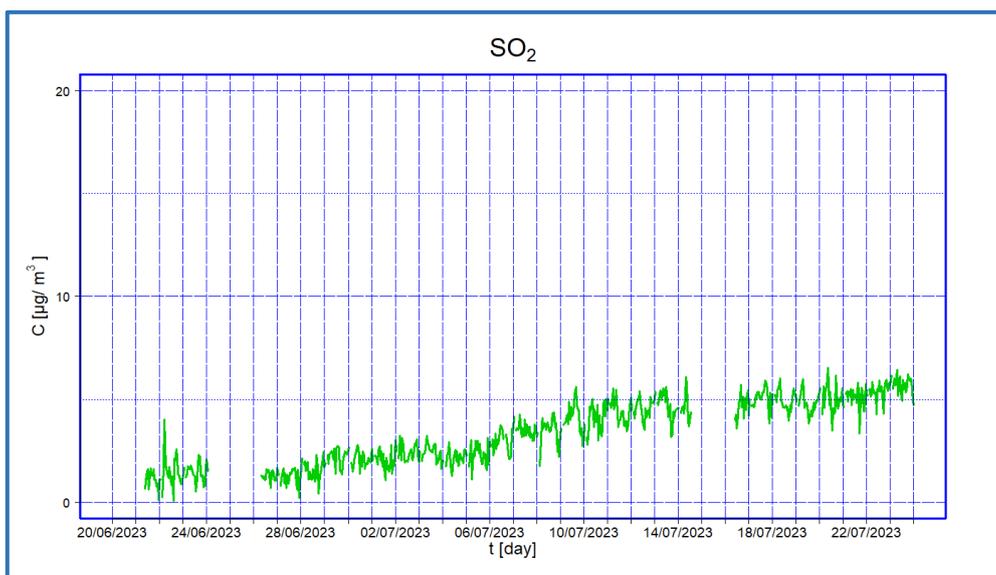


Figura 17 - Valori medi orari di concentrazione di SO_2 – II periodo

4.6 Benzene C_6H_6

■ I Periodo

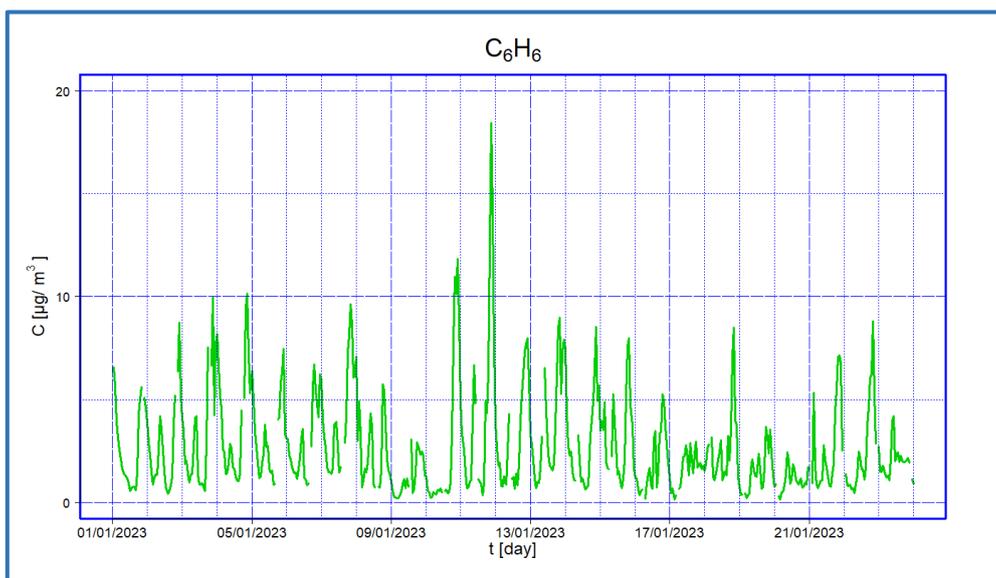


Figura 18 - Valori medi orari di concentrazione di C_6H_6 – I periodo

■ II Periodo

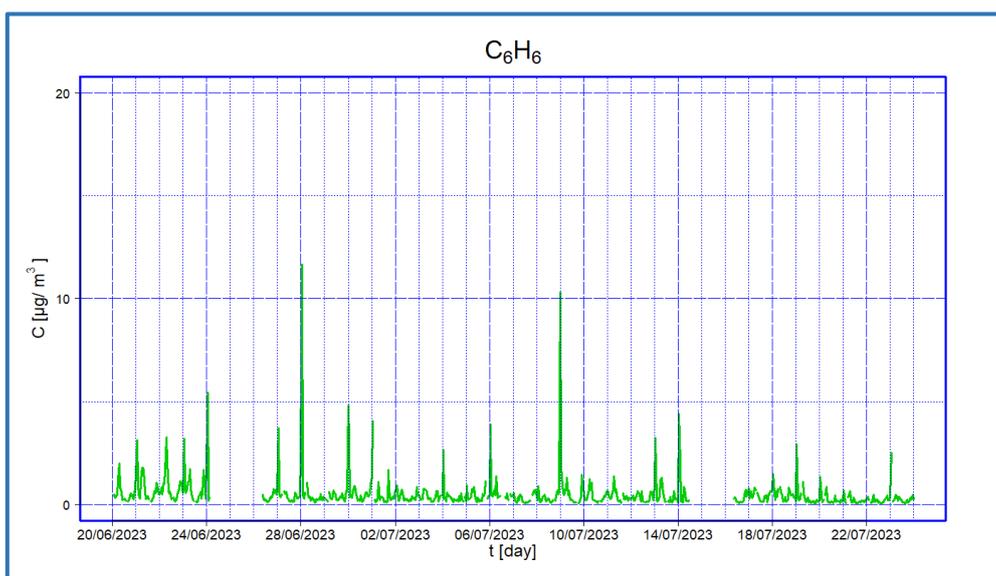


Figura 19 - Valori medi orari di concentrazione di C_6H_6 – II periodo

5 Analisi dei dati di monitoraggio

Le concentrazioni delle diverse sostanze inquinanti rilevate durante la campagna svolta nel 2023 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, il 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.
NO	1210	126,3	0,7	7,8	1,1	3,2	32,9
NO₂	1210	69,1	1,7	16,2	3,8	12,1	42,1
NO_x	1210	254,2	2,8	28,1	5,9	16,8	89,9
O₃	1269	136,7	1,3	55,9	8,2	55,2	112,7
PM10	55	77,9	9,8	27,4	14	22,5	48,9
PM2.5	55	63,6	6,6	18,1	1,5	12,4	43,8
SO₂	809	11,2	0	3,2	0,9	2,9	5,7
C₆H₆	1214	18,4	0	1,5	0,1	0,6	6

Note:

- I risultati statistici sono stati elaborati sul totale dei dati rilevati;
- L'unità di misura per tutti gli inquinanti è in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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

Inquinanti		I	II	T
PM10	Media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	35,3	21,6	27,4
	Numero di superamenti valore limite giornaliero 50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	3	0	3
PM2.5	Media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	28,6	10,5	18,1
NO₂	Media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	23,1	10,9	16,2
	Numero di superamenti valore limite orario 200 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	0
C₆H₆	Media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2,7	0,5	1,5
SO₂	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
O₃	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 della campagna di monitoraggio riportato in Tabella 1;
- I = I periodo, II = II periodo, T = totale dei dati rilevati.

Dai dati rilevati e solo per il periodo della campagna di monitoraggio risulta che nel punto individuato dalle 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 NO₂ come media oraria;
- Numero 0 superamenti di SO₂ come valore limite giornaliero;
- Numero 0 superamenti di SO₂ come media oraria;
- Numero 0 superamenti di O₃ come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore.

6.1 Misure indicative PM10

Le campagne di monitoraggio, effettuate con i laboratori mobili, 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 dei laboratori mobili (posizionati in un punto preciso del territorio in periodi diversi dell'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'aria¹.

¹ 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 2023

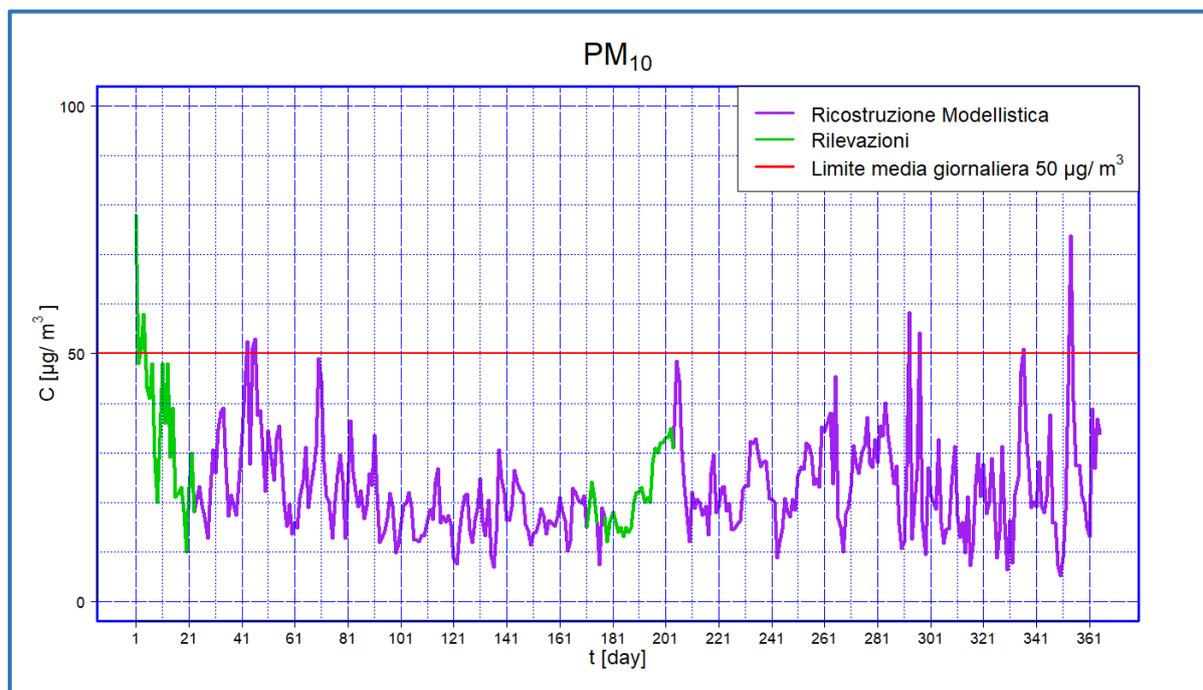


Figura 20 - Ricostruzione modellistica

La media annuale di PM₁₀ ottenuta dai dati rilevati durante la campagna di monitoraggio e dalla ricostruzione statistica risulta essere pari a **23,4 µg/m³**, mentre sono **10** i superamenti giornalieri.